



Fac. CC. Económicas y Empresariales
Universidad de La Laguna



Fac. CC. Económicas y Empresariales
Univ. de Las Palmas de Gran Canaria

Funciones de producción y costes y su aplicación al sector portuario. Una revisión de la literatura

B. Tovar*
Sergio Jara-Díaz**
Lourdes Trujillo*

DOCUMENTO DE TRABAJO 2004-06

* Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Dpto. de Análisis Económico Aplicado.

** Universidad de Chile. Dpto. de Ingeniería de Transporte.

**FUNCIONES DE PRODUCCIÓN Y COSTES Y SU APLICACIÓN AL SECTOR
PORTUARIO. UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA**

Beatriz Tovar

btovar@daea.ulpgc.es

Departamento de Análisis Económico Aplicado

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Sergio Jara-Díaz

jaradiaz@cec.uchile.cl

Departamento Ingeniería de Transporte

Universidad de Chile

Lourdes Trujillo

ltrujillo@daea.ulpgc.es

Departamento de Análisis Económico Aplicado

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

FUNCIONES DE PRODUCCIÓN Y COSTES Y SU APLICACIÓN AL SECTOR PORTUARIO. UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Resumen

La industria portuaria se caracteriza por la gran diversidad de actividades que la componen. El sector público y el privado suelen convivir en esta industria de forma que el primero regula las actividades que las empresas privadas desarrollan en el ámbito portuario. De esta manera, cobra una especial relevancia el conocimiento exhaustivo de la estructura de costes de las empresas reguladas ya que permitiría al sector público adoptar medidas regulatorias adecuadas. Por otro lado, el carácter multiproductivo de la mayoría de las actividades portuarias es evidente dada la diversidad de productos que pasan por los puertos. En este trabajo se enfatiza que el enfoque multiproductivo es el adecuado para el análisis de la industria portuaria. También se revisa la literatura que hace referencia a la estructura de costes de las empresas portuarias. Destaca la escasez de trabajos que sobre la estructura de coste existen en el sector, sobre todo cuando se refieren a actividades tan importantes como la manipulación de mercancías.

Palabras clave: multiproducción, economías de escala y diversidad, puertos y manipulación de mercancías.

Abstract

Seaports provide multiple services to ships, cargo, and passengers. These services can be performed by a combination of public and private initiatives and usually the role of public sector institutions is to regulate and supervise private firms. Cargo handling varies according to the type of goods involved. In performing that task public sector institutions need to know firms' cost structure deeply, so they can regulate them appropriately. This paper argues that the operation of port terminals must be analysed by means of multiproduct theory. This allows the calculation of several cost indicators (economies of scale, scope, and so forth) which are key tools to help regulators' job. Finally, a literature review about ports' cost structure is done, which shows the scarcity of papers specially for cargo handling, maybe one of the most important activities in the port area.

Key words: multiproduct, economies of scale and scope, port and cargo handling.

JEL Classification system: L9

1. Introducción

Las estimaciones de indicadores clave en la estructura de coste de las empresas, tales como los costes marginales, las economías de escala y las economías de diversidad son fundamentales en la determinación de la estructura industrial óptima y por consiguiente son herramientas esenciales que contribuyen a facilitar la labor de los reguladores. Este artículo se centra en determinar cual ha sido la contribución de la literatura al conocimiento de las funciones de producción y de coste en la industria portuaria aportando un análisis detallado y crítico de los aspectos relevantes de las funciones de costes.

El análisis de la estructura de costes de las empresas ha sido una tarea en la que los economistas han estado siempre interesados porque un conocimiento exhaustivo de los costes es útil para muchos fines, aunque el objetivo perseguido en cada caso concreto puede afectar al qué se estima y al cómo se estima. Una de las aplicaciones que el conocimiento de la estructura de costes de una empresa portuaria permite es orientar la toma de decisiones adecuadas en cuanto a la regulación del sector. Por otro lado hay que tener en cuenta que, en casi todos los países, la industria portuaria se caracteriza por estar sometida a cierto control del sector público que se encarga, entre otras funciones, de planificar la inversión futura; en este contexto el conocimiento profundo de la estructura de costes de las empresas portuarias es fundamental para decidir dónde, cuándo y cuánto invertir.

En la sección 2 se hace un breve repaso de los antecedentes a la estimación econométrica de funciones de producción y coste que suponen un comportamiento optimizador de la empresa. En la sección 3 se describen los principales aspectos teóricos de la teoría de la multiproducción, haciendo especial hincapié en los instrumentos que ésta proporciona para determinar los conceptos relevantes de costes. Los aspectos teóricos relacionados con la estimación econométrica de funciones de producción y costes se analizan en la sección 4. La sección 5 contiene una revisión de la literatura económica interesada en la estimación econométrica de funciones de costes o de producción en la industria portuaria. Por último, la sección 6 se presentan como conclusiones algunas consideraciones finales.

2. Antecedentes

En la línea de planificar y orientar la inversión futura están los primeros trabajos que analizan

la estructura de costes y de producción de los puertos. La estimación empírica de funciones de costes portuarias tiene su origen en la década de los años setenta con el trabajo de *Wanhill (1974)*, cuyo objetivo era diseñar un modelo que permitiera determinar el número de atraques óptimos que minimiza el coste total de uso del puerto, entendiendo como tal la suma de dos componentes: el coste de suministrar la infraestructura (el atraque) y el coste del tiempo del barco en el puerto. En el trabajo de *Wanhill (1974)* se considera que la inversión y planificación futuras han de hacerse teniendo en cuenta que los servicios portuarios no se pueden almacenar y, por tanto, hay un *trade-off* entre el coste de la capacidad portuaria y el coste de permanencia de los barcos en el puerto (tiempo de servicio más tiempo de espera), que es determinante y ha de ser tenido en cuenta en el proceso de planificación.

En la misma línea que el trabajo de *Wanhill (1974)* está el manual de planificación para los países en desarrollo preparado por la Secretaria de la UNCTAD en 1978. En este trabajo se utiliza el método de simulación de Montecarlo para desarrollar una metodología que permita calcular los costes de diversos tipos de terminales en función de las características de la terminal y del tiempo de permanencia de los buques en el puerto. La idea es que los planificadores portuarios han de tener presente que la planificación exclusivamente encaminada a reducir al mínimo los costes portuarios en sentido estricto¹, (es decir, sin considerar el tiempo de espera de los barcos) proporcionará generalmente un nivel de servicio poco satisfactorio que puede conducir a la imposición de recargos por congestión y que no será económicamente aceptable. Al mismo tiempo, este trabajo señala la dificultad de medir el rendimiento de las terminales portuarias a partir de los datos que habitualmente están disponibles en las memorias de los puertos y defiende que para analizar el crecimiento de la productividad, las economías de escala y el cambio técnico es fundamental realizar estimaciones de la correspondiente función de producción o de coste.

La rama de la literatura interesada en la planificación óptima de puertos o terminales portuarias que se inicia con los dos trabajos mencionados continúa con los trabajos de *Janson y Sheneerson (1982)*, *Sheneerson (1981, 1983)*, *Janson (1984)*, y *Fernández et al. (1999)*. Todos los trabajos mencionados consideran que la utilización óptima de un puesto de atraque

¹ Este coste tiene un componente fijo e independiente del volumen de mercancía manipulado (y en el que se incluyen por ejemplo los costes de capital de los muelles, tinglados, etc.) y un coste variable que depende del tonelaje total manipulado (y en el que se incluyen los costes de mano de obra, mantenimiento, combustible, etc.).

se obtiene minimizando la suma del coste portuario en sentido estricto² y del coste del tiempo de permanencia del buque en el puerto. Por esta razón en todos estos estudios la forma básica de función de producción de servicios portuarios escogida es el modelo de colas, al tiempo que se asume que la llegada de los barcos es aleatoria y sigue una función de distribución de Poisson y que los tiempos de servicio siguen una distribución exponencial.

Dos críticas se han hecho a este tipo de modelos que suman los costes de usuarios y operarios. Por una parte, el tiempo del buque es introducido como un factor productivo en la función de costes del puerto; cuando según *Hooper (1985)* es más apropiado considerarlo un componente del producto que representa la calidad del servicio. Por otra parte, cuando el proceso productivo a modelar incorpora más de dos factores productivos o productos, como ocurre en el caso de los puertos, la forma funcional elegida no debe imponer la separabilidad a priori (*Burgess, 1974*), sino que esta puede ser contrastada empíricamente.

Por otra parte, el análisis de los costes permite realizar evaluaciones del rendimiento y la productividad de los puertos a través del cálculo de diversos indicadores, como en los trabajos de *De Monie (1989)*, *Dowd y Lechines (1990)*, *Talley (1994)* y *Conforti(1992)*; así como llevar a cabo, comparaciones de la eficiencia productiva entre empresas y a lo largo del tiempo para una misma empresa. En esta última línea además de los trabajos clásicos que consideran que las empresas están minimizando costes, aparece una nueva rama de investigación en la literatura que permite analizar situaciones en que este supuesto se rompe y, por tanto, se admite la posibilidad de que las empresas sean ineficientes. Existen dos técnicas que permiten llevar a cabo este tipo de estudios. La primera es el *Data Envelopment Analysis* (*Roll y Hayuth, 1993; Martínez Budría et al.,1999 y Tongzon, 2001*) y la segunda es la estimación econométrica de funciones frontera y distancia (*Liu, 1995; Baños-Pino et al.; 1999; Notteboom et al., 2000; y Estache et al., 2002*).

El Data Envelopment Analysis (DEA) y la estimación de funciones frontera son dos métodos alternativos para estimar funciones frontera y por tanto medir la eficiencia en la producción y en los costes. Ambas técnicas permiten derivar ratios de eficiencia relativa dentro de un conjunto de unidades analizadas, de modo que la eficiencia de las unidades es comparada con una *envolvente de eficiencia*. Sin embargo, mientras que la estimación de funciones frontera

² Véase nota a pie número uno.

supone el uso de métodos econométricos, el DEA es una técnica no paramétrica basada en la programación lineal. Estos métodos son aplicados a muestras en sección cruzada, pero si se dispone de datos de panel también pueden ser utilizados para medir el cambio técnico y el cambio en eficiencia³

3. La producción, los costes y la estructura industrial óptima

Aunque la mayor parte de las actividades productivas que se desempeñan en el mundo real son multiproductivas el desarrollo de la teoría de la producción se centró hasta hace sólo algunas décadas en los procesos monoproduktivos. De este modo se contaba con un cuerpo teórico bien desarrollado y que permitía la contrastación empírica de los conceptos monoproduktivos relevantes, pero que no eran aplicables a los procesos multiproductivos.

La teoría de la organización industrial requería una teoría que permitiera tratar de modo explícito con los procesos multiproductivos. La aplicación de la teoría monoproduktiva a procesos multiproductivos a través del uso de agregados para medir el producto provocaba algunos resultados inconsistentes que llevaron al desarrollo de nuevos conceptos teóricos que permitieron tratar con los procesos multiproductivos y, por primera vez, llegar a una determinación endógena de la estructura industrial. (*Baumol et al. 1982*).

