2. Funciones de producción y costes y su aplicación al sector portuario.

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 permite es orientar la toma de decisiones adecuadas en cuanto a la planificación e inversión futura. En esta línea están los primeros trabajos que analizan la estructura de costes y de producción de los puertos.

La estimación empírica de funciones de costes portuarios 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 son almacenables 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 Secretaría 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 estricto[1], (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

[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.).

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 costes. Precisamente es en este enfoque donde va a centrarse el interés de este estudio.

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 se obtiene minimizando la suma del coste portuario en sentido estricto[2] 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

---

[2] Véase nota a pié número uno.

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 ésta 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 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 eficiencia.

La estimación de indicadores clave en la estructura de coste de las empresas, tales como las economías de escala y las economías de diversidad, son fundamentales en la determinación de la estructura industrial óptima. Este capítulo se centra en los aspectos de las funciones de costes, que juegan un papel importante no sólo en el análisis de la industria, sino también en el de costes marginales, complementariedad de costes entre productos y producción conjunta. El resto del capítulo se organiza como sigue. En la próxima sección se describen los principales aspectos de la teoría de la producción y los costes, haciendo especial hincapié en los instrumentos que ésta proporciona para determinar los elementos mencionados. Los aspectos teóricos relacionados con la estimación econométrica de funciones de producción y costes se analizan en la sección 2.2. A continuación, en la sección 2.3 se enuncian las relaciones de estática comparativa que se derivan del problema de minimización de costes. La sección 2.4 se destina a la revisión de la literatura económica interesada en la estimación econométrica de funciones de costes o de producción en la industria portuaria. Por último, en la sección 2.5 se presenta una síntesis y las conclusiones del capítulo.

2.1. 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 monoproductivos. De este modo, se contaba con un cuerpo teórico bien desarrollado y que permitía la contrastación empírica de los conceptos monoproductivos 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 monoproductiva 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)*.

2.1.1. Funciones de producción y funciones de costes.

La función de producción es el concepto central en la teoría económica de la producción. La producción de bienes y/o servicios puede definirse como un proceso que permite transformar ciertos factores productivos (trabajo, capital, tierra y productos intermedios) en determinados productos. La función de producción es un intento de especificar matemáticamente el rango de posibilidades técnicas abiertas a los productores.

Sea $X = (x_{1, \ldots,} x_n)$ un vector de factores productivos no negativos, e $Y = (y_1 \ldots,$ $y_m)$ un vector de productos no negativos. Llamamos T al conjunto de todos las combinaciones (X,Y) que son técnicamente viables dado el estado actual de la tecnología. Los procesos eficientes vendrán descritos por la función general de transformación:

$$F\,(X,Y) = 0 \qquad (2.1)$$

Si se supone un proceso dónde se produce un único producto homogéneo, Y, puede ser tratado como un escalar. Esto sería un caso particular, la monoproducción. Por tanto, se supone que existe una solución a (2.1) que se puede representar como:

$$Y = f\,(X) \qquad (2.2)$$

La unidad económica básica es la empresa que trata de maximizar sus beneficios sujeta a las restricciones impuestas por las condiciones de mercado y la tecnología disponible.

Cuando la empresa se enfrenta a mercados competitivos, los precios se determinan exógenamente y la función de transformación debe reflejar sólo relaciones físico-técnicas entre los factores productivos y los productos, como por ejemplo, la participación de los factores y productos en los costes e ingresos totales, las posibilidades de sustitución y los efectos de escala en la eficiencia del proceso.

Se puede disponer de definiciones apropiadas de estos efectos en términos del valor de la función y de sus primeras y segundas derivadas parciales. Para poder estudiar estas relaciones es necesario especificar una forma funcional que no imponga restricciones a priori en el comportamiento de la tecnología y, por tanto, permita contrastar las hipótesis relevantes del modelo. Este aspecto será tratado en mayor profundidad en la sección 2.2.

El grado de economías de escala es una propiedad técnica del proceso productivo que puede ser estudiada directamente a través de la función de transformación. Así, las economías de escala S representan la máxima tasa de crecimiento que puede alcanzar el vector de productos Y cuando se incrementa el vector de factores productivos en una proporción determinada λ. Formalmente, el grado de economías de escala S se define como:

$$F(X;Y)=0 \Rightarrow F(\lambda X, \lambda^{s} Y)=0 \qquad \lambda \rangle 1 \tag{2.3}$$

De este modo, si S es mayor, menor o igual a uno indica la existencia de rendimientos crecientes, decrecientes o constantes a escala, respectivamente.

Un importante desarrollo teórico ha sido el establecimiento de las relaciones formales de dualidad entre las funciones de costes y las funciones de transformación (en el caso multiproductivo) o de producción (en el caso particular de la monoproducción) de modo que, bajo ciertas condiciones de regularidad[3], las características tecnológicas de producción se pueden estudiar a través de la función de costes.

Así, si la ecuación (2.1) representa la transformación eficiente de un vector de factores productivos X en un vector de productos Y, donde F es una función implícita, la teoría de la dualidad afirma que, si F es estrictamente convexa con respecto a X, existe una única función de costes que es dual a F, y que, cuando el nivel de producción y los precios de los factores productivos son exógenos, puede escribirse de forma implícita como:

---

[3] La función de transformación ha de cumplir las siguientes condiciones de regularidad: en primer lugar, la producción de cualquier cantidad positiva de producto requiere al menos de algún factor productivo en su producción; en segundo lugar, el incremento de cualquier factor productivo no

$$C = g\,(W, Y) \tag{2.4}$$

Donde C es el coste total, Y el vector de productos y W es el vector de los precios de los factores productivos.[4] De este modo, si la empresa se comporta de modo competitivo y afronta precios no negativos de los factores de producción la función de costes de la empresa representa el mínimo coste en que es necesario incurrir para obtener un vector de productos determinado, es decir, es la solución al siguiente problema de minimización:

$$C(W,Y) = \min\{W \bullet X \,/\, F(X,Y) \geq 0\} \tag{2.5}$$

cuya solución es el vector de demandas condicionales de factores X*(W,Y). Por lo tanto, la función de costes es:

$$C(W,Y) = W \bullet X^*(W,Y) \tag{2.6}$$

y, en condiciones de regularidad, la solución se alcanza en el óptimo tecnológico (F(X,Y) = 0).

Como ya se ha señalado, las economías de escala son 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

---

puede, en ningún caso, disminuir la cantidad producida.

economías de escala directamente a través de la función de costes (*Panzar y Willig, 1977*) como:

$$S = \frac{C(W,Y)}{Y\ \nabla_y C(W,Y)} \tag{2.7}$$

La presencia de rendimientos crecientes a escala (S>1) significa que si se incrementan los factores productivos en una determinada proporción λ se obtiene un incremento de la producción mayor que λ, señalando de forma inequívoca que convendría expandir la producción.

