



Escola Tècnica Superior d'Enginyers  
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

**Tesis Doctoral:**

**MODELIZACIÓN Y REGULACIÓN ÓPTIMA DE LAS  
CONCESIONES DE TERMINALES PORTUARIAS DE  
CONTENEDORES**

Autor:

**Sergi Saurí Marchán**

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos*

*Economista*

Director de la tesis:

**Prof. Francesc Robusté Antón**

*Catedrático de Transporte de la UPC*

Programa de Doctorado de Ingeniería Civil

ETSECCPB-U.P.C

---

Barcelona, Noviembre de 2006





Escola Tècnica Superior d'Enginyers  
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# Modelización y regulación óptima de las concesiones de terminales portuarias de contenedores

Sergi Saurí Marchán

Memoria presentada para optar al título de Doctor  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

ETSECCPB

UPC

Director de la tesis: Dr. Francesc Robusté Antón

Barcelona, Noviembre de 2006

*A mis padres, Jaime y Amparo*

*El que no aplique nuevos remedios,  
se encontrará con nuevos males.*

Francis Bacon

## MODELIZACIÓN Y REGULACIÓN ÓPTIMA DE LAS CONCESIONES DE TERMINALES PORTUARIAS DE CONTENEDORES

### RESUMEN

La globalización de la economía y la reestructuración de las rutas mundiales de comercio, han propiciado una demanda creciente de competitividad portuaria que ha afectado particularmente a las terminales de contenedores, que ya representan una piedra angular en la operativa de gran parte de los puertos. Este nuevo escenario de competitividad afecta a las mejoras tecnológicas de los equipos, a la optimización y calidad de los procesos portuarios, así como a la organización y al reparto del trabajo de la mano de obra portuaria. Cambios en la utilización de la capacidad portuaria generan incrementos de costes, lo que limita las ganancias obtenidas por economías de escala de los buques porta-contenedores y es un factor limitante del crecimiento de su tamaño (entre otros de tipo infraestructural).

Dentro de un planteamiento PPP (*Public-Private Partnership*) con participación creciente del sector privado, es importante cuantificar las relaciones entre la Autoridad Portuaria, el concesionario (operador) de la terminal y la sociedad de estiba. Esta tesis aplica un enfoque microeconómico a las terminales portuarias de contenedores: optimiza las citadas relaciones mediante la teoría del principal y del agente, una variante de la Teoría de Juegos.

Una vez caracterizadas las relaciones entre la Administración, el operador y la mano de obra portuaria se modelizan las relaciones contractuales mediante incentivos (pago en función de resultados) y teniendo en cuenta los escenarios habituales de riesgo moral (ingentes inversiones cuya rentabilidad está sujeta a la evolución futura de la demanda), información “oculta” (estructura de costes y organización de la explotación), dominio de la posición del mercado por parte del concesionario y “monopolio” de la sociedad de estiba y desestiba.

La relación entre principal (Autoridad Portuaria) y agentes (operador y sociedad de estiba) se contempla como un “juego” con objetivos distintos pero sometidos a unas reglas. Se plantea un modelo multiagente, multiárea, de información oculta e intertemporal, que define mecanismos tarifarios que incentiven al concesionario en acciones que interesan a la Autoridad Portuaria, teniendo muy presente las repercusiones sobre la mano de obra portuaria. Se formulan y resuelven (enfoque de primer orden) dos programas matemáticos estocásticos, determinando las expresiones de las utilidades esperadas de estos actores.

Aplicaciones numéricas del modelo a un caso real de una terminal concesionada de un puerto del mediterráneo certifican la bondad del modelo desarrollado: el canon y la tarifa de la mano de obra portuaria incentivan tanto al concesionario como a la estiba y desestiba, incorporando en el análisis no sólo los costes de los agentes sino también el riesgo de la demanda y el nivel de aversión al riesgo de los agentes. Finalmente, se sugieren extensiones de la investigación y del modelo desarrollado.



Francesc Robusté Antón  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Catedrático de Transporte de la UPC

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar la tesis es el momento de hacer una mirada atrás y recordar algunas de las personas que de un modo u otro han contribuido a la elaboración de la misma.

Así, en primer lugar, agradecer la labor del Director de la tesis, Francesc Robusté, quien, a parte de ayudarme en la elaboración y posterior revisión de los trabajos, contribuyó durante la carrera, en las asignaturas y en la tesina, a despertar mi interés por el estudio del transporte desde una vertiente científica.

Agradecer también el apoyo recibido por los compañeros de la Universidad. Magin Campos y Miquel Estrada, con quienes he compartido trincheras en el doctorado y en la docencia, así como ilusiones y fatigas. Francesc Soriguera, que nos une nuestra pasión por los puertos. Y a Sònia Celades, por su atenta ayuda en la logística de la tesis.

Tampoco no me puedo olvidar de mis compañeros de SENER. Josep Canudas, por las noches de trabajo compartidas y que ha ayudado a que fuesen más llevaderas. A Inma Vidal, por hacer más agradable las horas en la oficina. A Pedro Vila en la programación. Y a Javier Molinero, que me ha sacado de más de un apuro con el Latex.

Y, por último, el infinito agradecimiento a mi entorno más íntimo. A mis padres, Jaime y Amparo, y mis hermanas, Pati y Karen, quienes han sido un apoyo incondicional durante tantos años y con quienes he dejado de disfrutar de su compañía durante innumerables noches para la realización de la investigación. También un recuerdo muy especial a mi abuela Carmen, quien por un año no ha podido ver finalizada la tesis. Y, como no, a Montse, que con su encanto ha dulcificado este último año de trabajo agotador.

A todos ellos gracias!