A diferencia de las empresas monoproduktivas cuya estructura de coste-producción puede ser descrita con relativamente pocos conceptos interrelacionados, el análisis de los costes de las empresas multiproductivas requiere la descripción de varios conceptos nuevos. Esto condujo al desarrollo de una teoría que, como era de esperar, resultó ser un cuerpo teórico que incluía la monoproducción como un caso particular.

La determinación empírica de todos los conceptos de coste definidos para una industria concreta puede obtenerse mediante la estimación econométrica de la correspondiente función de costes⁴. Así, se puede obtener el coste marginal del producto i , como derivada de la función de costes con respecto a dicho producto.

³ Ver *González y Trujillo (2002)*, para un resumen de la literatura de eficiencia en puertos.

⁴ Los argumentos de la función de costes, supuestos todos los factores variables, son el vector de productos y el de precios de los factores productivos. En las expresiones que se presentan a continuación se elimina este último por simplificar la notación matemática.

$$\frac{\partial C}{\partial y_i} = Cm_i \quad (1)$$

Por su parte, el grado de economías escala globales es una propiedad técnica del proceso productivo que se define en la función de transformación o de producción. Sin embargo, las relaciones de dualidad permiten calcular el grado de economías de escala directamente a través de la función de costes (*Panzar y Willig, 1977*) como:

$$S = \frac{C(W, Y)}{Y \nabla_y C(W, Y)} \quad (2)$$

El grado de economías de escala globales representa la máxima tasa de crecimiento que puede alcanzar el vector de productos cuando se incrementa el vector de factores productivos en una determinada proporción. Por tanto, la presencia de rendimientos crecientes a escala ($S > 1$) significa que un incremento de los factores productivos, en una determinada proporción λ , hace posible un incremento del conjunto de productos en una proporción mayor que λ , indicando que la expansión de la producción presenta ventajas desde el punto de vista de los costes.

Otra forma en la cual pueden cambiar las operaciones de la empresa es a través de la variación en la producción de un bien, manteniendo las cantidades del resto de los productos constantes. Para estudiar el coste de tal variación en la producción es útil definir el coste incremental del producto i . El coste incremental del producto i es el coste de añadir el producto i -ésimo al vector de productos que produce la empresa y viene dado por:

$$CI_i = C(y_1, y_2, \dots, y_n) - C(y_1, y_2, \dots, y_{i-1}, 0, y_{i+1}, \dots, y_n) \quad (3)$$

Aunque el coste medio no está definido en multiproducción por ser Y un vector⁵, el coste incremental medio sí lo está y es igual a:

$$CIME_i = \frac{CI_i(Y)}{y_i} \quad (4)$$

Las definiciones del coste incremental y coste incremental medio ayudan a identificar los

⁵ Es posible en este caso definir un *coste radial medio*.

rendimientos a escala que son específicos a un producto particular y_i :

$$S_i(Y) = \frac{CI_i(Y)}{y_i \frac{\partial C(Y)}{\partial y_i}} = \frac{CIME_i(Y)}{\frac{\partial C(Y)}{\partial y_i}} = \frac{CIME_i(Y)}{C_i(Y)} \quad (5)$$

donde $C_i(Y)$ es el coste marginal del producto i . Así, las economías de escala específicas a un producto y_i son el cociente entre el coste incremental medio y el coste marginal del producto, y serán crecientes, constantes o decrecientes cuando $S_i(Y)$ sea mayor, igual o menor a uno, respectivamente.

La definición de coste incremental puede extenderse a un subconjunto de productos R y es útil porque permite identificar los rendimientos a escala que son específicos a un subconjunto de productos particular. De este modo, definimos el grado de economías de escala específicas al subconjunto R como:

$$S_R(Y) = \frac{CI_R(Y)}{\sum_{j \in R} y_j \frac{\partial C(Y)}{\partial y_j}} = \frac{CI_R(Y)}{\sum_{j \in R} y_j C_j(Y)} \quad (6)$$

de modo que las economías de escala específicas al subconjunto de productos R serán crecientes, constantes o decrecientes cuando $S_R(Y)$ sea mayor, igual o menor a uno, respectivamente. De este modo, si $S_R > 1$ la tarificación al coste marginal no cubriría los costes incrementales. Puede observarse que la ecuación (6) es un caso particular de la ecuación (2).

La complementariedad de costes entre dos productos puede analizarse atendiendo a la siguiente expresión, que cuando toma valores menores o iguales a cero indica que existe débil complementariedad de costes:

$$C_{ij}(Y') = \frac{\partial^2 C(Y')}{\partial y_i \partial y_j} \leq 0, \quad i \neq j, \quad \forall \quad 0 \leq Y' \leq Y \quad (7)$$

Por otra parte, la expansión del vector de productos puede significar la introducción de nuevos productos en la línea de producción por lo que surge un concepto relacionado con la diversificación de la producción. Esta última posibilidad da lugar a un concepto propio de la multiproducción que son las economías de diversidad.

El concepto de economías de diversidad es útil para analizar la conveniencia o no de que la empresa se especialice o se diversifique. Así, las economías de diversidad miden el incremento relativo en los costes que resultaría de una división de la producción de Y en dos líneas de productos T y $N-T$. Formalmente, si se realiza una partición ortogonal del vector de productos M en dos subconjuntos T y $N-T$, el grado de economías de diversidad, ED_T del subconjunto de productos T con respecto a su complementario $N-T$ viene dado por la expresión:

$$ED_T(Y) = \frac{1}{C(Y)} [C(Y_T) + C(Y_{N-T}) - C(Y)] \quad (8)$$

de modo que tal fragmentación de la producción incrementa, disminuye o no altera el coste total cuando $ED_T(Y)$ es mayor, menor o igual a cero, respectivamente. Es decir, si $ED_T(Y) > 0$, existen economías de diversidad y, por tanto, es más barato producir conjuntamente el vector de productos Y que producir los vectores de productos Y_T y Y_{N-T} por separado. Dicho de otro modo, no conviene especializar, sino diversificar la producción. Es sencillo comprobar que ED debe estar en el intervalo $(-1, 1)$.

4. Estimaciones econométricas de funciones de producción y costes

Las funciones de producción o de costes se estiman a partir de una muestra de datos. Esta muestra de datos puede consistir en información de sección cruzada, o puede referirse a datos de serie temporal o puede incluir ambos tipos de datos, esto es, para distintos individuos durante varios periodos de tiempo lo que se conoce como datos de panel. En este último caso, cuando la técnica de estimación consiste en considerar los datos como un pool pueden aparecer problemas de heterocedasticidad o autocorrelación de los errores derivados de la dificultad de especificar un modelo que recoja adecuadamente las diferencias entre individuos o entre periodos de tiempo para el mismo individuo. En la resolución de estos problemas son de utilidad el uso de variables *dummy*.

El primer objetivo del análisis de producción aplicado es la medida empírica de información económicamente relevante que permita caracterizar de modo exhaustivo el comportamiento de los agentes económicos. Para tecnologías *smooth*, (aquellas que son dos veces continuamente diferenciables) esto incluye el valor de la función (por ejemplo el nivel de

costes), el gradiente de la función (por ejemplo las demandas derivadas o los costes marginales) y el Hesiano (por ejemplo: la matriz de elasticidades de las demandas derivadas o las derivadas de los costes marginales). Por tanto, a la hora de elegir la forma funcional a utilizar en la estimación empírica el objetivo debe ser escoger aquella especificación suficientemente rica en parámetros como para permitir el análisis de todos estos efectos sin imponer restricciones a priori.

La forma funcional utilizada en los primeros trabajos empíricos de estimación de funciones de producción en el sector portuario es la función Cobb-Douglas, cuya expresión es

$$Y = AL^{\alpha} K^{\beta} T^{\gamma} \quad (9)$$

$$Y > 0, K > 0, L > 0, T > 0, \alpha \geq 0, \beta \geq 0, \gamma \geq 0$$

donde Y es el producto, L es el factor trabajo, K el factor capital, T es el nivel de tecnología y A, α , β , y γ son los parámetros constantes a estimar. α , β , y γ representan las elasticidades del producto con respecto al trabajo, capital y tecnología respectivamente, es decir, cada una indica la participación relativa del factor correspondiente en el producto total.

La forma funcional Cobb-Douglas, si bien es fácil de estimar presenta importantes limitaciones. La función Cobb-Douglas ha sido ampliamente utilizada en la literatura para examinar los efectos de escala, dado que estos podían ser fácilmente contrastados parametricamente por referencia a los exponentes de la función. Esta función pertenece a la clase de funciones homogéneas⁶ y por tanto restringe la forma en la cual pueden ocurrir tanto los efectos de escala⁷ como las elasticidades de sustitución⁸. Existen formas funcionales que superan estas limitaciones. Así, la función de elasticidad de sustitución constante (CES) fue la extensión natural de la Cobb-Douglas ya que permitía que la elasticidad de sustitución pudiese tomar valores distintos de la unidad. El siguiente paso obvio es generar una función que permitiera que la elasticidad de sustitución cambie al variar el producto o las proporciones de los factores productivos utilizados. La función de producción que permite estas dos generalizaciones es la función translogarítmica.

⁶ La función es homogénea de grado $\alpha + \beta + \gamma$. Si $\alpha + \beta + \gamma > 1$ hay rendimientos crecientes a escala, si $\alpha + \beta + \gamma = 1$ indica rendimientos constantes y si $\alpha + \beta + \gamma < 1$, entonces existen rendimientos decrecientes a escala.

⁷ Esto es debido a que su elasticidad de escala es constante, es decir, no cambia ante variaciones en la proporción de los factores productivos y/o del nivel de producción.

⁸ El ratio marginal de sustitución técnica es igual a la unidad, para todos los niveles de producción y para cualquier combinación de factores productivos.

Cuando se tiene por objetivo trabajar en términos de costes y precios de los factores productivos en lugar de con productos y factores productivos se utiliza la función de costes, que relaciona el coste de obtener una determinada producción con los precios de los factores productivos utilizados. Como ya se ha comentado, la teoría de la dualidad permite estudiar empíricamente la estructura de producción a través de la estimación de la función de costes.

En la mayoría de los trabajos empíricos se trabaja con funciones de costes que son dos veces diferenciables con respecto al precio de los factores productivos. En estas condiciones la función de costes tiene la importante propiedad conocida como el Lema de Shephard⁹. El Lema de Shephard se usa para generar sistemas de funciones de demanda derivada por factores. De este modo, se pueden obtener tantas ecuaciones adicionales a la función de costes como factores productivos intervengan en el proceso de producción sin introducir ningún parámetro desconocido adicional. La estimación del sistema formado por la función de costes y las funciones de demanda derivada por factores permite obtener estimaciones más eficientes de los parámetros que las que se obtendrían si se estimase sólo la función de costes. Esta es la principal ventaja práctica de la función de costes. (*Mcfadden, 1978*).

Además, del Lema de Shephard se sigue que las segundas derivadas parciales de la función de costes con respecto al precio de los factores han de ser simétricas¹⁰. Esta propiedad permite reducir el número de parámetros a estimar, permitiendo de este modo conservar grados de libertad y posiblemente eliminar problemas de multicolinealidad (*Mcfadden, 1978*).