Por otra parte, en el análisis de los costes es útil distinguir entre el corto y el largo plazo. La diferencia entre ambos deriva de la posibilidad o no de ajustar todos los factores productivos. Cuando es posible se dice que la empresa está en el largo plazo, en caso contrario está en el corto plazo. En este último caso el problema de minimización vendrá dado por:

$$C(W,Y,\bar{x}) = \min\{W \bullet X \,/\, \left[F\ \left[(X,\bar{x}),Y\right]\right] \geq 0, \quad x_i = \bar{x}_i\} \tag{2.8}$$

donde $\bar{x}$ es el vector de factores productivos que no pueden ser ajustados. La solución al problema de minimización planteado en (2.8) es el vector de las

[4] La estimación empírica de la ecuación (2.4) exige la especificación de una forma funcional para g.

demandas condicionales de factores, que en este caso es $X^*(w^v, Y, \overline{x})$. De este modo se distinguen en la función de costes a corto plazo dos componentes, el coste fijo que se corresponde con el generado por los factores que no pueden ajustarse, y el coste variable que es el que originan el resto de los factores productivos, es decir

$$C(W, Y, \overline{x}) = CV(w^v, Y, \overline{x}) + CF = w^v \bullet X^*(w^v, Y, \overline{x}) + w^f \bullet \overline{x} \qquad (2.9)$$

donde w^v es el vector de precios de los factores productivos variables y w^f es el vector de precios de los factores productivos fijos o no ajustables, es decir, del vector $\overline{x}$. La función de costes de corto plazo con los factores evaluados en el óptimo, es igual que la función de costes a largo plazo.

2.1.2. Conceptos de coste en multiproducción[5].

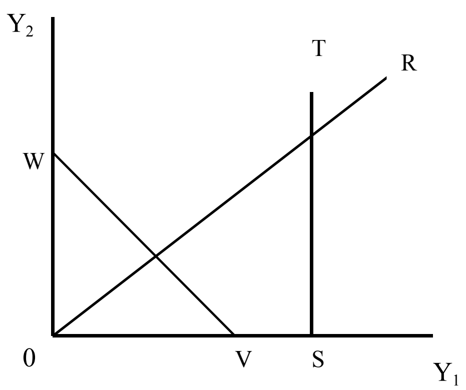
A diferencia de las empresas monoproductivas cuya estructura de coste-producción puede ser descrita con relativamente pocos conceptos interrelacionados, el análisis de los costes de las empresas multiproductivas requiere la descripción de varios conceptos nuevos. Esto condujo al desarrollo de una teoría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

[5] Este epígrafe se basa en el trabajo seminal de *Baumol et al.,(1982)*.

compuesto Y^o de modo que las proporciones de los diferentes componentes que lo integran se mantienen invariantes, no habría modo, en principio, de distinguir claramente entre un bien simple y un bien compuesto.

El análisis de los conceptos de costes que caracterizan a los procesos que implican la producción de varios productos debe contemplar tanto aquellos casos en que los cambios son proporcionales, como también aquellos otros en que no lo son. Una forma útil de analizar estos conceptos de coste es considerarlos como instrumentos para la exploración de la forma de las superficies de coste. De hecho, todos los conceptos de coste relevantes pueden caracterizarse utilizando uno de los instrumentos gráficos que se ilustran en la *figura 2.1.*

Figura 2.1. Análisis radial, incremental y transradial



Fuente: Baumol et al. (1982)

Esto es, el análisis de un corte transversal de la superficie de coste a través de un rayo (tal como OR) en el espacio de productos (análisis radial); el análisis de un corte transversal de la superficie de coste a lo largo de una porción del espacio de productos que, o bien son paralelas a un eje (tal como ST) o a otro (análisis incremental), o bien cortan diagonalmente (tal como WV) de un eje a otro (análisis transradial).

Análisis radial.

El coste medio no tiene sentido en multiproducción porque el producto no es un escalar, sino un vector. Sin embargo, sí se pueden medir las variaciones en la producción de un bien compuesto Y^0, donde las proporciones de cada elemento se mantienen siempre constantes. Se trata de determinar una cesta base de productos que sirva de unidad básica, de modo que cualquier incremento de la producción replica esa cesta básica a la que se le asigna el valor unitario y, que va a constituir el punto de referencia para medir el tamaño del resto de vectores que contienen las mismas proporciones fijas.

Utilizando la idea de bien compuesto que se acaba de exponer, se puede definir un concepto multiproductivo análogo al de los costes medios en monoproducción. Se trata del coste radial medio (o coste medio del bien compuesto) que describe el comportamiento de la función de costes cuando el vector de productos se expande proporcionalmente, en un determinado factor λ, a lo largo un rayo que parte del origen de coordenadas, y viene dado por la expresión:

$$CMR = \frac{C(\lambda Y^0)}{\lambda} \tag{2.10}$$

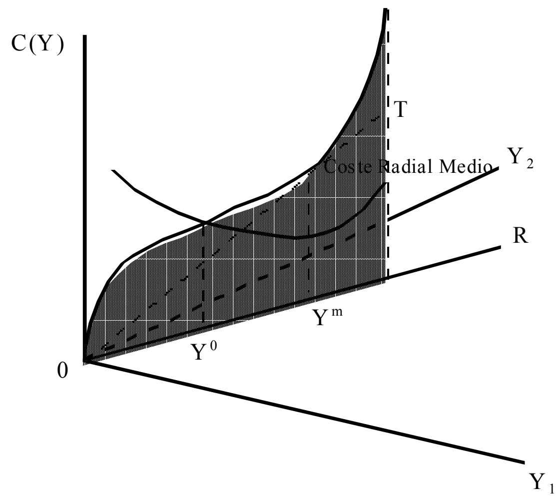
donde, $\lambda > 0$, Y^0 es un vector de productos dado, fijado arbitrariamente igual a la unidad y λ es el número de veces que aparece Y^0 en la producción Y, es decir, $Y = \lambda Y^0$.

En la *figura 2.2* se representa el coste radial medio y el coste total en un corte transversal del hiperplano levantado sobre el rayo que define el bien compuesto Y^0.

Se observa que el coste total y el coste radial medio tienen las relaciones usuales: se cortan en el nivel de producción Y^0 y el coste radial medio alcanza su mínimo en el nivel de producción $Y=Y^m$, en donde el rayo OT es tangente a la superficie de coste total en el hiperplano levantado sobre OR.

Por otra parte, recordando la expresión de las economías de escala (2.7) es fácil ver que el grado de economías de escala en multiproducción es idéntico a la medida del grado de economías de escala en monoproducción aplicadas al bien compuesto Y^0. En definitiva, el comportamiento de los costes a lo largo de un rayo es analíticamente equivalente al comportamiento de los costes en el caso monoproductivo.

Figura 2.2. Análisis radial



Fuente: Baumol et al. (1982)

Análisis incremental.

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:

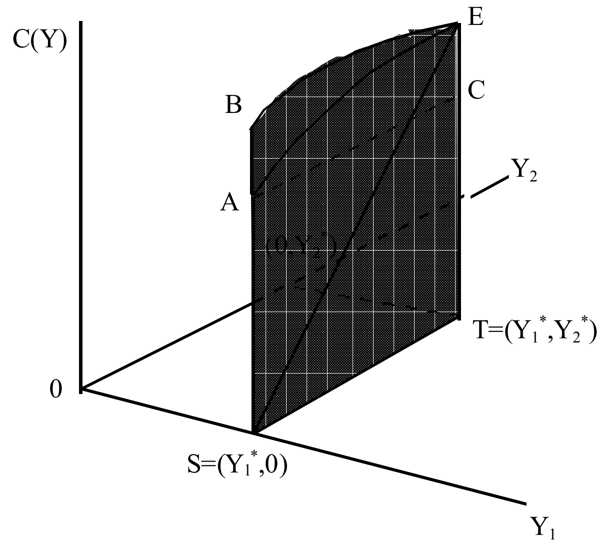
$$CI_i = C(y_1, y_2, ..., y_n) - C(y_1, y_2, ..., y_{i-1}, 0, y_{i+1}, ...y_n) \qquad (2.11)$$

A diferencia del coste medio, el coste incremental medio sí está bien definido en multiproducción y es igual a:

$$CIMe_i = \frac{CI_i(Y)}{y_i} \tag{2.12}$$

El coste incremental medio se representa en la *figura 2.3*.