Barcelona, noche del 6 de noviembre de 2006.

# Contenido

<b>Lista de Tablas</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introducción y objetivos</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos . . . . .	2
1.2 Enfoque metodológico . . . . .	3
<b>2 La privatización en los puertos</b>	<b>6</b>
2.1 Introducción . . . . .	6
2.2 Diferentes formas de participación de capital privado . . . . .	8
2.3 Las concesiones . . . . .	9
2.4 La regulación del sector portuario . . . . .	12
2.4.1 El proceso de regulación en Europa . . . . .	16
2.4.2 El proceso de regulación en España . . . . .	18
<b>3 Las terminales de contenedores. Características de operación y de organización</b>	<b>20</b>
3.1 Agentes involucrados en las terminales concesionadas . . . . .	21
3.2 Principales aspectos operacionales . . . . .	22
3.2.1 Subsistema de la carga y descarga . . . . .	23
3.2.2 Subsistema de almacenamiento de los contenedores . . . . .	24
3.2.3 Subsistema de recepción y entrega de los contenedores terrestres . . . . .	26

3.2.4	Subsistema de interconexión . . . . .	27
3.3	Características microeconómicas de una terminal . . . . .	28
3.4	Proceso de privatización . . . . .	34
3.5	Proceso de regulación . . . . .	37
3.6	Análisis del riesgo . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Tarifación portuaria</b>	<b>41</b>
4.1	Antecedentes . . . . .	41
4.2	Las tarifas portuarias en la práctica . . . . .	49
4.2.1	Las tarifas portuarias . . . . .	49
4.2.2	Las tarifas por la manipulación de las mercancías . . . . .	52
4.2.3	Los cánones de las concesiones . . . . .	54
<b>5</b>	<b>Teoría del Principal y del Agente</b>	<b>58</b>
5.1	El concepto de utilidad . . . . .	58
5.2	La incertidumbre . . . . .	61
5.2.1	Las loterías . . . . .	61
5.2.2	La utilidad esperada . . . . .	61
5.2.3	La aversión al riesgo . . . . .	63
5.3	Fundamentos de la Teoría del Principal y del Agente . . . . .	66
5.3.1	Aspectos básico de la teoría . . . . .	66
5.3.2	Modelo base . . . . .	67
5.3.3	El problema del riesgo moral . . . . .	74
5.3.4	El problema de la señalización adversa . . . . .	77
5.3.5	Señalización . . . . .	81
5.3.6	Extensiones de la teoría . . . . .	85
5.4	Ejemplo de aplicación al transporte. Peaje en las autopistas . . . . .	86
5.5	Justificación del uso de esta teoría en la modelización de las relaciones contrac- tuales de una concesión portuaria . . . . .	86

<b>6</b>	<b>Metodología e hipótesis fundamentales</b>	<b>88</b>
6.1	Características de la relación entre los agentes. Planteamiento del problema . . .	88
6.2	Esquema básico del modelo . . . . .	93
6.3	Modelos multiagentes, multitareas, de información oculta e intertemporales . . .	96
6.3.1	Modelos multiagentes . . . . .	97
6.3.2	Modelos multitareas . . . . .	99
6.3.3	Modelos de riesgo moral intertemporales . . . . .	100
6.3.4	Modelos de riesgo moral con información privada . . . . .	102
6.4	Criterio de rentabilidad . . . . .	103
6.5	Hipótesis fundamentales del modelo . . . . .	107
6.5.1	Demanda de tráfico marítimo de la terminal . . . . .	107
6.5.2	Grado de aversión al riesgo de los agentes implicados . . . . .	111
6.5.3	Problema de la información oculta . . . . .	113
6.6	Metodología global . . . . .	115
<b>7</b>	<b>Modelización de las relaciones contractuales entre la Autoridad Portuaria, el concesionario de la terminal y la mano de obra portuaria</b>	<b>116</b>
7.1	Tarifas de la estiba y desestiba . . . . .	116
7.2	Canon del concesionario de la terminal . . . . .	119
7.3	Modelo entre la Autoridad Portuaria y concesionario de la terminal . . . . .	127
7.3.1	Concesionario de la terminal . . . . .	128
7.3.2	Autoridad Portuaria . . . . .	141
7.3.3	Modelo final entre la Autoridad Portuaria y el concesionario . . . . .	145
7.4	Modelo entre la Autoridad Portuaria y la sociedad de estiba y desestiba . . . . .	148
7.4.1	Estiba y desestiba . . . . .	148
7.4.2	Autoridad Portuaria . . . . .	155
7.4.3	Modelo final entre la Autoridad Portuaria y la mano de obra portuaria .	158
<b>8</b>	<b>Resolución de los modelos</b>	<b>160</b>