Por otra parte, la forma funcional escogida para representar una función de costes tiene que cumplir ciertas condiciones de regularidad que aseguren que efectivamente se trata de una verdadera función de costes, es decir, una función consistente con el mínimo gasto para obtener un volumen de producción determinado, dados los precios de los factores. Es bien conocido (*véase Varian, 1978*) que una forma funcional apropiada para representar una función de costes debe ser no negativa y linealmente homogénea¹¹, cóncava y no decreciente

⁹
$$\frac{\partial C(W, Y)}{\partial w_i} = x_i \quad (\text{Lema de Shephard})$$

¹⁰
$$\frac{\partial^2 C(W, Y)}{\partial w_i \partial w_j} = \frac{\partial^2 C(W, Y)}{\partial w_j \partial w_i}, \text{ ó } \frac{\partial x_i(W, Y)}{\partial w_j} = \frac{\partial x_j(W, Y)}{\partial w_i}, \quad \forall i \neq j, \quad (\text{Simetría})$$

¹¹ La homogeneidad lineal en los precios de los factores es una precondition para la existencia de una relación de

en los precios de los factores. Además, cuando se asume libre disposición, una función de costes debe ser no decreciente en los productos.

Además de estas condiciones genéricas, si la función de costes se va a utilizar en la estimación de un proceso de producción multiproductivo debe reunir otros requisitos (*Baumol et al. 1982*). En primer lugar, la función debe proporcionar cifras de costes razonables para vectores de productos con alguna componente en niveles cero, dado que no todas las empresas tienen que producir todos los productos de la industria. Esta condición es violada por ejemplo por la función Cobb-Douglas y por la función translogaritmica¹². En segundo lugar, la función no debe prejuzgar por sí misma la presencia o ausencia de ninguna de las propiedades de costes que juegan un papel importante en el análisis de la industria. Por el contrario, la forma funcional debe ser consistente con la satisfacción o violación de tales propiedades, de modo que los resultados empíricos obtenidos sean consecuencia de los datos y no de la elección de la forma funcional. Esta propiedad es lo que se denomina *flexibilidad sustantiva* de la forma funcional. Un ejemplo de violación de esta condición es, de nuevo, la forma funcional Cobb-Douglas ya que la propia forma funcional impone el resultado de que no existen débiles complementariedades de costes con independencia de que realmente sea así¹³. Por esta razón la función Cobb-Douglas no es adecuada para la estimación de funciones multiproductivas. En tercer lugar, la función no debe requerir la estimación de un número excesivo de parámetros, y por último, no debe imponer restricciones en los valores de las primeras y segundas derivadas parciales.

Por tanto, de todo lo anterior se deduce que es claramente preferible usar formas funcionales que eviten restricciones impuestas por la propia forma funcional, como son las llamadas formas funcionales flexibles, desarrolladas sobre la base de que proporcionan una buena aproximación local a una función arbitraria dos veces diferenciable (*Diewert, 1974*). Esto permite además, que restricciones adicionales tales como homogeneidad, homoteticidad, separabilidad, rendimientos constantes a escala o elasticidad de sustitución constante puedan ser contrastados empíricamente a partir de los datos, más que impuestos como restricciones a priori (*Dodgson, 1985*).

dualidad entre las funciones de transformación y de coste (*Caves et al., 1980*).

¹² En este caso el problema puede ser resuelto mediante el uso de transformaciones Box-Cox, sin embargo esto dificulta enormemente la interpretación de los parámetros.

¹³ De hecho, si existiera complementariedad de costes, una estimación utilizando la función Cobb-Douglas

Caves, et al. (1980) señalan la existencia de tres problemas que pueden restar atractivo a las formas funcionales flexibles utilizadas en el trabajo empírico, a saber: la violación de las condiciones de regularidad en la estructura de la producción, la estimación de un número excesivo de parámetros y la incapacidad para permitir observaciones que contengan niveles nulos para algún producto. A continuación se analizan desde esta perspectiva las formas funcionales flexibles más utilizadas en el sector portuario: la función cuadrática y la función trascendental logarítmica.

La función cuadrática sugerida por primera vez por *Lau (1974)* es una expansión en serie de Taylor de segundo orden, cuya expresión viene dada por la siguiente ecuación:

$$C = \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i y_i + \sum_i^n \beta_i w_i + \frac{1}{2} \sum_i^m \sum_j^m \delta_{ij} y_i y_j + \frac{1}{2} \sum_i^n \sum_j^n \gamma_{ij} w_i w_j + \sum_i^m \sum_j^n \rho_{ij} y_i w_j \quad (10)$$

donde C es el coste total, y es el vector de productos, w es el vector de factores productivos y, α_0 , α_i , β_i , δ_{ij} , γ_{ij} , y ρ_{ij} son parámetros a estimar.

La función translogarítmica es una cuadrática donde las variables se han expresado en logaritmos, es decir:

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i \ln y_i + \sum_i^n \beta_i \ln w_i + \frac{1}{2} \sum_i^m \sum_j^m \delta_{ij} \ln y_i \ln y_j + \\ & \frac{1}{2} \sum_i^n \sum_j^n \gamma_{ij} \ln w_i \ln w_j + \sum_i^m \sum_j^n \rho_{ij} \ln y_i \ln w_j \end{aligned} \quad (11)$$

Cada una de las formas funcionales flexibles expuesta tiene ventajas e inconvenientes de modo que la elección entre ambas es algo que depende del objetivo del trabajo. Así, una de las ventajas de la función cuadrática es que está bien definida para valores cero, lo que permite el tratamiento de aquellos casos en que algún componente del vector producto es nulo, es decir, es apta para el análisis de las economías de diversidad y de los costes incrementales (*Roller, 1990*). Por el contrario, la función translogarítmica no está bien definida para valores cero, lo cual no la hace adecuada para el estudio de las economías de diversidad salvo que se utilice una transformación adecuada del producto, como por ejemplo la transformación Box-Cox, que si bien resuelve el problema complica considerablemente la interpretación de los

parámetros.

Otra ventaja de la función cuadrática es que permite obtener fácilmente los costes marginales, α_i , y los valores del Hesiano, δ_{ij} evaluados ambos en el punto de aproximación, lo cual es esencial para el análisis de la subaditividad (*Jara Díaz, 1983*). Entre los inconvenientes de la función cuadrática se suelen enumerar dos. El primero es que no es posible garantizar que se cumpla la condición de homogeneidad lineal en los precios de los factores. Sin embargo, la publicación del trabajo de *Martinez-Budría et al. (2003)*, indica que es posible imponer esta condición simplemente normalizando la función de coste por el precio de un factor. El segundo inconveniente es que la función de costes es muy estricta en la especificación de los costes fijos cuyo efecto ha de ser capturado por un único parámetro, α_0 , dado que, en realidad, los costes fijos pueden variar dependiendo de que subconjunto del conjunto total de productos es el que está siendo producido. Para resolver esta cuestión y dotar a la forma funcional de capacidad para capturar las diferencias en costes fijos que pueden surgir entre las empresas que producen diferentes conjuntos de productos se utilizan variables *dummy*, F_i , cuyo valor es la unidad siempre que se produzca algo del producto i y cero en cualquier otro caso. Esto conduce a la función cuadrática de costes fijos flexibles (*Mayo, 1984*):

$$C = \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i y_i + \sum_i^n \alpha_i F_i + \sum_i^n \beta_i w_i + \frac{1}{2} \sum_i^m \sum_j^m \delta_{ij} y_i y_j + \frac{1}{2} \sum_i^n \sum_j^n \gamma_{ij} w_i w_j + \sum_i^m \sum_j^n \rho_{ij} y_i w_j \quad (12)$$

Por su parte, la función translogarítmica presenta como principal ventaja que permite analizar de forma sencilla la estructura de producción subyacente, como la homogeneidad, separabilidad, economías de escala, etc., por medio de test relativamente simples sobre un conjunto adecuado de parámetros estimados. Sus coeficientes de primer orden en el punto de aproximación son las elasticidades coste producto calculadas en la media de modo que sumándolas obtenemos una estimación de la inversa del grado de economías de escala (*Jara-Díaz, 1983*).

En cuanto al número de parámetros a estimar es mayor en la función cuadrática que en la translogarítmica (*Caves et al., 1980*) debido a que las restricciones que hay que imponer en la translogarítmica para que cumpla las condiciones de homogeneidad de grado uno en el precio de los factores, simetría, etc. reducen el número de parámetros libres a estimar¹⁴. Aunque para

¹⁴ La función cuadrática tiene $m + n + 1$ parámetros más que la función translogarítmica restringida a ser

estimar cualquiera de las dos funciones de costes podríamos emplear el método de mínimos cuadrados ordinarios, si se dispone de información adicional esta puede ser utilizada para mejorar la eficiencia de la estimación. La aplicación del lema de Shepard asegura que hay un conjunto de ecuaciones de demanda de factores que puede derivarse de la función de coste. De este modo se pueden obtener tantas ecuaciones adicionales a la función de costes como factores productivos (n) intervengan en la estimación de costes sin introducir ningún parámetro adicional. Especificando que las $n+1$ ecuaciones tienen errores conjuntos normales aditivos, puede utilizarse el método de máxima verosimilitud para estimar los parámetros desconocidos. Aunque la función de costes puede estimarse sola, es claramente más eficiente estimar los parámetros a partir del sistema de $n+1$ ecuaciones.¹⁵

Por último, conviene recordar que realizar las estimaciones de estas funciones en un punto de aproximación (generalmente la media de la muestra) es una práctica habitual en el trabajo empírico que responde fundamentalmente a dos razones. En primer lugar, de este modo se obtiene una estimación inmediata del gradiente y de los elementos del hesiano en el punto de aproximación y, en segundo lugar, porque no se crea multicolinealidad entre los términos lineales, cuadrados ni cruzados debido a que las variaciones de las variables independientes se magnifican; de hecho, si la expansión se realiza alrededor de cero surgen problemas de multicolinealidad (*Jara-Díaz, 1983*).

5. Producción y costes en puertos

En la literatura se pueden encontrar un conjunto de trabajos encaminados a esclarecer la estructura productiva y de costes de los puertos mediante la determinación de la presencia o no de economías de escala y, en algún caso, de economías de diversidad. Dentro de este conjunto de trabajos se distinguen fundamentalmente dos enfoques, el primero representado por los trabajos que utilizan funciones de producción, como los trabajos de *Chang (1978)*, *Reker et al., (1990)* y *Tongzon (1993)*, y el segundo integrado por los trabajos que estiman funciones de costes, bien sean monoproductivas, como los trabajos de *Kim y Sachis (1986)*, y de *Martínez Budría (1996)*; o multiproductivas como *Jara Díaz et al., (1997)*, *Martínez*

linealmente homogénea en precios

¹⁵ De las n ecuaciones de demanda derivada de factores sólo $n - 1$ son linealmente independientes. El proceso iterativo de Zellner (1962) consiste en un procedimiento de estimación en dos pasos con una ecuación menos para obtener estimaciones máximo-verosímiles para el sistema completo. Para más detalles ver *Christensen y*

Budría et al., (1998), Jara Díaz et al., (2002) y Tovar (2002). Las principales características de estos trabajos se resumen en los cuadros 2.1 y 2.2.