Figura 2.3. Análisis Incremental



Fuente: Baumol et al. (1982)

Geométricamente, este coste se encuentra haciendo un corte transversal en la superficie de coste. Dado el vector $T=(Y_1^*,Y_2^*)$, S es el vector de productos correspondiente en el eje Y_1, donde Y_1 se ha mantenido idéntico al existente en el punto T, pero Y_2 se ha reducido a cero. Si el producto Y_2 no tiene costes fijos específicos entonces la superficie de coste total se eleva de forma continua por encima de ST. Sin embargo, si se incurre en algún coste fijo específico para empezar la producción del producto Y_2 como un producto nuevo adicional a la línea de producción de la empresa, entonces el corte transversal de la superficie de coste contendrá un segmento vertical de coste fijo AB resultando en un salto discontinuo de la función de costes sobre el eje Y_1.

Así, la altura CE mide el coste incremental total que resulta de añadir el producto Y_2 a la línea de producción, elevando su producción desde cero a Y_2. El coste incremental medio $CIMe_2$ (Y_1^*,Y_2^*) viene dado por la pendiente a la línea de A a E. Además, tal y como está dibujada la figura, el coste incremental medio del producto 2 está decreciendo con Y_2, al menos entre cero e Y_2^*. Esto sugiere por analogía con el caso escalar, el novedoso y útil concepto de economías de escala específicas a un producto, o subconjunto de productos.

Las definiciones del coste incremental y coste incremental medio ayudan a identificar los rendimientos a escala que son específicos a un producto particular y_i :

$$S_i(Y) = \frac{CI_i(Y)}{y_i \dfrac{\partial\, C(Y)}{\partial y_i}} = \frac{CIMe_i(Y)}{\dfrac{\partial\, C(Y)}{\partial\, y_i}} = \frac{CIMe_i(Y)}{C_i(Y)} \qquad (2.13)$$

donde C_i (Y) es el coste marginal del producto i.

Por tanto, 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.

Las definiciones del coste incremental y coste incremental medio pueden extenderse a un subconjunto de productos R y son útiles porque nos permiten identificar los rendimientos a escala que son específicos a un subconjunto de productos particular[6]. De este modo, definimos el grado de economías de escala específicas al subconjunto R como:

$$S_R(Y) = \frac{CI_R(Y)}{\sum_{j \in R} y_j \frac{\partial\ C(Y)}{\partial\ y_i}} = \frac{CI_R(Y)}{\sum_{j \in R} y_i C_i(Y)} \qquad (2.14)$$

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 $S_R > 1$ es conveniente que este subconjunto de productos sea producido por una única empresa y, además, la tarificación al coste marginal no cubriría los costes incrementales. Puede observarse que la ecuación (2.14) es un caso particular de la ecuación (2.7).

Una relación básica se pone de relieve si dividimos el conjunto de productos N en dos conjuntos disjuntos T y N-T, ya que se puede relacionar el grado de economías de escala global con el grado de economías de escala específicas a los subconjuntos definidos de modo que:

$$S_N(Y) = \frac{\alpha_T S_T(Y) + (1-\alpha_T) S_{N-T}(Y)}{\dfrac{CI_T(Y) + CI_{N-T}(Y)}{C(Y)}} \qquad (2.15)$$

donde:

$$\alpha_T = \frac{\sum_{j \in T} y_j \dfrac{\partial\ C(Y)}{\partial\ y_j}}{\sum_{j \in N} y_j \dfrac{\partial\ C(Y)}{\partial\ y_j}} \qquad (2.16)$$

Si no hubiese interdependencias productivas entre los productos de T y N-T[7] el grado de economías de escala multiproducto, S_N, sería una media ponderada del grado de economías de escala de cualquier subconjunto T y su complementario N-T.

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

[6] El coste incremental medio se convierte así en el coste radial medio.

economías de diversidad.

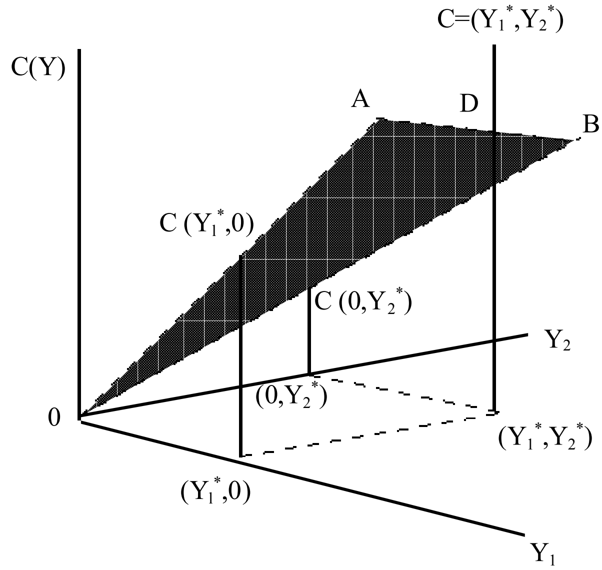
El concepto de economías de diversidad es útil para analizar la conveniencia o no de que la empresa se especialice o se diversifique. Así, las economías de diversidad miden el incremento relativo en los costes que resultaría de una división de la producción de Y en dos líneas de productos T y N-T. Formalmente, si realizamos 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:

$$ED_T(Y) = \frac{1}{C(Y)}\left[C(Y_T) + C(Y_{N-T}) - C(Y)\right] \qquad (2.17)$$

de modo que tal fragmentación de la producción incrementa, disminuye o no altera el coste total cuando ED_R (Y) es mayor, menor o igual a cero, respectivamente. Es decir, si ED_R (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.

[7] El denominador de la expresión (2.15) sería la unidad.

Figura 2.4. Economías de diversidad



Fuente: Baumol et al. (1982)

Geométricamente (véase *figura 2.4*), el concepto implica una comparación de $C(Y_1^*,0) + C(0,Y_2^*)$, la suma de las alturas en la superficie de coste sobre los correspondientes puntos en los ejes, con $C(Y_1^*,Y_2^*)$, la altura de la superficie de coste en el punto (Y_1^*,Y_2^*) que es el vector suma de $(Y_1^*,0)$ y $(0,Y_2^*)$. Si $C(Y_1^*,Y_2^*)$ está por debajo del hiperplano OAB se satisface la condición de economías de diversidad.

La relación entre las economías de escala y las economías de diversidad queda reflejada en la siguiente expresión, resultado de la combinación de las ecuaciones (2.15) y (2.17).

$$S_N(Y) = \frac{\alpha_T S_T(Y) + (1-\alpha_T) S_{N-T}(Y)}{1 - ED_T(Y)} \tag{2.18}$$

La expresión anterior pone de relieve como las economías de diversidad amplifican los efectos de las economías de escala producto-específicas en la determinación de las economías de escala globales. De hecho, en ausencia de economías de diversidad ($ED_T(Y)=0$) el grado de economías de escala multiproducto, $S_N(y)$, es la media ponderada del grado de economías de escala del subconjunto T y su complementario N-T. Sin embargo, si existen economías de diversidad ($ED_T(Y)>0$) el denominador de la expresión (2.18) es menor que uno, y por tanto, las economías de escala globales $S_N(Y)$ son mayores que la suma ponderada de las economías de escala producto-específicas.