8.1	Análisis desde la óptica de la Teoría de juegos . . . . .	160
8.2	Enfoque de primer orden . . . . .	165
8.2.1	Justificación del empleo del método . . . . .	166
8.2.2	Descripción del método . . . . .	168
8.3	Resolución de los modelos a través del enfoque de primer orden . . . . .	171
8.3.1	Aplicación al modelo entre el concesionario y la Autoridad Portuaria . . .	171
8.3.2	Aplicación al modelo entre la SED y la Autoridad Portuaria . . . . .	174
8.4	Obtención de una solución para el conjunto de los modelos . . . . .	177
8.5	Existencia de la solución. Equilibrio de Bayes-Nash . . . . .	182
8.6	Análisis del significado de la formulación propuesta de cánones y tarifas . . . . .	185
<b>9</b>	<b>Aplicación a una terminal de contenedores concesionada</b>	<b>189</b>
9.1	Introducción . . . . .	189
9.2	Planteamiento del problema . . . . .	189
9.3	Cálculo del equilibrio de Bayes-Nash . . . . .	193
9.4	Pérdidas y Ganancias de los agentes y del principal . . . . .	197
9.4.1	Determinación de $\alpha_0$ y $\gamma_0$ . . . . .	197
9.4.2	Esfuerzos óptimos y comparativa entre situación actual y la propuesta . .	203
9.5	Análisis de sensibilidad de los principales parámetros del modelo . . . . .	215
9.5.1	Costes fijos . . . . .	216
9.5.2	Costes de explotación . . . . .	217
9.5.3	Productividad de la terminal . . . . .	219
9.5.4	Aversión al riesgo . . . . .	221
9.5.5	Riesgo de la demanda . . . . .	225
9.5.6	Elasticidad demanda-esfuerzos del concesionario de la terminal . . . . .	226
9.5.7	Elasticidad demanda-esfuerzos de la mano de obra portuaria . . . . .	229
9.5.8	Nivel de información . . . . .	230
9.5.9	Determinación del nivel de sensibilidad . . . . .	232

9.6 Resultados de la aplicación a un caso concreto . . . . .	238
<b>10 Conclusiones e investigaciones futuras</b>	<b>240</b>
<b>Referencias</b>	<b>247</b>
<b>A Programa para la resolución de los modelos</b>	<b>248</b>
<b>B Cuentas de Pérdidas y Ganancias de la terminal de contenedores</b>	<b>273</b>

# Lista de Tablas

2.1	Plazos de concesiones de algunos puertos del mundo. . . . .	12
3.1	Principales factores que influyen en la eficiencia de la carga y descarga de contenedores. Fuente: Monfort et al (2001). . . . .	24
3.2	Comparativa de los sistemas de manipulación en el subsistema de almacenaje. RTG es <i>Rubber Tyred Gantry-crane</i> y RMG es <i>Rail Mounted Gantry-crane</i> . Fuente: Monfort et al. (2001). . . . .	25
3.3	Proporción de la participación público-privada en las inversiones de diversas terminales. Fuente: Wiegmans et al. (2002). . . . .	37
4.1	Importancia relativa de las diversas componentes que participan en el coste total portuario. Fuente: Suykens (1996). . . . .	50
4.2	Elasticidades demanda-precio de diferentes puertos europeos. Unidades: variaciones de la demanda con aumentos del 10% de los precios. Fuente: Haralambides et al. (2001). . . . .	51
4.3	Coste unitario por manipulación de contenedores en diversos puertos del mundo. Fuente: Trujillo et al. (1999). . . . .	54
9.1	Valores de $\delta_i$ adoptados en el caso práctico. . . . .	191
9.2	Resultados de la terminal considerada. El equilibrio de Nash tiene lugar en $\alpha_1 = 13$ y en $\gamma_1 = 6$ . Los valores de $b_i^*$ ( $i=1,2,3$ ) son para $\theta = 0,8$ , que se considera representativo del resto de $\theta$ . . . . .	195
9.3	Acuerdos entre el concesionario de la terminal y la mano de obra portuaria sobre las tarifas cobradas por este segundo según los niveles de productividad alcanzados.	214

9.4	Costes variables de la terminal y de la mano de obra considerados en el análisis de sensibilidad. (*)Valores de partida. Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ .	218
9.5	Resultados para variaciones del coste unitario de la mano de obra ( $c_u$ ). Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ , en representación del resto de $\theta$ .	218
9.6	Diferentes valores de la productividad de la terminal considerados en el análisis de sensibilidad. (*) Escenario de partida. Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ .	220
9.7	Resultados para los diferentes valores de la productividad de la terminal. Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ , en representación del resto de $\theta$ .	220
9.8	Valores adoptados para evaluar la aversión al riesgo de los agentes. Para el escenario de partida, $\rho_c = \rho_s = 0, 05$ . Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ , aunque tiene valores diferentes según $\theta$ .	222
9.9	Resultados de las simulaciones con diferentes valores de $\rho_c$ . Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ .	222
9.10	Resultados para diferentes valores de la aversión al riesgo de la mano de obra portuaria. Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ , que se considera representativo del resto de $\theta$ .	224
9.11	Resultados para diferentes niveles de variación de las previsiones de la demanda de contenedores de la terminal. Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ , pero que de hecho tiene un valor diferente según $\theta$ .	225
9.12	Resultados para diversas elasticidades demanda contenedores-esfuerzo en reducción de tarifas ( $b_1$ ). Para el escenario de partida $\xi_1 = 0, 5$ . Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ .	227
9.13	Resultados para diferentes valores de la elasticidad demanda contenedores-esfuerzo en productividad de la terminal ( $b_2$ ). Para la situación de partida se tiene que $\xi_2 = 0, 5$ . Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ , en representación del resto de $\theta$ .	227
9.14	Resultados para diversas elasticidades demanda contenedores-esfuerzo en productividad de la mano de obra ( $b_3$ ). Los valores de $b_i^*$ (i=1,2,3) son para $\theta = 0, 8$ , en representación del resto de $\theta$ .	229

9.15 Resultados para diferentes incertidumbres del principal respecto a la explotación de la terminal. Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ , que se considera representativo del resto de  $\theta$ . (\*) Escenario base. . . . . 231