5.1. Datos y especificación funcional

La primera referencia en la literatura en la que se estima una función de producción para puertos es el trabajo realizado por Chang en 1978. Este autor estima una función de producción a partir de la cual analiza la productividad y la conveniencia de expandir la capacidad del puerto de Mobile (Alabama-USA). Formalmente estima una función de producción Cobb-Douglas de la forma:

$$Q = A L^{\alpha} K^{\beta} e^{\gamma(T/L)} \quad (13)$$

donde: Q = Beneficio bruto del puerto a precios de 1967 (no incluye los pagos a los estibadores), L = Hombres-año; el número medio de empleados, cada año (excluye los estibadores), K= Valor de los activos netos del puerto a precios de 1967, $e^{((T/L))}$ = Proxy para el avance tecnológico, $(T/L)^{16}$ = Toneladas por unidad de trabajo, α , β y γ son parámetros a estimar.

La estimación empírica se realiza por mínimos cuadrados ordinarios y utiliza una serie temporal de datos anuales que abarca un período de 21 años (1953-1973) tomada en logaritmos.

También con el propósito de analizar la productividad y ofrecer un indicador alternativo a las medidas de productividad parcial de los factores *Reker et al., (1990)* estiman una función de producción para tres terminales de contenedores situadas en el Puerto de Melbourne. Es el primer trabajo donde se estima una función de producción para terminales portuarias de modo que se está modelando no sólo los servicios prestados por la infraestructura (como parece ocurrir en el trabajo de *Chang,(1978)*), sino también el servicio de manipulación de la carga.

En el trabajo de *Reker et al., (1990)*, siguiendo a *De Neufville y Tsunokawa (1981)*, se

Greene (1976)

¹⁶ T/L como proxy implica asumir que no cambia K/L si r/w se mantiene constante (*Harrod-neutral y Hicks neutral technological progress*).

considera que en el caso de los puertos es más adecuado estimar una función de producción que recurrir al enfoque más usual, la estimación de una función de costes, debido a la dificultad de disponer de datos fiables sobre los precios de los factores productivos. Con el objetivo de sacar partido a la gran cantidad de medidas individuales de rendimiento que se habían calculado con anterioridad los autores se plantearon la posibilidad de utilizarlas como factores productivos (variables independientes) de la función de producción. Si bien reconocen que los factores productivos utilizados no son totalmente independientes, asumen que el grado de dependencia es despreciable. La estimación de la función se efectúa realizando una regresión múltiple de los factores productivos con el objetivo de estimar la siguiente función Cobb Douglas :

$$Q = A C^{\alpha} B^{\beta} L^{\gamma} \quad (14)$$

donde: Q = Número de TEUs¹⁷, C = Tiempo de operación de grúa neto, B = Horas de atraque
L = Manos, α , β y γ son parámetros a estimar.

Los datos utilizados en la estimación empírica son mensuales, de mayo de 1984 a febrero de 1990 (ambos inclusive), y corresponden a tres terminales existentes en el puerto de Melbourne tratadas como si fuesen una, justificando este curso de acción como la única forma de conseguir suficientes datos fiables como para llevar a cabo la estimación y defendiendo que las similitudes entre las tres terminales, por lo que se refiere tanto a su situación geográfica, como al equipo utilizado, es tal que no se generan problemas por actuar de este modo, al tiempo que se permite garantizar la confidencialidad de los datos.

Al igual que *Reker et al.*, (1990), *Tongzon* (1993) estima una función de producción para la manipulación de contenedores, si bien en este caso el objetivo del autor es investigar si la nueva política de tarificación del Puerto de Melbourne había mejorado la eficiencia del puerto al tiempo que valorar la contribución de los distintos factores que intervienen en la eficiencia portuaria. Utilizando datos mensuales de mayo de 1984 a febrero de 1990 para los muelles de contenedores del puerto de Melbourne estima la siguiente función de producción:

$$Y = A X_1^{\alpha} X_2^{\beta} X_3^{\gamma} \quad (15)$$

donde: Y = Número de TEUs por hora de atraque, X_1 = Número de grúas por hora de

ataque, X_2 = Número de manos por hora de ataque, X_3 = Número de TEUs transportados por carretera por hora de ataque, α , β y γ son parámetros a estimar.

Del mismo modo que en el artículo *Reker et al., (1990)*, la especificación del modelo estimado por *Tongzon (1993)* es el resultado de varias pruebas para lograr el mejor ajuste de los datos en función de criterios tales como la conformidad con las restricciones a priori, la bondad del ajuste, la significatividad de los coeficientes, y la ausencia de correlación serial.

Los trabajos de *Chang (1978)*, *Reker et al., (1990)* y *Tongzon (1993)*, utilizan como forma funcional una Cobb-Douglas, que si bien es fácil de estimar presenta las importantes limitaciones que ya han sido comentadas en la sección 2.3. Por tanto, se insiste en la idea de que es claramente preferible usar formas funcionales que eviten restricciones de esta clase, como son las llamadas formas funcionales flexibles.

Una forma funcional flexible ampliamente utilizada en el análisis empírico es la función trascendental logarítmica, la cual puede ser interpretada como una expansión de segundo orden en logaritmos de las variables en series de Taylor. Este es precisamente el enfoque utilizado por la primera referencia en la literatura en la que se estima una función de costes para puertos, el trabajo realizado por *Kim y Sachis (1986)* sobre el puerto de Ashdod.

En este trabajo los autores se proponen un triple objetivo: en primer lugar, analizar la estructura de producción de un puerto poniendo especial atención al patrón de sustitución entre los factores productivos y a la determinación de la existencia o no de economías de escala. En segundo lugar, examinar la naturaleza y el impacto del cambio tecnológico, es decir, se analiza no sólo el ratio del cambio tecnológico, sino también si ha sido o no un cambio tecnológico sesgado que altera la proporción de factores productivos utilizada. Por último, explorar la interrelación entre economías de escala internas al puerto y el cambio tecnológico externo en la determinación de la productividad total de los factores. Para ello descomponen la productividad total de los factores en una parte relacionada con las economías de escala y en otra inducida por el cambio técnico.

Para estimar el cambio técnico y la tecnología de la operación portuaria entendida como los servicios prestados por la infraestructura y la manipulación de la carga, *Kim y Sachis (1986)*

¹⁷ *Twenty feet equivalent unit.*

especifican una función de costes totales a largo plazo. La forma funcional elegida es la siguiente función trascendental logarítmica:

$$\begin{aligned} \ln c = & \alpha_0 + \alpha_y \ln y + \sum_i \alpha_i \ln w_i + \frac{1}{2} \gamma_{yy} (\ln y)^2 + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln w_i \ln w_j \\ & + \sum_i \gamma_{iy} \ln w_i \ln y + \sum_i \theta_{it} \ln w_i \ln t + \theta_{yt} \ln y \ln t + \beta_t \ln t + \frac{1}{2} \beta_{tt} (\ln t)^2 \end{aligned} \quad (16)$$

donde: C = Mínimo coste total, Y = Toneladas de carga, W_i = Precios del factor i, T = Es un índice de la tecnología, en concreto el porcentaje de mercancía contenerizada, i, j = 1,...,n; son índices de los n factores de producción, α_0 , α_y , α_i , γ_{yy} , γ_{ij} , γ_{iy} , θ_{it} , θ_{yt} , β_t , y β_{tt} son parámetros a estimar. Todas las variables están definidas alrededor de la media de la muestra (punto de expansión).

El indicador de tecnología utilizado, porcentaje de carga contenerizada, presenta valores cero para los primeros años de la muestra, dado que la contenerización no se introdujo en el puerto de Ashdod hasta 1970. Como consecuencia la función translogarítmica degenera a niveles cero para el nivel de tecnología, lo cual crea problemas que se resuelven utilizando una transformación Box-Cox para la variable indicador de la tecnología, t, que está especificada en (16) como:

$$t = \frac{(T^{*\theta} - 1)}{\theta} \quad (17)$$

Esta función translogarítmica híbrida se aproxima a la función translogarítmica ordinaria cuando θ se aproxima a cero. Los autores eligieron un $\theta = 0.01$ para el cual (17) es virtualmente idéntico a $\ln t$.

Para realizar la estimación cuentan con una serie temporal de 18 observaciones anuales (1966-1983) del Puerto de Ashdod (Israel). Se estimó, por la técnica iterativa modificada de Zellner, un sistema de ecuaciones formado por la función de coste total translogarítmica, la ecuación de participación de costes de los factores (lema de Shephard) y las restricciones paramétricas adecuadas para que la función de costes cumpla los requisitos necesarios de simetría y homogeneidad en el precio de los factores¹⁸.

¹⁸ La homogeneidad lineal en el precio de los factores se consigue mediante la imposición de la siguiente

El primer trabajo que estima una función de costes para el sistema portuario español es el efectuado por *Martínez Budría (1996)*. El objetivo de este trabajo es analizar la prestación de servicios de infraestructura portuaria, cuya gestión estaba encargada a las Juntas del Puerto que terminan transformándose en las actuales autoridades portuarias, al tiempo que se analizan las diferencias existentes entre ellas. Se considera que la tecnología utilizada por todas las autoridades portuarias es la misma y puede ser analizada utilizando un modelo cuya estructura de error incluye un efecto temporal fijo y un efecto individual específico. El efecto temporal fijo es idéntico para cada empresa aunque varía con los períodos y recoge el cambio técnico durante el período de observación. Por su parte, el efecto individual específico permite investigar las causas de las diferencias en costes.

La estimación de la función de costes se efectuó a partir de un panel de datos de 135 observaciones correspondientes a 27 puertos de interés general, durante un período de cinco años (1985-1989). La especificación de la forma funcional escogida por el autor es la siguiente función Cobb-Douglas:

$$CT_{it} = A \cdot Q_{it}^b \cdot w_{it}^{c_1} \cdot \Gamma_{it}^{c_2} \cdot m_{it}^{c_3} \cdot e^{\sum_i d_i D_i} \cdot e^{\sum_i d_i D_i} \cdot e^{\xi_{it}} \quad (18)$$

donde: CT_{it} = Costes totales del puerto i en el período t , Q_{it} = Actividad del puerto i en el período t , w_{it} = Precio del factor trabajo en el puerto i en el período t , m_{it} = Precio del factor intermedio en el puerto i en el período t , r_{it} = Precio del factor capital en el puerto i en el período t , d_i = Efecto individual específico de la empresa i , D_i = Variable ficticia para la empresa i , d_t = Efecto temporal del año t , D_t = Variable ficticia representando el período t , ξ_{it} = Término de error, y, A , c_1 , c_2 , c_3 , parámetros a estimar.