Consecuentemente, economías de diversidad y costes incrementales medios decrecientes tanto en T como en N-T implican rendimientos crecientes a escala globales. Incluso si las economías de escala producto-específicas son constantes tanto en T como en N-T, si hay economías de diversidad, habrá economías de escala globales crecientes.

Por último, economías de diversidad suficientemente fuertes pueden generar economías de escala globales, incluso si hay deseconomías de escala de los productos individuales.

Una condición suficiente para que existan economías de diversidad es la presencia de débiles complementariedades de costes en la producción. Formalmente, se dice que una función de costes multiproductiva dos veces diferenciables, exhibe débil complementariedad de costes sobre el conjunto de productos N hasta Y si se cumple que:

$$C_{ij}(Y') = \frac{\partial^2 C(Y')}{\partial\, y_i y_j} \leq 0, \quad i \neq j, \quad \forall \;\; 0 \leq Y' \leq Y \qquad (2.19)$$

con la desigualdad manteniéndose estrictamente sobre un conjunto de medidas no nulas.

En esencia, la presencia de complementariedad de costes débil implica que el coste marginal de producir cualquier producto decrece (débilmente) con incrementos en las cantidades de los otros productos.

Análisis transradial.

Otro indicador de la complementariedad en la producción es la convexidad transradial, que consiste en analizar la función de costes C(Y) en un hiperplano definido por

$$\sum \mu_i y_i = \mu, \qquad \mu_i > 0, \qquad \mu > 0 \qquad (2.20)$$

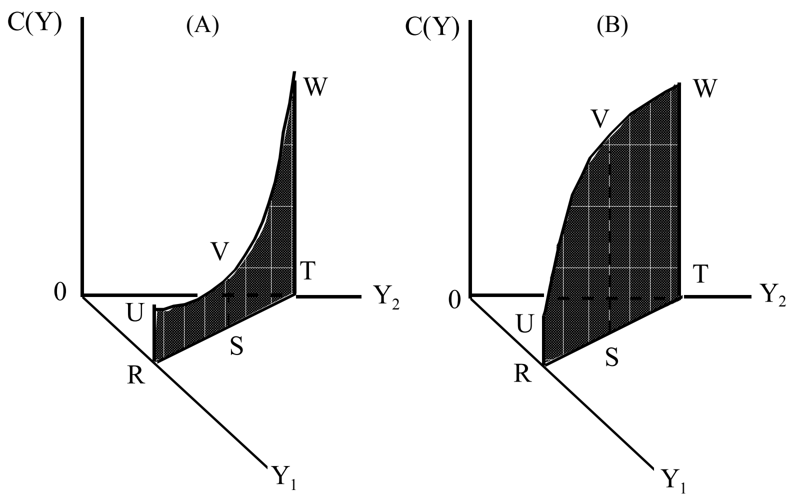
Se dice que una función de costes es transradialmente convexa en Y si

$$C\left[kY^{a}+(1-k)Y^{b}\right]<k\;C(Y^{a})+(1-k)\;C(Y^{b}) \qquad 0<k<1 \qquad (2.21)$$

siendo Y^a e Y^b dos vectores de productos que descansan en el hiperplano que pasa a través de Y.

Geométricamente, la convexidad transradial consiste en analizar la concavidad o convexidad del hiperplano que se origina al realizar un corte transversal en la superficie de coste que conecta puntos en los ejes de productos. Las *figuras 2.5A* y *2.5B* muestran las dos formas posibles de ese corte transversal.

Figura 2.5. Convexidad y Concavidad Transradial



Fuente: Baumol et al. (1982)

El análisis transradial es importante porque compara los costes de operación de dos empresas especializadas correspondientes a los puntos R y T en los ejes, con los costes de empresas produciendo una media ponderada de la producción de los ejes. Una comparación de las *figuras 2.5A* y *2.5B* pone de manifiesto que la convexidad transradial se satisface en la *figura 2.5A* y se viola en la *figura 2.5B*. Como sugiere la *figura 2.5A,* la convexidad transradial favorece la producción conjunta y, por tanto, los ahorros en coste logrados por las economías de diversidad pesan más que los efectos de cualquier rendimiento creciente a escala en la producción individual de los bienes. Lo que esto sugiere es que una empresa multiproducto disfruta de una ventaja en costes sobre las empresas especializadas. Por el contrario, en la *figura 2.5B* la multiproducción está en relativa desventaja de costes con respecto a la producción especializada.[8]

2.1.3. Monopolio natural: la subaditividad de costes.

Uno de los principales argumentos para defender la presencia de regulación en una industria es la existencia de un monopolio natural. Se dice que en la producción de un determinado bien o servicio se dan condiciones de monopolio natural cuando es menos costoso obtener la producción con una única empresa que con dos o más.

---

[8] Lo cual reduce la probabilidad, aunque no la excluye, de que la industria sea un monopolio natural ya que, como se verá en el próximo epígrafe, la convexidad transradial no es una condición

La condición que se ha de cumplir para que exista monopolio natural se define del mismo modo para el caso escalar (monoproducción) que para el caso multiproductivo[9]. Se trata de la estricta subaditividad de la función de costes. Siguiendo a *Baumol et al., (1982),* una función de costes C(Y)[10] es estrictamente subaditiva en Y si para cualquier vector de productos $Y^1, Y^2, ..., Y^k$, $Y^j \neq Y$, j = 1,2,.....,k, tal que:

$$\sum_{j=1}^{k} Y^j = Y \tag{2.22}$$

Se cumple que:

$$C(Y) \quad < \quad \sum_{j=1}^{k} C(Y^i) \tag{2.23}$$

donde Y^i es la producción de la empresa i-ésima y k es el número de empresas.

La contrastación empírica de la subaditividad de la función de costes y, por lo tanto, la determinación de la existencia de un monopolio natural, es bastante más sencilla en el caso particular de la monoproducción que en el caso multiproductivo.

---

necesaria para el monopolio natural.

[9] La única diferencia es la interpretación del producto como un escalar en el primer caso y como un vector en el segundo.

[10] Por simplicidad se está ignorando la dependencia funcional de los costes con respecto al vector

La presencia de rendimientos crecientes a escala (S>1) significa que si incrementamos los factores productivos en una determinada proporción λ, obtendremos un incremento de la producción mayor que λ, señalando de forma inequívoca que convendría expandir la producción. En el caso monoproductivo este resultado implica la presencia de costes medios decrecientes y, por lo tanto, la existencia de un monopolio natural. Sin embargo, este resultado no se mantiene en multiproducción, porque la existencia de economías de escala sólo hace referencia a las variaciones proporcionales del vector de productos, pero no informa acerca de la idoneidad o no de producir conjuntamente ese vector de productos por parte de una única empresa[11].

Además, la conveniencia de incrementar la producción sólo puede interpretarse de un modo cuando se está ante una empresa que produce un único producto, pero esto no es así cuando se trata de empresas multiproductivas, ya que producir más puede significar incrementar la producción del vector de bienes o servicios que ya está produciendo la empresa (proporcionalmente o no) o, incrementar el número de bienes o servicios producidos por la misma, de modo que la empresa diversifique su oferta.