# Lista de Figuras

2.1	Estrategias reguladoras para hacer frente a situaciones de falta de competencia. . . . .	15
3.1	Subsistemas en que puede segmentarse la terminal desde el punto de vista funcional	22
3.2	Variación de los costes medios totales, variables y fijos, con el volumen de producción para una industria con elevados costes fijos . . . . .	29
3.3	Costes directos e indirectos de varias terminales de contenedores españolas con diferentes volúmenes de tráfico anual. Fuente: <i>Análisis de Terminales Marítimas de Contenedores</i> (Puertos del Estado, 2002). . . . .	30
3.4	Variación del coste total de una terminal de contenedores (buque y terminal) con el volumen de tráfico manipulado . . . . .	31
3.5	Impacto del incremento de la productividad portuaria (duplicación) en el coste del viaje de un buque portacontenedores (en dólares americanos por TEU). TA se refiere a los viajes transatlánticos, TP a los transpacíficos y E-A a los de Europa con Oriente. Fuente: Cullinane et al. (1999). . . . .	32
3.6	Agentes implicados económicamente en una terminal de contenedores. Fuente: Wiegmans et al. (2002). . . . .	36
3.7	Funciones de costes e ingresos a corto plazo para una terminal con participación público-privada . . . . .	37
4.1	Funciones de coste de una terminal de contenedores a corto y largo plazo. . . . .	45
4.2	Ingresos para la Autoridad Portuaria en cada tipo de modalidad de canon en función del volumen de tráfico . . . . .	57

5.1	Representación de la utilidad esperada de un juego. La utilidad esperada del juego es $\frac{1}{2}u(x) + \frac{1}{2}u(y)$ , mientras que la utilidad del valor esperado del juego es $u(\frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y)$ . . . . .	64
5.2	Solución óptima en caso de información simétrica. . . . .	72
5.3	Contrato óptimo en caso de principal neutro al riesgo y agente averso. . . . .	74
5.4	Contratos óptimos para un problema de selección adversa. . . . .	79
5.5	Solución al programa de señalización. . . . .	84
5.6	Secuencia de decisiones en caso de señalización. . . . .	85
6.1	Actores considerados en la concesión de la terminal y vínculos básicos entre ellos. . . . .	92
6.2	Partidas más importantes de ingresos y gastos consideradas en la modelización para el esquema de organización de una terminal de contenedores concesionada adoptado en la tesis. . . . .	94
6.3	Secuencia de acciones que definen el "juego" entre el principal y el agente de la concesión considerada. . . . .	96
6.4	Forma de la curva de las previsiones de la demanda a largo plazo más usual en terminales (figura b) y la que mejor se adapta al criterio de rentabilidad supuesto (figura a). . . . .	105
6.5	Previsiones de demanda para los diferentes años de la concesión. A medida que el horizonte es más amplio, la incertidumbre de la demanda aumenta ( $\sigma_t^2 > \sigma_\tau^2$ si $t > \tau$ ). . . . .	108
6.6	Comparación entre las curvas de nivel de una función de tipo multiplicativa con la adoptada en el modelo. . . . .	111
7.1	Gastos de explotación e ingresos tanto en caso de monopolio como en competencia perfecta . . . . .	117
7.2	Ingresos y gastos de explotación de la mano de obra portuaria con la tarifa propuesta	119
7.3	Beneficios del concesionario en caso de implementar la formulación del canon propuesta suponiendo $\gamma_0 = 0$ y $\gamma_1 = 1$ . . . . .	123
7.4	Beneficios y canon del concesionario en caso de una reducción de las tarifas de la terminal. . . . .	125

7.5	Beneficios y canon del concesionario en caso de una mejora de factores que influyen en la demanda de contenedores de la terminal sin contar las tarifas (mejores de la productividad y calidad del servicio, principalmente). . . . .	126
7.6	Cálculos seguidos para la obtención de la utilidad esperada del concesionario de la terminal. . . . .	128
7.7	Relación entre el tráfico de contenedores de la terminal ( $x_t$ ) y el nivel de esfuerzo $b_2$ para diferentes valores de la elasticidad $\xi_2$ . . . . .	134
7.8	Secuencia de pasos la obtención de la utilidad esperada de la mano de obra portuaria (SED). . . . .	149
8.1	Algoritmo de los pasos fundamentales para la resolución de los modelos mediante el método del enfoque de primer orden . . . . .	171
8.2	Fases para la obtención de la solución general de los modelos. . . . .	178
8.3	Algoritmo para la obtención del equilibrio de Bayes-Nash del juego definido por los dos modelos de principal y agente. . . . .	178
8.4	Caja de Edgeworth para la obtención de los soluciones para el modelos entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal. . . . .	180
8.5	Soluciones del modelo entre la Autoridad Portuaria y la mano de obra portuaria. . . . .	181
8.6	Dado un valor de $\theta$ , $\theta^*$ , soluciones para el modelo entre la Autoridad Portuaria, $S(\theta)$ , y para el modelo entre la Autoridad Portuaria y la SED, $R(\theta)$ . El equilibrio de Bayes-Nash será la intersección de ambos conjuntos de soluciones. . . . .	181
8.7	Esfuerzos $b_1$ y $b_2$ que maximizan la utilidad esperada del concesionario dado un valor concreto de $\gamma_1$ . . . . .	187
9.1	Previsiones de demanda de contenedores (TEU) con la formulación de cánones y tarifas de la mano de obra portuaria actuales. . . . .	190
9.2	Valores de la utilidad esperada $UE_c^a$ positivos, entre los cuales está el equilibrio de Bayes-Nash. . . . .	193
9.3	Valores de la utilidad esperada $UE_p$ por encima de $UE = 0$ . . . . .	194
9.4	Utilidades esperadas $UE_p$ y $UE_c^a$ junto con el equilibrio de Bayes-Nash. . . . .	195
9.5	Utilidad esperada de la Autoridad Portuaria, $UE_p$ , para $\alpha_1^* = 13$ . En el punto $\gamma_1^* = 6$ tiene lugar el equilibrio de Bayes-Nash. . . . .	196