La función Cobb-Douglas puede ser vista como una expansión de primer orden en logaritmos de las variables en series de Taylor (*McFadden, 1978*). En ella todas las elasticidades de las demandas derivadas se igualan a los parámetros de la función de costes que, por el lema de Shephard, también son iguales a las participaciones de costes, por tanto,

restricción:

$$\sum_i \alpha_i = 1, \sum_j \gamma_{ij} = \sum_i \gamma_{iy} = \sum_i \theta_{it} = 0$$

y la simetría se asegura mediante la siguiente restricción:

$$\gamma_{ij} = \gamma_{ji}$$

los efectos de primer y segundo orden están mezclados en la función Cobb-Douglas. Por esta razón, como ya se ha señalado, es preferible utilizar formas funcionales que eviten restricciones a priori en las derivadas de primer y segundo orden, es decir, formas funcionales flexibles¹⁹.

Sólo un año después, en 1997 se presenta en The European Transport Forum una versión multiproductiva de este trabajo elaborada por *Jara Díaz et al., (1997)*, cuyo objetivo es determinar los costes marginales específicos a cada producto, las economías de escala y de diversidad de los servicios de infraestructura de los puertos españoles. El modelo estimado difiere del utilizado por *Martínez Budría (1996)* fundamentalmente en tres aspectos. En primer lugar, cambia la especificación de la forma funcional, optándose en este caso por una forma funcional flexible. En segundo lugar, aunque *Martínez Budría (1996)* reconocía la naturaleza multiproductiva de la actividad utilizaba en su trabajo una medida agregada del producto, mientras que en el trabajo de *Jara Díaz et al., (1997)* el producto se define como un vector con cinco componentes. Por último, las técnicas de estimación de datos de panel utilizadas en ambos trabajos difieren. Así, en el trabajo de *Martínez Budría (1996)* la estimación de la función se realiza por mínimos cuadrados con variables ficticias (modelo de efectos fijos), mientras que en el trabajo de *Jara Díaz et al., (1997)* se estima un sistema de ecuaciones formado por la función de costes y las funciones de demandas derivadas por factores, utilizando la técnica iterativa de Zellner.

La base de datos usada en la estimación de la función de costes es la misma utilizada por Martínez Budría, y la forma funcional escogida para la función de costes a largo plazo fue la siguiente función cuadrática:

$$C = \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i (y_i - \bar{y}_i) + \sum_i^n \beta_i (w_i - \bar{w}_i) + \sum_i^m \sum_{j \neq i}^m \alpha_{ij} (y_i - \bar{y}_i)(y_j - \bar{y}_j) + \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n \beta_{ij} (w_i - \bar{w}_i)(w_j - \bar{w}_j) + \sum_i^m \sum_j^n \delta_{ij} (y_i - \bar{y}_i)(w_j - \bar{w}_j) + \xi \quad (19)$$

donde: C = Coste total a largo plazo, y_i = Vector de productos, w_i = Vector de factores

¹⁹ Además, la utilización de formas funcionales flexibles permite obviar la necesidad de mantener las restricciones de separabilidad y homogeneidad, ya que ahora estas restricciones pueden tratarse como hipótesis contrastables.

productivos, $\bar{y}_i$ = Valor medio de la muestra de productos, $\bar{w}_i$ = Valor medio de la muestra de factores productivos, ε = Término de error, α_0 , α_i , β_i , α_{ij} , β_{ij} , δ_{ij} , son parámetros a estimar.

Utilizando una estructura similar a la del trabajo de *Jara et al., (1997)*, *Martínez Budría et al., (1998)* profundizan en el conocimiento del sistema portuario español llevando a cabo un trabajo cuyo objetivo es analizar los resultados que se derivan de la reforma de las operaciones de estiba en los puertos españoles. Para lograr su propósito cuentan con una base de datos elaborada a partir de los datos de tráfico portuario procedente de los Anuarios Estadísticos de los puertos españoles y de una encuesta enviada a las 34 Sociedades Estatales de Estiba y Desestiba que existen en el sistema portuario español. Esta encuesta es finalmente contestada por 24 de estas sociedades, lo que proporciona a los autores 119 observaciones con las que construyen un panel de datos para los años 1990-1996. Este panel es desequilibrado en el sentido de que no todas las sociedades disponían de todos los datos para todo el período muestral.

La especificación funcional utilizada para llevar a cabo la estimación es la siguiente función translogarítmica generalizada:

$$\begin{aligned} \ln c = & \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i \ln w_i + \sum_i^m \sum_{j \geq i}^m \alpha_{ij} \ln w_i \ln w_j + \sum_i^n \beta_i \ln y_i + \\ & \sum_i^n \sum_{j \geq i}^n \beta_{ij} \ln y_i \ln y_j + \sum_i^m \sum_j^n \delta_{ij} \ln w_i \ln y_j + \sum_i^n \sum_j^n \beta_{ij} \ln y_i \ln y_j + \\ & \theta_1 T + \theta_2 T^2 + \sum_i^m \theta_{1i} T \ln w_i + \sum_i^n \theta_{1i} T \ln y_i \end{aligned} \quad (20)$$

donde: C = Coste Total, w_i = Precio del factor productivo i, Y_i = Cantidad producida del producto i, T = Tiempo, α_0 , α_i , α_{ij} , β_i , β_{ij} , θ_1 , θ_2 , θ_{1i} , θ_{1i} , δ_{ij} , son parámetros a estimar.

La ecuación (20) se estima junto con las ecuaciones de demanda derivada de factores (lema de Shephard) y un conjunto de restricciones sobre los parámetros habitualmente utilizados con las funciones translogarítmicas para garantizar la homogeneidad de grado uno de la función de costes en los precios de los factores²⁰. La estimación se llevó a cabo por la técnica

²⁰La homogeneidad de grado uno de la función de costes en los precios de los factores se garantiza mediante la imposición de la siguiente restricción:

iterativa modificada de Zellner.

Por otra parte, en *Jara Díaz et al., (2002)* se reestima el mismo modelo que en *Jara Díaz et al., (1997)*, utilizando ahora un pool de datos de 286 observaciones correspondientes a 26 puertos de interés general durante un período de once años (1985-1995).

Por último, con *Tovar(2002)* aparece el primer trabajo en el que se estima una función de costes totales a largo plazo para el servicio de manipulación de mercancía general en terminales portuarias polivalentes. El objetivo del trabajo es obtener estimaciones de costes marginales, economías de escala y diversidad que al tiempo que permitan profundizar en el conocimiento de una actividad portuaria clave, sirva para orientar la regulación del sector. La base de datos con la que se cuenta para efectuar el trabajo empírico es un panel de datos mensuales e incompleto que recoge datos de las tres terminales. En concreto de 1991 a 1999 para T.2, de 1992 a 1997 para T.1 y de 1992 a 1998 para T.3., elaborada a partir de la información obtenida de las terminales, la Autoridad Portuaria de Las Palmas, la Sociedad Estatal SESTIBA y el Registro Mercantil..

La especificación econométrica de la función de coste total a largo plazo es:

$$\begin{aligned}
 CT = & A_0 + \sum_{i=1}^m \alpha_i (y_i - \bar{y}_i) + \sum_{i=1}^n \beta_i (p_i - \bar{p}_i) + \phi(T - \bar{T}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \delta_{ij} (y_i - \bar{y}_i)(y_j - \bar{y}_j) \\
 & + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} (p_i - \bar{p}_i)(p_j - \bar{p}_j) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \rho_{ij} (y_i - \bar{y}_i)(p_j - \bar{p}_j) + \sum_{i=1}^m \lambda_i (y_i - \bar{y}_i)(T - \bar{T}) \\
 & + \sum_{i=1}^n \mu_i (p_i - \bar{p}_i)(T - \bar{T}) + \pi(T - \bar{T})(T - \bar{T}) + \sum_{i=1}^N \theta_i D_i
 \end{aligned} \quad (21)$$

donde: y_i = Cantidad de producto i , p_i = Precio del factor productivo i , m = Número de productos, n = Número de factores productivos, T = Tendencia temporal, D_i = *Dummy* de empresa, N = Número de empresas. Todas las variables señaladas con una barra horizontal reflejan el valor en la media de toda la muestra.

En definitiva, se trata de una función cuadrática desviada de la media de la muestra, donde además, se han incluido *dummys* de empresa que permiten capturar efectos específicos, y una

$$\sum_i \alpha_i = 1, \sum_i \sum_{j \neq i} \alpha_{ij} = \sum_i \sum_{j \neq i} \beta_{ij} = 0, \sum_i \theta_i$$

21

tendencia temporal cruzada con todas las variables, que recoge el posible cambio técnico. Utilizando la técnica iterativa modificada de Zellner, se estima un sistema de ecuaciones formado por la función de coste total (21) y las ecuaciones de gasto en factores obtenidas por la aplicación del Lema de Shephard, que permite obtener tantas ecuaciones adicionales a la función de costes como factores productivos variables intervengan en la estimación de costes sin introducir ningún parámetro adicional.

5.2. Definición del producto.

En casi todas las aplicaciones empíricas los autores se enfrentan con el problema de cómo definir el producto. Ello es porque aunque la mayor parte de las actividades económicas de producción son multiproductivas, hasta la aparición del trabajo de *Baumol et al.*, (1982) en la década de los años 80, no se sistematizó un cuerpo teórico que analizara en profundidad la naturaleza de las actividades multiproductivas definiendo nuevos conceptos propios de la multiproducción que pudieran ser contrastados empíricamente.

No obstante, en el análisis empírico siguieron predominando de forma importante los trabajos que, aún reconociendo la naturaleza multiproductiva de una actividad, recurrían a algún agregado para representar el producto, o en el mejor de los casos, utilizaban atributos como un modo de recoger el carácter multiproductivo que estaban ignorando. La cuestión de la agregación del producto en una única dimensión no es intrascendente, como señala y demuestra en alguno de sus trabajos *Jara Díaz (1982)*, debido a que este comportamiento supone no sólo una pérdida de información, sino que esta pérdida puede causar un grave problema a la hora de interpretar los coeficientes estimados en los análisis empíricos. De cualquier modo, es necesario reconocer que en algunos casos, la dimensión del vector real de productos hace imposible la estimación de una forma funcional flexible, obligando a algún grado de agregación aunque eso suponga una pérdida de información.

Las definiciones del producto utilizadas en las estimaciones empíricas de funciones de producción y costes en la industria portuaria difieren ampliamente. Antes de analizarlas es necesario matizar que no todos estos autores están considerando el puerto desde una perspectiva integral. Así, *Reker et al.*, (1990), *Tongzon (1993)* y *Tovar (2002)* centran su atención en el servicio de manipulación de mercancías en terminales portuarias mientras que

Jara Díaz et al., (1997), Martínez Budría (1996) y Jara Díaz et al., (2002) analizan exclusivamente el servicio de provisión de infraestructura portuaria por las autoridades portuarias. En otro de sus trabajos *Martínez Budría (1998)* estudia la actividad desempeñada por las Sociedades Estatales de Estiba y Desestiba (*pool* de trabajadores portuarios) existentes en España. Por lo que se refiere al trabajo de *Kim y Sachis (1986)* la actividad del puerto es considerada desde una perspectiva integral que engloba tanto los servicios prestados por la infraestructura como el resto de los servicios portuarios. Por último, en el caso de *Chang (1978)*, no hay mención alguna acerca de qué se entiende por servicios portuarios. Aunque la exclusión en el beneficio bruto de los pagos a los estibadores y en el factor trabajo de las horas por éstos trabajadas parece indicar que se están modelizando los servicios prestados por la infraestructura, esto no queda establecido de forma clara e inequívoca, ya que, por otro lado, desecha las toneladas manipuladas como variable representativa del producto en favor del beneficio bruto porque argumenta que en las estadísticas oficiales generalmente se incluyen toneladas que atravesaron el puerto pero no fueron necesariamente manejadas por el puerto.