Por esta razón, las conclusiones que pueden obtenerse del análisis radial son de

---

de precios de los factores.

[11] Como señala *Jara Díaz (1983)* uno de los aspectos claves del análisis en multiproducción es que las economías de escala globales son condición suficiente pero no necesaria para la presencia de costes radiales medios decrecientes, dado que las economías de escala requieren que los factores productivos cambien proporcionalmente y eso no tiene porque minimizar necesariamente el coste de una expansión.

interés limitado ya que la subaditividad radial es equivalente al monopolio natural en multiproducción sólo si todas las empresas están restringidas de alguna manera a producir sus productos en exactamente las mismas proporciones. Donde tales restricciones no se aplican, como es el caso general, incluso si una empresa es el productor de menor coste del vector en proporciones fijas, todavía podría ocurrir que, por ejemplo, varias empresas especializadas puedan producir el vector de la industria aún más barato. Por ello, es necesario recurrir a los conceptos multiproducto que van más allá de las propiedades rayo-específicas de la función de costes.

Lo que esto sugiere es que la determinación empírica de la subaditividad de la función de costes en el caso multiproductivo es una tarea difícil pues se requiere información que permita analizar la superficie de coste, no sólo en las proximidades del volumen de producción observado, Y, sino también en todos los caminos hacia los ejes y el origen, es decir, para cada posible vector más pequeño que Y (*Baumol et al., 1982*). Por esta razón, cobra relevancia el análisis del conjunto de condiciones necesarias y suficientes para la existencia de subaditividad. De este modo, el rechazo de una condición necesaria permite inferir que la subaditividad no se mantiene, mientras que la aceptación empírica de las condiciones suficientes es una evidencia de la existencia de subaditividad.

En *Baumol et al., (1982)* se analizan con detalle las condiciones necesarias y/o suficientes que permiten inferir subaditividad. Se concluye que las economías de escala y diversidad juntas[12] no son suficientes para la subaditividad, pues ambas representan medidas débiles de los ahorros debidos al tamaño y a la combinación de productos, respectivamente. La mayoría de las condiciones suficientes propuestas por estos autores consisten en reforzar una de estas dos medidas, así por ejemplo:

- Costes incrementales medios decrecientes para cada producto hasta Y, y economías de diversidad en Y implican subaditividad en Y.
- Convexidad transradial (no estricta) a lo largo de un hiperplano H a través de Y, y costes radiales medios decrecientes hasta el hiperplano H, implican subaditividad en Y.

2.2. Estimaciones econométricas de funciones de producción y costes.

Las funciones de producción o de costes se pueden estimar a partir de una muestra de datos. Esta muestra de datos puede consistir en información de varios individuos en un periodo de tiempo determinado (datos de sección cruzada), o puede referirse a datos del mismo individuo durante varios periodos de tiempo (serie temporal) o puede incluir datos para varios individuos durante varios periodos de tiempo (datos de panel). En este último caso, cuando la técnica de estimación consiste en considerar los datos como un pool pueden aparecer

[12] De estas dos medidas, la única que es necesaria, aunque no suficiente para la subaditividad son las economías de diversidad.

problemas de heteroscedasticidad 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 Hessiano (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

$$Y = AL^{\alpha} K^{\beta} T^{\gamma} \tag{2.24}$$

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

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 paramétricamente por referencia a los exponentes de la función. Esta función pertenece a la clase de funciones homogéneas[13] y por tanto restringe la forma en la cual pueden ocurrir tanto los efectos de escala[14] como las elasticidades de sustitución[15]. 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.

---

[13] 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.

[14] 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.

[15] El ratio marginal de sustitución técnica es igual a la unidad, para todos los niveles de producción

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 Shephard[16]. 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

---

y para cualquier combinación de factores productivos.

la función de costes con respecto al precio de los factores han de ser simétricas[17]. Esta propiedad permite reducir el número de parámetros a estimar, lo que es importante para 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 homogénea[18], cóncava y no decreciente 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

---

16 $$\frac{\delta\, C(W,Y)}{\delta\, w_i} = x_i \qquad \text{(Lemma de Shephard)}$$

17 $$\frac{\delta^2 C(W,Y)}{\delta\, w_i w_j} = \frac{\delta^2 C(W,Y)}{\delta\, w_j w_i},\ \acute{o}\ \ \frac{\delta\, x_i(W,Y)}{\delta\, w_j} = \frac{\delta\, x_j(W,Y)}{\delta\, w_i},\quad \forall\, i \neq j, \qquad \text{(Simetría)}$$

18 La homogeneidad lineal en los precios de los factores es una precondición para la existencia de

productos de la industria. Esta condición es violada por ejemplo por la función Cobb-Douglas y por la función translogarítmica[19]. En segundo lugar, la función no debe prejuzgar por si 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 así[20]. 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

---

una relación de dualidad entre las funciones de transformación y de coste (C*aves et al., 1980)*.

[19] 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.

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)*.

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:

$$\begin{aligned} C &= \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i y_i + \sum_i^n \beta_i w_i + \frac{1}{2}\sum_i^m \sum_j^m \delta_{ij} y_i y_j + \\ &+ \frac{1}{2}\sum_i^n \sum_j^n \gamma_{ij} w_i w_j + \sum_i^m \sum_j^n \rho_{ij} y_i w_j \end{aligned} \tag{2.25}$$

[20] De hecho, si existiera complementariedad de costes, la estimación de una función Cobb-Douglas produciría estimadores del coste marginal sesgados.

donde C es el coste total, *y* es el vector de productos, w es el vector de precios de los 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:

$$\ln C = \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i \ln y_i + \sum_i^n \beta_i \ln w_i + \frac{1}{2}\sum_i^m \sum_j^m \delta_{ij} \ln y_i \ln y_j + \\ + \frac{1}{2}\sum_i^n \sum_j^n \gamma_{ij} \ln w_i \ln w_j + \sum_i^m \sum_j^n \rho_{ij} \ln y_i \ln w_j \qquad (2.26)$$

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.

Entre los inconvenientes de la función cuadrática se pueden enumerar dos. El primero es que no es posible garantizar que se cumpla la condición de homogeneidad lineal en los precios de los factores[21], aunque puede ser verificada a *posteriori*. El segundo 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 qué 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

[21] Levantar esta restricción implica sacrificar en parte la flexibilidad de la forma funcional.

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)*:

$$
\begin{aligned}
C &= \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i y_i + \sum_i \alpha_i F_i + \sum_i^n \beta_i w_i + \\
&+ \frac{1}{2}\sum_i^m \sum_j^m \delta_{ij} y_i y_j + \frac{1}{2}\sum_i^n \sum_j^n \gamma_{ij} w_i w_j + \sum_i^m \sum_j^n \rho_{ij} y_i w_j
\end{aligned}
\qquad (2.27)
$$

Por otra parte, el problema anterior no existe si la ecuación (2.25) se estima en desviaciones a un punto de aproximación[22]. Además, de este modo se logra una ventaja adicional pues se obtienen fácilmente los costes marginales evaluados en el punto de aproximación, α_i, y los valores del Hessiano, δ_{ij}, lo cual es esencial para el análisis de la subaditividad (*Jara Díaz, 1983)*.

Otra 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.