9.6	Utilidad esperada del concesionario $UE_c^a$ para $\gamma_1^* = 6$ . En $\alpha_1^* = 13$ hay el equilibrio de Bayes-Nash. . . . .	196
9.7	Evolución del coste medio por contenedor ( $CME$ ) y de la demanda de tráfico de contenedores en la terminal ( $D$ ) a medida que el agente incrementa uno de los esfuerzos ( $b_i$ ) manteniendo el resto de los parámetros iguales. El punto de inflexión viene representado por $b_i^c$ . . . . .	200
9.8	Coste por realizar un determinado nivel de esfuerzo $b_i$ ( $i=1,2,3$ ). La relación es lineal hasta el punto $b_i^c$ , en el cual se llega a la capacidad de la terminal y empiezan a aparecer costes de congestión. . . . .	201
9.9	Representación de las isocuantas de los valores del indicador de esfuerzo para el caso del concesionario de la terminal. . . . .	205
9.10	Isocuantas del criterio de incremento de esfuerzo para el caso de la mano de obra portuaria. . . . .	205
9.11	Mejoras de los ingresos por cánones de la Autoridad Portuaria respecto a los actuales cánones. . . . .	206
9.12	Resultados previstos de explotación del concesionario de la terminal, tanto para la situación de partida como para la nueva propuesta de cánones y tarifas. . . . .	209
9.13	Costes del concesionario debidos a sus esfuerzos para mejorar productividad y reducir tarifas. . . . .	209
9.14	Comparativa entre las tarifas de la terminal con la situación actual y con la nueva propuesta de cánones. . . . .	210
9.15	Resultados previstos de explotación de la mano de obra portuaria con la situación actual y con la propuesta. . . . .	210
9.16	Costes incurridos por la SED para mejorar su productividad. . . . .	211
9.17	Tarifa unitaria de la mano de obra portuaria. . . . .	211
9.18	Cánones previstos para cada uno de los años de la concesión, tanto los actuales como los propuestos. . . . .	212
9.19	Cánones por contenedor (TEU) de cada año de la concesión. . . . .	212
9.20	Demanda de contenedores prevista durante la concesión. . . . .	213
9.21	Clasificación de las variables y parámetros de los modelos considerados en el análisis de sensibilidad. . . . .	215

9.22	Valores de las elasticidades inferiores a 5 de $\alpha_1^*$ respecto a los parámetros considerados en la sensibilidad. . . . .	233
9.23	Elasticidades inferiores a 5 de $\gamma_1^*$ respecto a los parámetros considerados. . . . .	233
9.24	Valores de las elasticidades inferiores a 5 de $b_1^*$ obtenidos en el análisis de sensibilidad. . . . .	234
9.25	Elasticidades inferiores a 5 de $b_2^*$ procedentes del análisis de sensibilidad. . . . .	234
9.26	Elasticidades inferiores a 5 en el caso de $b_4^*$ . . . . .	235
9.27	Elasticidades inferiores a 5 de la elasticidad de la utilidad esperada del concesionario, $UE_c^a$ , respecto a los parámetros considerados en la sensibilidad. . . . .	235
9.28	Elasticidades de la utilidad esperada de la Autoridad Portuaria, $UE_p$ , obtenidas en el análisis de sensibilidad. . . . .	236
9.29	Elasticidades de la demanda media prevista en la terminal, $\hat{x}$ , respecto a los parámetros adoptados para la sensibilidad. . . . .	236
B.1	Cuenta de Pérdida y Ganancias del concesionario de la terminal prevista para cada uno de los años de la concesión. . . . .	273
B.2	Cuenta de Pérdida y Ganancias de la sociedad de estiba y desestiba prevista durante la concesión. . . . .	274
B.3	Cuenta de Pérdidas y Ganancias del concesionario de la terminal adoptando el canon y la tarifa de la estiba y desestiba definidos en la tesis. . . . .	274
B.4	Cuenta de Pérdida y Ganancias de la sociedad de estiba y desestiba con la nueva tarifa. . . . .	275

# Capítulo 1

## Introducción y objetivos

De las diversas componentes que constituyen la cadena logística del transporte de mercancías, los puertos son un punto neurálgico, especialmente en el ámbito del comercio internacional. Según cifras de la última publicación sobre previsiones de tráfico de Puertos del Estado (2004), en el 2001 el transporte marítimo de contenedores a nivel mundial movió 5.300 millones de toneladas, con un crecimiento anual acumulativo del 2 por ciento en los últimos años.

Esta relevancia se ha visto acentuada en las últimas décadas en paralelo a una importante transformación del sector portuario. Los importantes avances tecnológicos en el ámbito del transporte marítimo (traducidos esencialmente en un incremento tanto de la automatización de la manipulación de la carga como de la naturaleza intensiva en capital de los buques) y los cambios acaecidos en el entorno socio económico (un incremento sustancial del transporte marítimo alentado por el incremento de la globalización de los mercados), han generado un aumento de la demanda de los servicios portuarios.

Ello ha dado lugar a una creciente competitividad entre los puertos, que se ha proyectado en una sustancial necesidad de avance de la eficiencia y productividad de las operaciones portuarias y en cambios en el modelo de gestión de los puertos (mayor participación del sector privado, incremento de la autonomía de los órganos de decisión de los puertos y creciente desregulación).

En un ámbito más concreto, esta necesidad por el aprovechamiento más óptimo posible de la capacidad portuaria, junto con los cambios tecnológicos del sector marítimo, han permitido un aumento de la importancia de las terminales específicas (contenedores, graneles líquidos, etc.). La estrategia competitiva actual de los puertos tiene como gran puntal la productividad sus terminales, lo que explica la gran competitividad existente entre terminales del mismo tipo.