Obviamente, la definición del producto vendrá condicionada, entre otras cosas, por lo que cada autor esté entendiendo por actividad portuaria. Así, *Reker et al., (1990)*, y *Tongzon (1993)*, definen el producto como número de TEUS y número de TEUS por hora de atraque, respectivamente. En este último caso el autor justifica esta medida del producto por ser consistente con el objetivo de la Autoridad Portuaria de maximizar la utilización del atraque.

Por su parte, *Kim y Sachis (1986)* y *Martínez Budría (1996)* utilizan como medida del producto las toneladas de carga que atraviesan el puerto durante un año. Ambos autores reconocen el carácter multiproductivo de la actividad que están analizando, pero estiman una función de costes monoprodutiva. En el caso de *Kim y Sachis, (1986)* debido a que cuentan con un número limitado de observaciones, si bien señalan que sería deseable desagregar por tipo de mercancía para evitar el sesgo de agregación. Por su parte, *Martínez Budría (1996)* opta por un agregado de la actividad porque asume que la aportación al coste de una tonelada de mercancía es independiente de la actividad en la que se mueva. Este supuesto es restrictivo a juzgar por los resultados obtenidos en los trabajos posteriores por *Jara Díaz et al., (1997)* y *Jara Díaz et al., (2002)*.

Por último, los trabajos de *Jara Díaz et al., (1997)*, *Martínez Budría et al., (1998)* y *Jara Díaz et al., (2002)*, definen un vector de productos. En los dos trabajos de Jara Díaz et al. se considera que la actividad portuaria de prestación de servicios de infraestructura puede ser representada por un vector de cinco componentes: toneladas movidas de mercancía general no contenerizada (MGNC), de mercancía general contenerizada (MGC), de graneles líquidos (GL), de graneles sólidos (GS), y CANON siendo esta última un índice agregado de otras actividades que utilizan parte de la infraestructura y que representa principalmente espacio cedido en concesión o alquilado por las autoridades portuarias a las empresas privadas.

Por su parte, el trabajo de *Martínez Budría (1998)* modeliza la actividad de las Sociedades Estatales de Estiba y Desestiba que según el autor refleja los servicios de manipulación de la mercancía por lo que el vector de productos utilizado tiene dos componentes: las toneladas manipuladas de mercancía general (MG) y de graneles sólidos (GS). Por último, el trabajo de *Tovar (2002)* en su análisis del servicio de manipulación de mercancías considera un vector de tres productos: miles de toneladas movidas de contenedores, rodantes y mercancía general.

5.3. Variables independientes.

La definición de las variables independientes utilizadas en los diferentes trabajos varía, bien porque lo hace la actividad a la que se refiere el estudio²¹, bien porque varía el tipo de función que se está estimando: función de producción o función de costes. Así, las variables independientes de las funciones de producción son los factores productivos, mientras que en el caso de las funciones de costes aparecen los precios de los factores y los productos.

En los trabajos que estiman una función de producción, las variables independientes representan fundamentalmente a los factores trabajo y capital y en algunas ocasiones el avance tecnológico. Existen al menos dos formas de definir el factor trabajo, la primera consiste en definir el trabajo como número total de empleados y la segunda como número total de horas trabajadas. Cuando las jornadas laborales difieren entre los distintos empleados parece más adecuado utilizar la segunda de estas medidas, en caso contrario es indiferente utilizar cualquiera de las dos.

²¹ En algunos de ellos se analiza sólo parte de la actividad que se lleva a cabo en el puerto (servicios prestados por la infraestructura, o servicios de manipulación de la carga), mientras que en otros se está analizando la actividad del puerto de manera conjunta.

La definición del factor trabajo en los tres artículos que estiman funciones de producción analizados, *Chang (1978)*, *Reker et al., (1990)*²², y *Tongzon (1993)*, definen el factor trabajo como número de hombres empleados. Por lo que se refiere a las variables utilizadas para representar el factor capital la diversidad es mayor. Así, en el trabajo de *Chang (1978)* el capital se mide como el valor de los activos netos del puerto, en el trabajo de *Reker et al., (1990)*, se utilizan las horas de atraque, mientras que en el trabajo de *Tongzon (1993)* la variable escogida es el número de grúas por hora de atraque. Por último, estos trabajos incluyen además otras variables para recoger aspectos diferentes como pueden ser el cambio tecnológico (*Chang, 1978*) o el efecto en la producción de otros factores distintos del capital y el trabajo como son las conexiones terrestres, etc. (*Tongzon, 1993*).

Cuando se trata de estimar funciones de costes es necesario disponer de información acerca del precio de los factores productivos que intervienen en el proceso. *Kim y Sachis (1986)* consideran dos factores productivos, trabajo y capital. El trabajo es medido por el número efectivo de horas reales trabajadas, que se obtiene utilizando un índice Divisia²³. De este modo se agregan las horas trabajadas por trabajadores que realizan diferentes tareas ponderadas por la importancia que cada tarea tiene en los costes laborales totales. El precio del trabajo se obtuvo dividiendo el gasto total en trabajo por el número efectivo de empleados. Con respecto al input capital incluye tres tipos de activo: equipos (grúas), otro equipo depreciable (edificios y equipo de servicio) y otros capitales no depreciables y materiales. El precio del factor capital utilizado se obtiene calculando el *Christensen-Jorgenson (1969) User Cost* de la forma:

²² Este trabajo tiene varias debilidades. En primer lugar, la definición de las variables independientes es inexistente, de modo que el lector tiene dificultades para saber exactamente el contenido de cada una de ellas. Así, llama la atención que la variable tiempo de operación de grúa esté representando el factor trabajo. En segundo lugar sorprende que los autores escojan como modelo la ecuación (2.37) al tiempo que reconocen que la eliminación de la variable L permite obtener un mejor ajuste de los datos (se pasa de un $R^2 = 0.66$ a un $R^2 = 0.85$). En tercer lugar, el supuesto acerca de la independencia de las variables explicativas cuando los mismos autores reconocen que no son totalmente independientes.

²³ El índice Divisia se define como:

$$DI^t = \frac{1}{2} \sum (S_i^t + S_i^0) \ln(P_i^t / P_i^0)$$

donde t indica un año particular, i indica un subcomponente particular del factor de producción, P_i^t es el precio del factor i en el año t, S_i^t es la participación en el coste del factor i en el año t y viene dado por la expresión:

$$S_i^t = \frac{P_i^t X_i^t}{\sum_i P_i^t X_i^t}$$

siendo X_i^t la cantidad (valor) del factor.

$$P_{k,t}^i = q_{k,t}^i (r_t^i + \delta_t^i) \quad (22)$$

donde q_k es el precio del activo, δ es el ratio de depreciación y r es el tipo de interés, cada uno de ellos para el activo i en el año t . Calculado el coste de uso de los servicios de capital para cada tipo de activo definido se agregan mediante un índice de precios Divisia.

Por lo que se refiere a los trabajos de *Martínez Budría (1996)* y *Jara Díaz et al., (1997)* y *Jara Díaz et al., (2002)* consideran que una variable que aproxima de modo adecuado el precio del factor trabajo es el cociente que resulta de dividir los costes totales de personal por el número de trabajadores empleados, mientras que *Martínez Budría et al., (1998)* utiliza el cociente entre el coste del personal y el número de horas trabajadas. Por último, en el trabajo de *Tovar (2002)* se utilizan ambas aproximaciones. Se distingue entre trabajadores no portuarios y portuarios. El precio para los no portuarios se aproxima por el cociente entre el coste total de este tipo de trabajadores y el número de trabajadores, mientras que cuando se trata de los trabajadores portuarios se utiliza como denominador el número de horas trabajadas. Por lo que respecta al capital existen pequeñas diferencias según los trabajos. En el trabajo de *Martínez Budría (1996)* su precio se aproxima mediante el cociente entre la amortización del período y el número de metros lineales de muelles de calado superior a 4 metros²⁴, mientras que en el trabajo de *Jara Díaz et al., (1997)* y *Jara Díaz et al., (2002)* se utiliza una variable similar, si bien con el objeto de incorporar el concepto económico de coste, en el trabajo de 1997 se incorpora a la amortización del periodo una tasa de rendimiento del 5 por ciento sobre los activos fijos netos, mientras que en el de 2002 se utiliza una tasa del 6 por ciento. En el trabajo de *Tovar (2002)* se utiliza como aproximación el cociente entre el coste de capital y el capital vivo del periodo. El coste de capital se obtiene como la suma de la amortización contable del período más un rendimiento sobre el capital vivo del período y las acciones de la Sociedad Estatal. Por último, en *Martínez Budría et al., (1998)* no se incorpora el factor capital por que, según los autores, es residual en este tipo de actividad.

Por último, en *Martínez Budría (1996)*, *Jara Díaz et al., (1997)*, *Martínez Budría et al., (1998)* y *Jara Díaz et al., (2002)* y *Tovar (2002)* se utiliza además de los factores productivos

²⁴ No obstante, el autor comenta en su trabajo que la utilización del concepto económico del coste en lugar del contable no mejoraba los resultados de la estimación.

trabajo y capital un factor adicional denominado input intermedio que consiste en una variable que recoge otras partidas de costes necesarias para la actividad y cuyo precio se determina como el cociente entre todas las partidas de coste distintas de los costes de personal y las amortizaciones; y la actividad total, representada como las toneladas totales manejadas por el puerto en todos los casos, salvo en *Jara Díaz et al., (2002)* donde es representada por la cifra de ingresos anuales, y en *Tovar (2002)* donde se utiliza como indicador el precio de la electricidad, debido a que el precio del resto de los componentes no presenta variación.

5.4. Resultados de las estimaciones: economías de escala y/o de diversidad.

Como se ha puesto de manifiesto en los epígrafes anteriores, los trabajos analizados son heterogéneos en cuanto a la actividad analizada, la especificación funcional utilizada y a los objetivos perseguidos, por ello son también heterogéneas las mediciones realizadas por los distintos autores. De todas estas medidas, las cuales están recogidas en los *cuadros 2.1 y 2.2*, existe un denominador común: las economías de escala, a cuyo análisis comparativo se dedica este apartado. Además, también se comentan los resultados obtenidos en los dos únicos trabajos analizados que estiman economías de diversidad por la importancia que éstas tienen en este trabajo.