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 contrastes 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 (C*aves 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 estimar[23]. Aunque para estimar cualquiera de las dos funciones de costes podríamos emplear el método de mínimos cuadrados ordinarios, si se dispone de información adicional ésta puede ser utilizada para mejorar la eficiencia de la estimación.

Como ya se comentó, la aplicación del lema de Shephard asegura que hay un

[22] Habitualmente se utiliza como punto de aproximación la media de las observaciones.
[23] La función cuadrática tiene m + n + 1 parámetros más que la función translogarítmica restringida a ser linealmente homogénea en precios.

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.[24]

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, en el punto de aproximación, y de los elementos del Hessiano, 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).*

2.3. Estática comparativa del modelo de minimización de costes: Interpretación de los parámetros.

[24] 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.

La cuestiones cualitativas básicas en la teoría de la minimización de los costes, tal y como fue formulada por *Samuelson (1948),* se refieren a los efectos en la demanda de los factores de un cambio en su propio precio, en el precio de otro factor o en el vector de productos, y los efectos en el coste total y marginal de cambios en los precios de los factores o en el vector de productos.

La estática comparativa de los modelos económicos que involucran más de una variable requieren la solución simultánea de los sistemas de ecuaciones lineales que se obtienen como consecuencia de la aplicación de las condiciones de primer orden del problema de optimización.

Cuando el problema de optimización consiste en una minimización de costes, la solución simultánea de las ecuaciones de primer orden son las demandas derivadas de los factores productivos, x_i, y los costes marginales de los productos y_j.[25]

$$\frac{\partial C}{\partial w_i} = x_i \geq 0 \qquad \frac{\partial C}{\partial y_i} = Cm_i \geq 0 \quad con \quad i = 1, 2, ..., n \tag{2.28}$$

que son no negativos ya que la función de costes es no decreciente en los precios de los factores y en el nivel de producción.

Para más detalles ver *Christensen y Greene (1976)*.

[25] Estas derivadas parciales peculiarmente simples derivan del hecho de que el lagrangiano es

En los modelos de optimización surgen teoremas refutables de estática comparativa sólo si un parámetro dado entra en una y sólo una ecuación de primer orden. Este resultado se conoce como el "teorema del par conjugado", que afirma que si algún parámetro α_i entra sólo en la ecuación de primer orden i-ésima, entonces:

$$f_{i\alpha_i} \frac{\partial x_i^*}{\partial \alpha_i} > 0 \tag{2.29}$$

es decir, si un parámetro α_i entra sólo en la ecuación de primer orden i-ésima, la respuesta de la variable de elección x_i, a un cambio en el parámetro es en la misma dirección que el efecto producido en la ecuación de primer orden por el cambio en el parámetro α_i. Virtualmente, todos los resultados de estática comparativa en economía son ejemplos específicos de la expresión anterior.

Por ejemplo, en el problema de minimización de costes el precio del factor productivo i, w_i, entra en una sola ecuación de primer orden (la i-ésima) por lo que puede determinarse el signo de $\delta x_i/\delta w_i$. Sin embargo, el signo de los parámetros que entran en la restricción, como por ejemplo el nivel de producción del producto j, no puede ser determinado sin la ayuda de hipótesis adicionales a la de minimización de costes.

---

lineal en los parámetros p_i e y_j.

En general, la estática comparativa del modelo de minimización de costes puede resumirse en la determinación del signo de las siguientes derivadas parciales.

$$\frac{\partial x_i^*}{\partial w_j} \quad con \;\; i,j=1,2,...,n \qquad\qquad \frac{\partial x_i^*}{\partial y_j} \quad con \;\; i,j=1,2,...,n \tag{2.30}$$

$$\frac{\partial Cm_i^*}{\partial w_j} \quad con \;\; i,j=1,2,...,n \qquad\qquad \frac{\partial Cm_i^*}{\partial y_j} \quad con \;\; i,j=1,2,...,n \tag{2.31}$$

La concavidad de la función de costes implica que las demandas de factores son no crecientes con respecto a su propio precio, y que la matriz de derivadas parciales de los factores con respecto a sus precios es semidefinida negativa[26] y simétrica. Esto tiene las siguientes implicaciones:

$$\frac{\partial x_i^*}{\partial w_i} < 0 \qquad y \qquad \frac{\partial x_i^*}{\partial w_j} = \frac{\partial x_j^*}{\partial w_i} \qquad con \quad i \neq j \tag{2.32}$$

Es decir, la derivada de la demanda del factor i con respecto a su propio precio es negativa, pero con respecto al precio de otro factor j puede tomar cualquier signo, ya que éste no está determinado por el modelo de minimización, aunque si se tiene que cumplir la relación de simetría de los efectos cruzados, es decir, el

[26] La propiedad que tiene la matriz de sustitución de ser semidefinida negativa significa que el producto del cambio en el precio de los factores por el cambio en la demanda de los factores debe ser siempre negativo, al menos para cambios infinitesimales en el precio de los factores. Así, si por ejemplo, solamente el precio del factor i-ésimo varía (aumenta) entonces la variación de la

cambio en la demanda derivada del factor i provocado como consecuencia de un cambio marginal en el precio del factor j es igual al cambio en la demanda del factor j provocado por un cambio marginal en el precio del factor i[27]. Asimismo, la simetría del Hessiano indica que:

$$\frac{\partial x_i^*}{\partial y_j} = \frac{\partial Cm_j^*}{\partial w_i} \qquad con \;\; i, j = 1, 2, ..., n \tag{2.33}$$

Es decir, la respuesta del factor i a cambios en la producción del producto j es igual al cambio en el coste marginal del producto j como consecuencia de un cambio en el precio del factor i. Como ya se comentó, el signo de estas derivadas parciales no está determinado por el problema de minimización (recuérdese que y_j entra en la restricción) por lo que esta derivada parcial puede tomar cualquier signo.

La relaciones de estática comparativa se completan con el estudio del signo de las derivadas parciales que implican el cruce entre productos, es decir:

$$\frac{\partial Cm_i^*}{\partial y_i} \quad con \;\; i = 1, 2, ..., n \qquad\qquad \frac{\partial Cm_i^*}{\partial y_j} \quad con \;\; i, j = 1, 2, ..., n \tag{2.34}$$

---

demanda del factor i-ésimo debe ser negativa.

[27] Mientras que el hecho de que la demanda del factor con respecto a su propio precio sea negativa tiene una intuición económica clara: cuando algo se encarece se demanda menos, la intuición económica detrás de la relación de simetría de los efectos cruzados no es tan transparente y sólo surge como una implicación mecánica de las propiedades de diferenciabilidad asumidas con

Determinar el signo de estas derivadas no es posible, como ya se ha señalado, dado que el output entra en la restricción, luego pueden tomar cualquier valor[28].

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

2.4.1. Datos y especificación funcional.

La primera referencia en la literatura en la que se estima una función de

---

respecto a la función de coste y a las demandas derivadas (*Chambers, 1988*).

[28] Por la misma razón, en los modelos de corto plazo los signos de los cruces entre factores fijos y el resto de las variables no pueden ser determinados sólo a partir del modelo de minimización.