En este sentido adquieren especial relevancia las terminales de contenedores que, habida

cuenta del alto grado de automatización que tienen, permiten obtener importantes productividades. Según Puertos del Estado, este tipo de tráfico supone el 66% de la mercancía general movida en el transporte marítimo mundial para el 2004; en España, por su parte, fueron manipulados en este año 10 millones de TEU, lo que supone un incremento del 10% respecto al año anterior.

En muchos casos las terminales de contenedores están sometidas a una fuerte competencia, ya sea entre puertos y entre diversas terminales de un mismo puerto, alentada por la relativa facilidad de los navieros para cambiar de terminal y las crecientes productividades que estos últimos cada vez demandan más, especialmente a medida que las dimensiones de los buques portacontenedores son mayores en aras de aprovechar las economías de escala que éstos ofrecen.

## **1.1 Objetivos**

De las consideraciones anteriores se desprende la importancia de las terminales de contenedores tanto por el volumen de mercancía que suponen a nivel mundial y en el sistema portuario español como por su significativa aportación a la productividad de los puertos (entendida ésta como transferencia de mercancía del lado mar a tierra por unidad de tiempo y coste).

En situaciones de poca competencia entre terminales, debido al esquema de organización en que se suelen articular este tipo de servicios portuarios, el de la concesión, puede dar lugar a un cierto grado de posición dominante de mercado por parte del operador privado, que puede tener consecuencias en cuanto al nivel de tarifas y de productividad por una falta de estímulo constante por alcanzar la máxima eficiencia posible en las operaciones portuarias.

Una solución plausible sería la de incrementar la cantidad de operadores privados en un mismo puertos, sin embargo ello tiene como principal inconveniente no poder aprovechar las economías de escala que tienen las terminales de contenedores. Las reducciones que se lograrían de las tarifas surgidas por la competencia entre terminales se perderían por no poder aprovechar los menores costes unitarios que posibilitan las economías de escala.

Una solución que permita compatibilizar la ventaja de la producción por uno o pocos operadores (economías de escala) con el mantenimiento de tarifas a niveles parecidos a los de plena competencia entre terminales es mantener uno o pocos operadores y al propio tiempo regular por parte de la Autoridad Portuaria.

Habida cuenta tanto de esta problemática expuesta en la organización de las terminales como de la importancia de las mismas en la mayor parte de los puertos, la presente tesis se

va a centrar en la definición de los precios por los servicios portuarios en las terminales de contenedores concesionadas desde un enfoque concreto, a saber, incentivar a los operadores privados a actuar de un modo lo más eficiente posible tanto desde una perspectiva técnica como económica.

Objetivos concretos:

Este enfoque general de establecer incentivos a los concesionarios involucrados en las terminales de contenedores concesionadas se concreta en los siguientes puntos:

- Incentivar a los operadores privados a ser lo más eficientes posibles en las operaciones portuarias. Se trata de generar a los concesionarios un estímulo constante a través de los precios públicos, ya sean cánones y/o tarifas, para realizar las operaciones del modo más eficiente posible.
- Crear facilidades para que los concesionarios tengan un constante interés en incorporar, siempre que sea viable económica y técnicamente, todos los avances tecnológicos relativos a las operaciones de las terminales de contenedores.
- Incentivar a los concesionarios a aplicar unas tarifas a los clientes de las terminales competitivas y ajustadas a los costes reales de las operaciones.
- Establecer el porcentaje de inversión a cargo de las Autoridad Portuaria más adecuado para ésta.
- Determinar el plazo de concesión más óptimo para la Autoridad Portuaria.

## **1.2 Enfoque metodológico**

Con vistas a centrar la investigación de la presente tesis, el problema de partida consiste en una terminal de contenedores concesionada por la Autoridad Portuaria para un periodo de tiempo concreto a cambio de un canon anual.

El entorno geográfico y económico de la terminal es tal que el concesionario tiene poder de mercado hasta el punto que no tiene prácticamente ningún incentivo para situar sus tarifas por sus servicios a los niveles propios en caso de estar situado en un entorno de plena competencia. Al igual que sus esfuerzos por la productividad del conjunto de la terminal, que, si bien pueden ser aceptables, no estarán al mismo nivel que en caso de estar en una situación de competencia perfecta, puesto que la productividad es una variable esencial en la demanda de contenedores.

Asimismo, se supone que, como es habitual en muchos puertos, como los españoles, el servicio de la mano de obra portuaria para la estiba y desestiba es realizado por otro concesionario, que llamaremos la sociedad de estiba y desestiba (SED). Este operador pacta directamente con el concesionario de la terminal las tarifas por sus servicios. Al igual que este último agente, la SED actúa en régimen de monopolio, por lo que tendrá menos incentivos a incrementar sus productividades que en el caso de operar bajo la competencia perfecta.

Pues bien, el problema consiste en la formulación de un canon para el concesionario y una tarifa de la mano de obra portuaria tal que permitan incentivar: al concesionario para reducir sus tarifas a los clientes finales de la terminal e incrementar la productividad del conjunto de las instalaciones marítimas, e incentivar a la SED para mejorar sus productividades.

A tenor del planteamiento del problema, los trabajos realizados en la presente tesis se pueden estructurar en cuatro grandes fases:

- Análisis de los antecedentes.

En esta fase se trataría de analizar los aspectos fundamentales y previos de las terminales de contenedores y en un doble sentido. Por un lado, se describen las principales características de las terminales, tanto microeconómicas (pues influyen en el análisis de los mecanismos de incentivos de los agentes) como de organización. Y, por otro lado, se describe la situación de partida en cuanto tarificación y cánones, ya sea la que en la actualidad de aplica en la mayor parte de los puertos occidentales o ya sea las aportaciones científicas hasta el momento.