Comparar las estimaciones empíricas de economías de escala de los diferentes trabajos considerados exige no olvidar que la actividad analizada difiere entre los mismos. Todos los trabajos que estudian los servicios prestados por la infraestructura: *Chang (1978)*, *Martínez Budría (1996)* y *Jara Díaz et al., (1997)* y *Jara Díaz et al., (2002)* concluyen que existen rendimientos crecientes a escala, si bien, es necesario hacer algunos comentarios al respecto.

La primera estimación empírica de las economías de escala existentes en la prestación de servicios portuarios de infraestructura es la realizada por *Chang (1978)* para el puerto de Mobile. Aunque afirma en su trabajo que los resultados obtenidos no permiten rechazar la hipótesis de rendimientos constantes *Chang (1978)* sostiene que los puntos de α y β estimados²⁵ sugieren que los rendimientos crecientes son el supuesto relevante con respecto al grado de homogeneidad de la función de producción del puerto de Mobile. Sin embargo,

²⁵ Representa la elasticidad del beneficio bruto con respecto a cambios en el trabajo y capital respectivamente.

su conclusión de que los rendimientos crecientes son el supuesto relevante es algo que no puede ser refutado a la vista de los intervalos de confianza calculados por el propio autor.

Como ya se ha comentado, los otros tres trabajos, *Martínez Budría (1996)* y *Jara Díaz et al., (1997)* y *Jara Díaz et al., (2002)*, emplean una base de datos similar: la misma en *Martínez Budría (1996)* y *Jara Díaz et al., (1997)* y abarcando un horizonte temporal mayor en *Jara Díaz et al., (2002)*. Además, en *Martínez Budría (1996)* se utiliza un enfoque monoprodutivo a diferencia de *Jara Díaz et al., (1997)* y *Jara Díaz et al., (2002)* donde se considera un vector de cinco productos.

El resultado estimado por *Martínez Budría (1996)* para las economías de escala, 3.47, es bastante más abultado que el obtenido por *Jara Díaz et al., (1997)* y *Jara Díaz et al., (2002)*, 1.43 en el trabajo de 1997 y 1.69 en el trabajo de 2002, en ambos casos para la media de la muestra (también se calculó, en ambos trabajos, el grado de economías de escala por puerto). La explicación de la diferencia radica, según *Jara Díaz et al.*, en la existencia de economías de diversidad que no pueden ser reveladas a partir de una descripción agregada del producto y cuya existencia ha podido ser contrastada en estos dos últimos estudios.

Efectivamente, en los trabajos de *Jara Díaz et al., (1997)* y *Jara Díaz et al., (2002)* se calculan las economías de diversidad en la media de la muestra para tres subconjuntos del vector de productos y sus correspondientes complementos: en primer lugar; estudia si existe una ventaja en costes separando los graneles líquidos del resto, en segundo lugar, analizaron lo adecuado de separar la carga general de los graneles líquidos y sólidos. En último lugar, se considera la especialización en mercancía general. En ambos trabajos, todos los casos analizados mostraron que no era conveniente especializar la infraestructura portuaria por tipos de productos, si bien los ahorros obtenidos en el trabajo de 1997 (alrededor de un 36%) fueron algo menores que en el trabajo de 2002 (alrededor de un 45%).

Los trabajos que analizan la actividad de los muelles-terminales de contenedores utilizando una función de producción *Reker et al., (1990)* y *Tongzon (1993)*, llegan a conclusiones contradictorias, si bien existen varias razones que restan validez a estos estudios. Por una parte, *Reker et al., (1990)*, concluyen que es el factor trabajo, reflejado a través de la variable horas de grúa netas, el principal factor explicativo de la función de producción, y, aunque no

hacen mención a ello, los puntos estimados de α , β y γ , sugieren la existencia de rendimientos decrecientes. Sin embargo dos circunstancias restan validez a este indicio. La primera es el hecho de que los autores reconozcan que el error estándar de los parámetros individuales indica que el único parámetro significativo es el tiempo neto de operación de grúa; la segunda, se debe a que los autores no han publicado los errores estándar de los parámetros, ni los coeficientes t , que permitiría calcular intervalos de confianza para contrastar la hipótesis de rendimientos decrecientes. Por otra parte, los parámetros estimados por *Tongzon (1993)* sugieren que la función de producción está sujeta a rendimientos crecientes aunque esto se contradice con la conclusión que de estos datos extrae el autor, quien concluye que los rendimientos sugeridos por su estimación son constantes. En cualquier caso, la ausencia de intervalos de confianza para contrastar la hipótesis de rendimientos constantes no permite extraer conclusiones.

El único trabajo que analiza la actividad de manipulación de mercancías en terminales portuarias a través de la estimación de una función de costes es el realizado por *Tovar (2002)*. El planteamiento multiproductivo de este trabajo permite contar con estimaciones de costes marginales, de economías de escala, globales y específicas, y economías de diversidad. La estimación del grado de economías de escala evaluadas en la media fue de 1.64 señalando la existencia de rendimientos crecientes a escala. El análisis de las economías de diversidad se utilizó para evaluar si existía una ventaja en costes derivada de especializar las tres terminales analizadas en alguno o algunos de los tres productos que manipulaban: contenedores, mercancía general y rodantes. Se analizaron todas las particiones relevantes del vector de productos. En todos los casos se concluye que no es conveniente la especialización. Hay evidentes ahorros de la producción conjunta, tanto cuando ésta se compara con el caso extremo de tres empresas especializadas en cada uno de los productos, como cuando se compara con cualquier partición en dos empresas (una especializada).

Por otra parte, *Kim y Sachis (1986)* contemplan la actividad portuaria de manera integral. La estimación del coeficiente de primer orden para el output es positiva, significativa, e indica que un uno por ciento de cambio en la producción se asocia con un incremento de sólo un 0.765 por ciento en los costes, señalando de este modo, que la producción de servicios portuarios en el puerto de Ashdod está sujeta a rendimientos crecientes a escala en el punto de aproximación. Los autores señalan que Ashdod es un puerto artificial situado entre dos

importantes rompeolas lo que dificulta su expansión física y, por tanto, apoya la existencia de los rendimientos crecientes a escala.

Por último, *Martínez Budría et al., (1998)*, es el único trabajo que analiza sólo la gestión de la mano de obra portuaria que depende de las Sociedades Estatales de Estiba y Desestiba. En su análisis concluye que el grado de economías de escala evaluado en la media es de 1.126, por lo que existen rendimientos crecientes a escala.

6. Conclusiones

Este artículo se centra en determinar cual ha sido la contribución de la literatura al conocimiento de las funciones de producción y de coste en la industria portuaria aportando un análisis detallado y crítico de los aspectos relevantes de las funciones de costes. Las estimaciones de conceptos clave en la estructura de coste de las empresas, tales como los costes marginales, las economías de escala y las economías de diversidad son fundamentales en la determinación de la estructura industrial óptima y por consiguiente son herramientas valiosas que contribuyen a facilitar la labor de los reguladores.

Lo primero que destaca al hacer la revisión, es la escasez de trabajos que sobre la estructura de producción y costes de la actividad portuaria se encuentran en la literatura. En particular en lo que respecta a funciones de costes multiproductivas en terminales portuarias.

Dentro del recinto portuario se prestan una gran diversidad de actividades desde el servicio de provisión de infraestructura, prestado generalmente por las autoridades portuarias, hasta el servicio de manipulación de mercancías provisto en la mayor parte de los puertos por empresas privadas, pasando por los servicios de atraque remolque, etc. Cada una de estas actividades presentan unas características particulares bien diferenciadas y una tecnología propia, lo que hace que se puedan considerar negocios diferentes. Desde esta perspectiva difícilmente se puede hablar de actividad portuaria en sentido amplio. En este contexto es patente la falta de precisión de algunos trabajos a la hora de definir cual es el servicio que están analizando.

Dentro de los servicios portuario destaca al servicio de manipulación de mercancías ya que

supone mas del 80% de la cuenta de escala de un buque que realiza operaciones de carga y descarga. Por este motivo el estudio de esta actividad portuaria es fundamental para la regulación y planificación portuaria. Es curioso observar que solo el trabajo de *Tovar (2002)* analiza este servicio desde la perspectiva de una función de costes. Además, que la metodología empleada contemple la naturaleza multiproductiva de la actividad permite la aportación conceptos de costes relevantes para la toma de decisiones de los reguladores en el ámbito portuario.

En síntesis se puede afirmar que existe un camino amplio para la investigación en este sector. Probablemente la carencia de trabajos que ayuden a profundizar en el comportamiento de los costes en este sector se deba, en gran parte, a la gran dificultad con que se encuentran los investigadores para obtener la información necesaria. Una de las labores de los reguladores debe de ser la de facilitar la obtención de información relevante de las fuentes adecuadas para la realización de este tipo de estudios. Una forma de hacerlo podría ser imponiendo a las empresas reguladas la obligación de suministrar dicha información.

Cuadro 2.1 Estimación de funciones de producción para el sector portuario

Autor	Actividad	Especificación Funcional	Datos	Variables (1)	Economías de Escala	Otras Mediciones
Chang (1978)	¿Infraestructura?	Cobb-Douglas	Serie temporal Observaciones anuales (21) (1953-1973)	$Q_1(L, K, e^{T/L})$	Constantes	Productividades medias Productividades marginales
Reker el al. (1990)	Terminal-muelle de Contenedores	Cobb-Douglas	Datos de panel Tres terminales Observaciones mensuales(70) (Mayo 84-febrero-90)	$Q_2(C; B; L)$	Decrecientes	Ninguna
Tongzon (1993)	Terminal-muelle de Contenedores	Cobb-Douglas	Datos de panel Tres Terminales Observaciones mensuales(70) (Mayo 84-febrero-90)	$Q_3 (X_1, X_2, X_3)$	Crecientes	Eficiencia por muelle

- (1): Q_1 = Producción = Beneficio neto (no incluye los pagos a los estibadores)
 Q_2 = Producción = Número de TEUS
 Q_3 = Producción = Número de TEUS por hora de muelle
 L = Número medio de empleados
 K = Valor de los activos netos del puerto (precios de 1967)
 $e^{T/L}$ = Proxy para el avance tecnológico, (T/L = Toneladas por unidad de trabajo)
 C = Tiempo neto de operación de grúa
 B = Horas de atraque
 L = Manos
 X_1 = Número de grúas por hora de muelle
 X_2 = Número de manos por hora de muelle
 X_3 = Número de TEUS transportados por carretera por hora de muelle