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:

$$Q = A\, L^{\alpha}\, K^{\beta}\, e^{\gamma\,(T/L)} \tag{2.35}$$

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)[29] = 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

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

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 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 :

$$Q = A\, C^{\alpha}\, B^{\beta}\, L^{\gamma} \qquad (2.36)$$

donde:

Q = Número de TEUs[30]

---

[30] *Twenty feet equivalent unity.*

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:

$$Y = A\ X_1^{\alpha}\ X_2^{\beta}\ X_3^{\gamma} \qquad (2.37)$$

donde:

Y = Número de TEUs por hora de atraque

X_1 = Número de grúas por hora de atraque

X_2 = Número de manos por hora de atraque

X_3 = Número de TEUs transportados por carretera por hora de atraque

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

$$\ln c = \alpha_0 + \alpha_y \ln y + \sum_i \alpha_i \ln w_i + \frac{1}{2}\gamma_{yy}(\ln y)^2 + \\ + \frac{1}{2}\sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln w_i \ln w_j + \sum_i \gamma_{iy} \ln w_i \ln y + \\ \sum_i \theta_{it} \ln w_i \ln t + \theta_{yt} \ln y \ln t + \beta_t \ln t + \frac{1}{2}\beta_{tt}(\ln t)^2 \tag{2.38}$$

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 se especifica como:

$$t = \frac{(T^{*\theta} - 1)}{\theta} \tag{2.39}$$

Esta función translogarítmica híbrida se aproxima a la función translogarítmica ordinaria cuando θ se aproxima a cero. Los autores eligieron un θ = 0.01 para el cual (2.39) es virtualmente idéntico a ln t.

Para realizar la estimación cuentan con una serie temporal de 18 observaciones anuales (1966-1983) del Puerto de Ashood (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 factores[31].

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

[31] La homogeneidad lineal en el precio de los factores se consigue mediante la imposición de la siguiente 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:

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

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:

$$CT_{it} = A \bullet Q_{it}^{\ b} \bullet w_{it}^{\ c_1} \bullet \Gamma_{it}^{\ c_2} \bullet m_{it}^{\ c_3} \bullet e^{\sum_i d_t D_t} \bullet e^{\sum_i d_i D_i} \bullet e^{\xi_{it}} \qquad (2.40)$$

donde:

CT_{it} = Costes totales del puerto i en el período t

Q_{it} = Actividad del puerto i en el periodo 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

ε_{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, 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 flexibles[32].

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

[32] 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

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:

$$\begin{aligned} C = \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i (y_i - \bar{y}_i) + \sum_i^n \beta_i (w_i - \bar{w}_i) + \\ + \sum_i^m \sum_{j \geq i}^m \alpha_{ij} (y_i - \bar{y}_i)(y_j - \bar{y}_j) + + \sum_i^n \sum_{j \geq i}^n \beta_{ij} (w_i - \bar{w}_i)(w_j - \bar{w}_j) + \\ + \sum_i^m \sum_j^n \delta_{ij} (y_i - \bar{y}_i)(w_j - \bar{w}_j) + \xi \end{aligned} \qquad (2.41)$$

donde:

C = Coste total a largo plazo

y_i = Vector de productos

w_i = Vector de factores productivos

$\bar{y}_i$ = Valor medio de la muestra de productos

$\bar{w}_i$ = Valor medio de la muestra de factores productivos

---

como hipótesis contrastables.

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:

$$\begin{aligned}\ln C = {} & \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i \ln w_i + \sum_i^m \sum_{j\geq i}^m \alpha_{ij} \ln w_i \ln w_j + \sum_i^n \beta_i \ln y_i + \\ & + \sum_i^n \sum_{j\geq i}^n \beta_{ij} \ln y_i \ln y_j + \sum_i^m \sum_j^n \delta_{ij} \ln w_i \ln y_j + \\ & + \sum_i^n \sum_j^n \beta_{ij} \ln y_i \ln y_j + \theta_1 T + \theta_2 T^2 + \sum_i^m \theta_{1i} T \ln w_i + \sum_i^n \theta_{1i} T \ln y_i \end{aligned} \tag{2.42}$$

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 (2.42) 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 factores[33]. La estimación se llevó a cabo por la técnica iterativa modificada de Zellner.

Por último, 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).

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

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

2.4.2. Definición del producto.

En casi todas las aplicaciones empíricas los autores se enfrentan con el problema de cómo definir el producto. Ello es debido a que, si bien 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),* y *Tongzon (1993)* centran su atención en los muelles-terminales de contenedores, mientras que *Jara Díaz et al., (1997), Martínez Budría (1996)* y *Jara Díaz et al., (2002)* y 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 C*hang (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 monoproductiva. En el caso de *Kim y Sachis, (1986)* lo hacen porque 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).

2.4.3. 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 estudio[34], bien porque

---

[34] En algunos de ellos se analiza sólo parte de la actividad que se lleva a cabo en el puerto

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.

La definición del factor trabajo en los tres artículos que estiman funciones de producción analizados, *Chang (1978)*, *Reker et al., (1990)*[35]*, 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 C*hang (1978)* el capital se mide como el valor de los

(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.

[35] 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

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 Divisia[36]. 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

---

reconocen que no son totalmente independientes.

[36] 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.

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:

$$P_{k,t}{}^{i} = q_{k,t}{}^{i}(r_t^{i} + \delta_t{}^{i}) \qquad (2.43)$$

donde:

q_k = Precio del activo

δ = Ratio de depreciación

r = 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 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 metros[37], 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. 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)* se utiliza además de los factores productivos 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.

[37] No obstante, el autor comenta en su trabajo que la utilización del concepto económico del coste

2.4.4. 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*

---

en lugar del contable no mejoraba los resultados de la estimación.

(1978) sostiene que los puntos de α y β estimados[38] 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, 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 monoproductivo 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

---

[38] Representa la elasticidad del beneficio bruto con respecto a cambios en el trabajo y capital

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 *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

respectivamente.

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 contempla la actividad portuaria de manera integral es el realizado por *Kim y Sachis (1986)*. 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.

2.5. Resumen y conclusiones.

Este capítulo se inicia reconociendo la existencia de diferentes enfoques para aproximarse a la realidad portuaria en función del objetivo perseguido en cada trabajo. Así cuando se trata de planificar inversiones futuras ha sido frecuente la utilización del modelo de colas. Cuando no se supone un comportamiento optimizador, se puede medir y evaluar la productividad y la eficiencia bien con modelos no parámetricos, como el *Data Envelopment Análisis*; o bien con modelos parámetricos, como la estimación de funciones frontera o distancia. Por último, y dado que esa es la aproximación seguida en este estudio, se ha hecho especial hincapié en los enfoques que suponen un comportamiento optimizador de la empresa. Se está haciendo referencia a la estimación paramétrica de funciones de producción y costes.

El establecimiento de las relaciones formales de dualidad entre las funciones de costes y las de producción[39] y de transformación[40] permite que, bajo ciertas condiciones de regularidad, puedan estudiarse las características tecnológicas de

[39] En el caso monoproductivo.
[40] En la multiproducción.

producción a través de la función de costes.

Aunque la mayor parte de las actividades económicas son multiproductivas, no es hasta principios de la década de los ochenta que se cuenta con un cuerpo teórico (*Baumol et al., 1982*) que permite abordar el análisis y la contrastación empírica de actividades multiproductivas. De este modo, se desarrollan conceptos de coste que caracterizan los procesos multiproductivos.

Estos conceptos de costes se pueden considerar como instrumentos que permiten explorar la forma de las superficies de coste, de modo que todos ellos se pueden caracterizar utilizando el análisis radial, incremental o transradial.