- Desarrollo de la modelización.

Con el problema de partida se modeliza las relaciones contractuales entre los principales agentes inscritos en las terminales de contenedores concesionadas, empleando para ello la Teoría del Principal y del Agente. Además de la definición de unos modelos se analiza la resolución de los mismos.

- Aplicación a un caso concreto.

Los modelos teóricos son aplicados y analizados empleando los datos de una terminal de contenedores concesionada. Ello incluye un análisis comparativo entre la formulación de canon y tarifas propuesta en la tesis con la existente en la actualidad.

- Conclusiones e investigaciones futuras

Con los resultados obtenidos de la modelización y de la aplicación a un caso concreto se definen las conclusiones de la investigación desarrollada.

Estas fases metodológicas se articulan en los siguientes capítulos de la presente tesis:

- En el segundo capítulo se realiza una sucinta descripción de los cambios acaecidos en la gestión de los puertos, tendentes hacia una creciente privatización de los servicios.
- El tercer capítulo se centra en la descripción de las principales características de las terminales de contenedores desde el punto de vista operacional, microeconómico y de organización. Permitirá servir de base de partida para la modelización de los costes e ingresos del concesionario de la terminal y la mano de obra portuaria.
- El cuarto capítulo, continuando con los trabajos inscritos en esa primera fase de la investigación, hay un análisis de la situación actual de la tarificación portuaria, incluyendo tanto las aportaciones científicas como la aplicación a la realidad portuaria.
- En el quinto capítulo, a efectos de enmarcar adecuadamente el problema de partida en el contexto de la Teoría del Principal y del Agente, se realiza un sucinta descripción de los aspectos básicos de esta teoría.
- A partir del sexto capítulo se recogen los trabajos de la investigación concernientes a la segunda fase de los trabajos. Concretamente se definen los elementos más relevantes de los modelos de principal y agente que se construirán, así como las hipótesis básicas de partida.
- En el séptimo y octavo capítulo se concretan las expresiones matemática de los modelos y se resuleven respectivamente.
- En el noventa capítulo se aplican los modelos de principal y agente a un caso concreto de la concesión de una terminal. Se incluye un análisis se los resultados y de sensibilidad de los modelos a los principales parámetros considerados.
- Y, finalmentem el último capítulo está destinado a la recopilación de las conclusiones de las investigaciones, a partir de lo cual se definirán las posibles líneas futuras de investigación posibles.

## Capítulo 2

# La privatización en los puertos

El objetivo del presente capítulo es la descripción del proceso de privatización y regulación que se ha ido produciendo en las últimas décadas en la mayoría de los puertos del mundo, especialmente en los países más desarrollados.

El capítulo se compone de cinco apartados. En el primero de ellos se hace una introducción general. En el segundo, se indican las diferentes formas de participación del capital privado en los puertos, mientras que en el tercero se detalla una de éstas, las concesiones. En el cuarto se describe el proceso de regulación en los puertos. Y, finalmente, el último apartado se desglosa brevemente cómo se han ido implementando normativamente esta regulación en Europa y en España.

### 2.1 Introducción

Tal como ya se ha apuntado sucintamente en el capítulo de introducción, en el sector portuario se han ido produciendo cambios tecnológicos importantes en las últimas décadas acompañados de un entorno de mayor competencia, dando lugar todo ello a redefinición del papel del sector público en la gestión portuaria. Tradicionalmente, en la mayoría de los países las Autoridades Portuarias eran los propietarios y explotadores de las instalaciones portuarias. Tal preeminencia del sector público quedaba argumentada, por un lado, por la posición estratégica de los puertos en el conjunto de la economía de un país y de su región de influencia y, por otro, por las características económicas de los servicios ofertados (economías de escala e inversiones iniciales importantes, fundamentalmente).

A pesar de esta presencia permanente del sector público en la gestión portuaria, no estaría

tan clara que sea la manera más eficiente de organizar esta industria. La cada vez mayor presencia de la iniciativa privada en la industria portuaria se ha debido, entre otros factores a: unas necesidades cada vez mayores de fondos de financiación de infraestructuras y los equipamientos; la necesidad de reducir déficits públicos; la idea de que la iniciativa privada está más capacitada para obtener mejores productividades por poseer una mayor capacidad de adaptación a las necesidades (Thompson y Budin, 1997); la contribución al crecimiento del comercio; y a la adquisición de experiencia en la gestión portuaria (Baird, 2002). De las experiencias internacionales se ha demostrado que la participación privada en la gestión portuaria ha permitido mejoras sustanciales en la eficiencia de las operaciones (Estache et al., 2002).

Por consiguiente se ha producido un cambio en la organización de la industria portuaria en el sentido de una coparticipación pública y privada, que permite a los puertos adaptarse a un entorno cada vez más competitivo y a una menor disponibilidad de fondos de financiación públicos.

Jeffrey (1994), tras analizar diferentes formas de coparticipación público-privada en los servicios portuarios, concluyó que, según varios factores, el rol del sector público puede ser muy diferente, esto es, desde la prestación directa del servicio hasta el suministro de la financiación o medio materiales para la prestación de las tareas por parte de un operador privado. Por consiguiente, no hay una nítida barrera en la prestación de los servicios portuarios de la participación pública y privada. Más concretamente, se pueden distinguir dos modalidades extremas de organización portuaria en el mundo, esto es:

- Modelo *landport*. El privado se hace cargo del máximo posible de las actividades inscritas en el ámbito portuario, siendo la Autoridad Portuaria el organismo propietario de todo el inmovilizado que alquila o concede al privado. Ejemplo de áreas donde se lleva a cabo son Europa, Estados Unidos y el Canadá.
- Modelo de gestión integral. La Autoridad Portuaria se encarga directamente de gestionar la totalidad de los servicios portuarios. Tiene lugar, por ejemplo, en algunos puertos africanos.