Cuadro 2.2 Estimación de funciones de costes para el sector portuario

Autor	Actividad	Especificación Funcional	Datos	Variables ⁽¹⁾	Economías de Escala	Otras Mediciones
FUNCIONES DE COSTES MONOPRODUCTIVAS						
Kin y Sachis (1986)	Infraestructura y servicios	Translogarítmica	Serie temporal Observaciones anuales (19) (1966-1983)	$CT_{LP}(Y, L, K, P_i, P_k)$	Crecientes en el punto de aproximación	Escala mínima eficiente Elasticidad de la demanda del factor con respecto a su precio Elasticidades cruzadas
Martínez Budría (1996)	Infraestructura	Cobb-Douglas	Datos de panel 27 puertos Observaciones anuales (5) (1985-1989)	$CT_{it}(Q_{it}, W_{it}, m_{it}, r_{it}, d_i, d, D_i, D_t)$	Crecientes en el punto de aproximación	Elasticidad coste de los factores Efectos individuales específicos de cada puerto Análisis de segunda etapa
FUNCIONES DE COSTES MULTIPRODUCTIVAS						
Jara Díaz et al. (1997)	Infraestructura	Cuadrática	Datos de panel 27 puertos Observaciones anuales (5) (1985-1989)	$CTlp_{it}(GL_{it}, GS_{it}, MGC_{it}, MGNC_{it}, CANON_{it}, w_{it}, r_{it}, m_{it})$	Crecientes en el punto de aproximación	Costes marginales del producto i Economías de diversidad
Martínez Budría et al. (1998)	Actividad de las SEED (2)	Translogarítmica	Datos de panel 24 SEED Observaciones anuales (7) (1990-1996)	$CT_{it}(GS_{it}, MG_{it}, Pl_{it}, Pi_{it}, T)$	Crecientes en el punto de aproximación	Costes marginales del producto i Elasticidades costes-producto Productividad total de los factores para una submuestra de 14 SEED
Jara Díaz et al. (2002)	Infraestructura	Cuadrática	Datos de panel 26 puertos Observaciones anuales (5) (1985-1995)	$CTlp_{it}(GL_{it}, GS_{it}, MGC_{it}, MGNC_{it}, CANON_{it}, w_{it}, r_{it}, m_{it})$	Crecientes en el punto de aproximación	Costes marginales del producto i Economías de diversidad
Tovar (2002)	Manipulación de mercancías	Cuadrática	Pool de datos Tres terminales Observaciones mensuales (1990-1999)	$CTlp_{it}(MGC_{it}, MG_{it}, ROD_{it}, Wnp_{it}, Wlc_{it}, Wle_{it}, m_{it}, r_{it}, D_t)$	Crecientes en el punto de aproximación	Costes marginales por empresa Costes marginales por producto Economías de diversidad

- (1): CT_{LP} = Coste total a largo plazo
 Y = Toneladas de mercancía
 L = Factor trabajo
 K = Factor capital.
 P_i = Precio factor trabajo
 P_k = Precio del factor capital
 CT_{it} = Coste total del puerto i en el año t
 Q_{it} = Miles de toneladas de mercancía del puerto i en el año t
 Wnp_{it} = Precio personal no portuario del puerto i en el año t,
 W_{it} = Precio del factor trabajo del puerto i en el año t
 m_{it} = Precio de los factores intermedios del puerto i en el año t
 r_{it} = Amortización del puerto i en el año t
 d_i = Efecto individual específico del puerto i
 d_t = Efecto individual específico del año t
 D_i = Dummy para el puerto i
 D_t = Dummy para la empresa t
 $CTlp_{it}$ = Coste total a largo plazo del puerto i en el año t
 GL_{it} = Miles de toneladas de graneles líquidos manipuladas por del puerto i en el año t
 GS_{it} = Miles de toneladas de graneles sólidos manipuladas por del puerto i en el año t
 MGC_{it} = Miles de toneladas de mercancía general contenerizada manipuladas por del puerto i en el año t
 $MGNC_{it}$ = Miles de toneladas de mercancía gral. no contener. manipuladas por del puerto i en el año t
 $CANON_{it}$ = Índice agregado de otras actividades que utilizan parte de la infraestructura
 w_{it} = Precio del factor trabajo
 Wlc_{it} = Precio portuario laboral común y Wle_{it} = Precio portuario laboral especial; ambos en puerto i año t
 r_{it} = Precio del factor capital
 m_{it} = Precio del factor intermedio
 MG_{it} = Miles de toneladas de mercancía general manipuladas por del puerto i en el año t
 Pl_{it} = Precio del factor trabajo
 Pi_{it} = Precio del factor intermedio
 T = Tiempo

Referencias

- Baños-Pino, J., Coto-Millán, P. y Rodríguez-Alvarez, A. (1999): "Allocative efficiency and over-capitalization: an application". *International Journal of Transport Economics*. Vol. 26, Nº2, págs. 181-199.
- Baumol, W., Panzar, J. y Willig, R. (1982): *Contestable markets and the theory of industry structure*. Harcourt, Bruce and Jovandich, Inc., New York.
- Burgess, D.F. (1974): "A cost minimization approach to import demand equations". *The Review of Economics and Statistics*. Vol. 56, Nº 2, Mayo, págs. 225-234.
- Caves, W., Christensen, L. R. y Tretheway, M. W. (1980): "Flexible cost functions for multiproduct firms". *The Review of Economics and Statistics*. Nº 62, págs 477-481.
- Chang, S. (1978): "Production function and capacity utilization of the port of Mobile". *Maritime Policy and Management*. Vol. 5, págs. 297-305.
- Christensen, R. y Jorgenson, D. W (1969): "The measurement of U.S. real capital input, 1929-1967". *The Review of Income and Wealth*. Vol. 5, págs. 293-320.
- Conforti, M. (1992): Productivity scrutinized. *7th Terminal Operations Conference*. Cristoforo Colombo Congress Center. Genoa, Italy, 16-18 de junio.
- De Monie, G. (1989): Medición y evaluación del rendimiento y de la productividad de los puertos. *Monografías de la UNCTAD sobre Gestión de Puertos*. Nº 6, Nueva York.
- De Neufville, R. y Tsunokawa, K. (1981): "Productivity and returns to scale of container ports". *Maritime Policy and Management*. Vol. 8, Nº2 págs. 121-129.
- Diewert, W. E. (1974): "Applications of duality theory". In M.D. and D.A. Kendrick. *Frontiers of Quantitative Economics*. Vol. II, Amsterdam: North-Holland. págs. 106-171.
- Dodgson, J.S. (1985): "A survey of recent developments in the measurement of rail total factor productivity". In Button, K.J. and Pitfield, D. (Eds.), *International Railway Economics*. Gower, Aldershot. págs. 13-48.
- Dowd, T.J. y Leschine, T. M. (1990): "Container terminal productivity: a perspective". *Maritime Policy and Management*. Vol. 17, Nº 2, págs. 107-112.
- Fernández, J.E., De Cea, J. y Fernández, J.M. (1999): "Port privatization in developing countries: the case of container terminals". *International Journal of Transport Economics*. Vol. 26, Nº2, págs. 292-313.
- González, M. y Trujillo, L. (2002): *Análisis de la eficiencia portuaria*. Una revisión de la literatura. Mimeo.
- Hooper, P.G. (1985): *An essay on the measurement of productivity in ports*. Unpublished Master Thesis, University of Tasmania, Hobart.

- Jansson, J.O. y Sheneerson, D. (1982): *Port Economics*. MIT Press, Massachusettes.
- Jansson, J.O. (1984): *Transport system optimisation and pricing*. New York: John Wiley and Sons.
- Jara Díaz, S. (1982): “The estimation of transport cost functions: a methodological review”. *Transport Reviews*. Vol. 2, Nº3, págs.257-278.
- Jara Díaz, S. (1983): “Freight transporation multioutput analysis” *Transportation Research*. Vol. 17A, Nº6, págs.429-438.
- Jara Díaz, S., Cortes, C, Vargas, A. y Martínez-Budría, E. (1997): Marginal costs and scale economies in spanish ports. *25th European Transport Forum*, Proceedings Seminar L, PTRC, London, 137-147
- Jara Díaz, S., Martinez-Budría, E., Cortes, C. y Basso, L. (2002): “A multioutput cost function for the services of spanish ports’ infrastructure”. *Transportation*. Vol 29, nº 4, págs. 419-437.
- Kim, M. y Sachish, A. (1986): “The structure of production, technical change and productivity in a port”. *International Journal of Industrial Economics*. Vol. 35, Nº2, págs. 209-223.
- Lau, L.J. (1974): “Applications of duality theory: *Comments*”. In M.D. and D.A. Kendnick. *Frontiers of Quantitative Economics*. Vol. II, Amsterdam: North-Holland. págs. 176-199.
- Liu, Z. (1995): “The comparative performance of public and private enterprises”. *Journal of Transport Economics and Policy*. Septiembre, págs. 263-274.
- Martínez-Budría, E. (1996): “Un estudio econométrico de los costes del sistema portuario español”. *Revista Asturiana de Economía*. Vol. 6, págs. 135-149.
- Martínez-Budría, E., González-Marrero, R. y Díaz, J. (1998): *Análisis económico de las Sociedades Estatales de Estiba y Desestiba en España*. Documento de trabajo 97/98-1. Universidad de La Laguna. Tenerife.
- Martínez-Budría, E., Díaz-Armas, R, Navarro-Ibañez, M y Ravelo-Mesa, T. (1999): “A study of the efficiency of spanish port authorities using data envelopment analysis”. *International Journal of Transport Economics*. Vol. 26, Nº2, págs. 237-253.
- Mayo, J.W. (1984): “Multiproduct monopoly, regulation, and firm costs” *Southern Economic Journal*. Vol. 51, págs. 208-218.
- McFadden, D. (1978): *Production economics: a dual approach to theory dual applications*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Panzar, J. y Willig, R. (1977): “Economies of scale in multi-output production”. *Quarterly Journal of Economics*. Vol. 91, págs. 481-494.

Parlamento Europeo (1993): *Política de puertos marítimos de la Comunidad*. Documento de trabajo. Dirección General de Estudios.

Rekers, R.A., Connell, D. y Ross, D.I. (1990): "The development of a production function for a container terminal in the port of Melbourne". *Papers of the Australasian Transport Research Forum*. Vol. 15, págs. 209-218.

Roll, Y. y Hayuth, Y. (1993): "Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA)". *Maritime Policy and Management*. Vol. 20, Nº 2, págs. 153-161.

Röller, L.H. (1990): "Proper quadratic cost functions with an application to the bell system". *The Review of Economics and Statistics*. Nº 72, págs. 202-210.

Shneerson, D. (1981): "Investment in port systems. A case study of the Nigerian ports". *Journal of Transport Economics and Policy*. Vol. 15, Nº3, págs. 201-216.

Shneerson, D. (1983): "Short term planning for a ports system". *Maritime Policy and Management*. Vol. 10, Nº4, págs. 217-250.

Talley, W.K. (1994): "Performance indicators and port performance evaluation". *Logistics and Transportation Review*. Vol. 30, Nº 4, págs. 339-352.

Tongzon, J.L. (1993): "The Port of Melbourne Authority's pricing policy: its efficiency and distribution implications". *Maritime Policy and Management*. Vol. 20, Nº3, págs. 197-203.

Tovar (2002). "Análisis multiproductivo de los costes de manipulación de mercancías en terminales portuarias. El Puerto de La Luz y de Las Palmas" *Tesis doctoral*. Departamento de Análisis Económico Aplicado. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España.

Varian, H.R. (1978): *Microeconomic Analysis*. W.W. Norton & Company. New York.

Wanhill, S.R.C. (1974): "A study in port planning: The example of Mina Zayed". *Maritime Study and Management*. Vol. 2, págs. 48-55.