El análisis radial analiza las propiedades rayo-específicas de la función de costes. Su potencial es limitado pues sólo informa de lo que ocurre cuando la producción se incrementa en la misma proporción para todos los productos, por lo que es un análisis semejante a la monoproducción si consideramos el vector de productos como un bien compuesto.

El análisis incremental permite estudiar situaciones más generales, donde cambiar la producción puede afectar a cualquiera de los componentes del vector de productos. De este modo puede analizarse la conveniencia o no de introducir productos nuevos, de especializarse o no en un producto o subconjunto del conjunto total de productos posibles, etc. Todo ello da lugar a conceptos propios de la multiproducción como son el coste incremental, las economías de escala específicas y las economías de diversidad, bien referidas a un producto o subconjunto de productos.

Por último, el análisis transradial compara los costes de operación de dos empresas especializadas, con los costes de empresas que producen una media ponderada de los productos indicando, por tanto, si existen ventajas de la producción conjunta frente a la especialización.

La determinación de la subaditividad de la función de costes es una característica importante porque su presencia determina la existencia de un monopolio natural y, por tanto, la necesidad de regular. Aunque en monoproducción la presencia de economías de escala es condición suficiente para la subaditividad, esto no se cumple para la multiproducción ya que, a diferencia de lo que ocurre en el caso escalar, incluso cuando los costes radiales medios son decrecientes en todos los radios y, por tanto, existen economías de escala, la ausencia de economías de diversidad podría excluir el monopolio natural.

La presencia de economías de diversidad es condición necesaria para la subaditividad, aunque no suficiente. Por tanto, aunque su determinación no permite afirmar que la industria es un monopolio natural, sí que es útil para establecer la conveniencia o no de la producción conjunta y la especialización. Efectivamente, cuando existen economías de diversidad no conviene especializar la producción, sino que es conveniente que la producción de la industria se efectúe conjuntamente (por una o varias empresas según se esté en un monopolio natural o no).

La determinación de las economías de diversidad en la manipulación de mercancía general en terminales portuarias polivalentes es de gran utilidad. La experiencia internacional demuestra que las terminales portuarias son en sus orígenes polivalentes pero, como se verá en el próximo capítulo, existe una tendencia a la especialización cuando se alcanzan determinados volúmenes de tráfico, de modo que terminan apareciendo las terminales especializadas.

Lógicamente, desde el punto de vista de los costes, la especialización se produce cuando las economías derivadas de la especialización superan a las economías de producción conjunta. Determinar si existen o no economías de diversidad es, por tanto, de gran utilidad para orientar las decisiones del regulador en cuanto al tipo de terminales que, desde el punto de vista de los costes, conviene autorizar.

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 transformación y/o de costes. La forma funcional utilizada para la estimación econométrica, además de cumplir las condiciones de regularidad que garanticen que es una verdadera función de costes, debe ser una forma funcional flexible que permita el análisis de todos los efectos sin imponer restricciones a priori. Las dos funciones que cumplen este requisito son la función translogarítmica y la cuadrática. Si bien ambas tienen ventajas e inconvenientes, la cuadrática parece más adecuada cuando se pretende analizar economías de diversidad[41], obtener costes marginales, etc., por lo que es la forma funcional escogida para realizar la parte empírica de este trabajo.

Por otra parte, la estática comparativa del modelo de minimización de costes permite establecer el signo de determinadas relaciones entre los parámetros y las variables del modelo que serán de mucha utilidad, a la hora de valorar e interpretar los resultados obtenidos en la estimación empírica.

La última parte del capítulo se dedicó a realizar un análisis sistemático y pormenorizado de los trabajos empíricos de estimación econométrica de funciones de producción y de costes en el sector portuario. Lo primero que llama la atención es la escasez de trabajos, derivada probablemente de la dificultad de obtener los datos necesarios para su realización.

Por lo que respecta a los tres trabajos que estiman una función de producción, todas son monoproductivas y tienen en común, la forma funcional utilizada, la Cobb-Douglas, y la medición de las economías de escala. Además, dos de los tres trabajos (*Reker et al., 1990 y Tongzon, 1993)* miden la misma actividad, en el mismo puerto y durante el mismo periodo temporal, aunque con una definición de

[41] Como ya se comentó, la función translogarítmica no puede ser utilizada para vectores de productos con alguna componente cero. Utilizar transformaciones Box-Cox puede resolver el

las variables algo diferente, lo que permite una comparación de los resultados obtenidos en la estimación de las economías de escala, algo decepcionante si se tiene en cuenta que son contradictorios. Esto, unido a lo inadecuado de la forma funcional utilizada resta interés a estos trabajos.

Por lo que se refiere a la estimación de funciones de costes los resultados son bastante más relevantes. En todos se observa un reconocimiento explícito del carácter multiproductivo de la actividad a modelar. De los cinco trabajos analizados los dos no multiproductivos son los más antiguos. De uno de ellos (*Martinez Budría, 1996*) existen versiones más recientes (*Jara Díaz et al., 1997* y *Jara Díaz et al., 2002*) en donde se estima una función de costes multiproductiva. En el otro, (*Kim y Sachis, 1986*) los autores reconocen explícitamente el carácter multiprodcutivo de la actividad, si bien estiman una función de costes monoproductiva debido a que cuentan con un número limitado de observaciones.

Aunque la actividad analizada por los cinco trabajos no es la misma[42] todos llegan a la conclusión de que existen economías de escala crecientes en el punto de aproximación.

Quizá la comparación que proporciona conclusiones más interesante sea la de los trabajos de *Budría (1996) y Jara et al., (1997)* pues sólo difieren en el enfoque,

---

problema pero dificulta enormemente la interpretación de los parámetros.

[42] En algunos se analiza la provisión de servicios de infraestructura, en otros la actividad del puerto como un todo, etc.

monoproductivo del primero y multiproductivo del segundo, y la forma funcional utilizada, Cobb-Douglas y cuadrática respectivamente. En ambos trabajos se llega a la conclusión de que existen rendimientos a escala crecientes en la provisión de servicios de infraestructura en los puertos españoles de interés general, si bien la cifra obtenida en la versión monoproductiva fue más abultada. Los propios autores señalan que es debido a la existencia de economías de diversidad, que siendo contrastadas en la versión multiproductiva del trabajo no pueden ser reveladas a partir de una descripción agregada del producto, lo que pone de manifiesto que no es irrelevante ignorar el carácter multiproductivo de la actividad.

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 et 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			
Kim y Sachis (1986)	Infraestructura y servicios	Translogarítmica	Serie temporal Observaciones anuales (19) (1966-1983)	$CT_{LP}(Y,L,K,P_l,P_k)$	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

(1):
CT_{LP} = Coste total a largo plazo
Y = Toneladas de mercancía
L = Factor trabajo
K = Factor capital.
P_l, = 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
$W_{it,}$= 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
$MGNC_{it}$ =Miles de toneladas de mercancía gral. no contener. manipuladas por del puerto i en el año t
$CANON_{it}$ = Indice agregado de otras actividades que utilizan parte de la infraestructura
$w_{it,}$= Precio del factor trabajo
r_{it} = Precio del factor capital
m_{it} = Precio del factor intermedio
$MG_{it,}$= Miles de toneladas de mercan cía general manipuladas por del puerto i en el año t
Pl_{it} = Precio del factor trabajo
Pi_{it} = Precio del factor intermedio
T = Tiempo