A pesar de todo ello, hay autores (Bennet, 1992) que sostienen que la privatización total no es la única manera que incrementar la eficiencia; hay otras vías que serían: la modernización de la administración y gestión portuaria por parte del sector público, la liberalización de los servicios portuarios, la comercialización y la corporativización (esto es, al Autoridad Portuaria adquiere el status de una empresa privada).

Son muchos los argumentos a favor de la continuidad de la participación pública tanto en la explotación como en la financiación de los servicios portuarios, muchos de los cuales están basados en las características del servicio portuario de monopolio natural o en los fallos del mercado, en temas ambientales o de seguridad, por ejemplo.

## **2.2 Diferentes formas de participación de capital privado**

Las formas en que el capital privado pueden entrar en la industria privada se pueden segmentar en dos grandes categorías:

- Privatización parcial: se trataría de un modelo portuaria landlord en que los servicios relativos a las operaciones portuarias serían privatizados, pero el puerto conservaría la propiedad sobre la infraestructura.
- Privatización absoluta: se produciría un traspaso total a la iniciativa privada de las competencias que hasta ahora tenía el sector público, incluyendo propiedad de la infraestructura, planeamiento, inversión y gestión.

El segundo de estos modelos es muy excepcional a nivel mundial, por lo que la descripción se centrará en el la privatización parcial.

En la determinación de la fórmula concreta de participación del capital privado en la provisión de los servicios portuarios hay diversas alternativas, la elección de las cuales dependerá del volumen de la actividad, de las circunstancias de partida y del tipo de servicio considerado. Las más significativas son:

- *Build, Operate and Own* (BOO). Consiste en transferir al sector privado partes de la industria portuaria para que sean provistas por este primero, incluyendo la propiedad. Es una modalidad que queda justificada ante necesidades financieras a corto plazo por parte de la Administración Pública.
- *Built / Rehabilitate, Operate and Transfer* (BOT o ROT). Introducir la iniciativa privada en el Puerto para construir o renovar la provisión de ciertos servicios. En este caso el sector público no pierde la propiedad de la infraestructura, y después de un período de tiempo determinado de explotación del servicio por parte de la iniciativa privada, las instalaciones son transferidas a la Autoridad Portuaria. Se trata del típico caso de las concesiones,

la fórmula más extendida en la actualidad de participación privada en las terminales de contenedores a nivel mundial.

- *Joint-ventures*. Consiste en una creación de una empresa fruto de la unión de varias firmas. Es una modalidad que suele ser habitual cuando las empresas que se unen tienen intereses comunes. Así, por ejemplo, una de las empresas puede aportar el *know-how* y la tecnología mientras que la otra el conocimiento del mercado. Por otro lado, las empresas constituyentes pueden ser tanto privadas como públicas, como pudiera ser el caso de algunas terminales de puertos asiáticos en que la sociedad explotadora está formada por la Autoridad Portuaria y una empresa privada.
- *Leasing*. En ciertas ocasiones las Autoridad Portuarias pueden alquilar los activos portuarios a una empresa de servicios portuarios para que los explote durante un período temporal concreto. A diferencia de las concesiones, el operador privado no ha de invertir en la infraestructura, tan solo asume el riesgo comercial.
- *Licensing* (autorizaciones). En este caso la Autoridad Portuaria permite al capital privado proveer el servicio portuario poniendo los equipamientos, que suelen ser relativamente baratos en comparación con el resto de las instalaciones portuarias. La infraestructura es realizada por el sector público a cambio de unos cánones, e incluso en algunos casos éste también puede suministrar en algunas situaciones parte de la superestructura. Compañías de estibadores, por ejemplo, pueden operar a través de esta modalidad.
- Contrato gestión. Una fórmula simple de introducir el sector privado en el puerto es a través de un contrato de gestión. En este caso la Autoridad Portuaria es la propietaria tanto de la infraestructura como de todos los equipos, quedando para la iniciativa privada las decisiones relacionadas con la gestión. Ello permite dar un enfoque más comercial a la explotación del servicio.

## 2.3 Las concesiones

En este apartado se realizará una descripción más detallada de este tipo particular de fórmula de participación privada en la gestión de los puertos dada la amplia utilización de ésta en la mayoría de los puertos europeos, especialmente en las terminales de contenedores.

Bajo este modelo de gestión de los puertos, de tipo *landport*, gran parte de los activos permanecen bajo la propiedad de la Autoridad Portuaria, esencialmente la infraestructura, transfiriendo a la iniciativa privada todo el riesgo operativo y financiero de la gestión portuaria. La

Administración actuaría más como un regulador y propietario del espacio portuario, en tanto que la responsabilidad de las operaciones portuarias recaería sobre la iniciativa privada. La fórmula más habitual de vincular jurídicamente el sector privado y el público con estos roles es mediante las concesiones (Izquierdo et al., 2004).

Más concretamente, la concesión es un contrato entre un operador privado y la Autoridad Portuaria en virtud del cual este segundo transfiere al primero los derechos de la explotación portuaria en cuestión, aunque mantiene la propiedad de la mayor parte de los activos, esencialmente la infraestructura y los terrenos. Usualmente el concesionario debe de afrontar la rehabilitación y la construcción. Esta fórmula permite al puerto mantener la propiedad al tiempo que la capacidad de supervisar las operaciones portuarias y las construcciones de las instalaciones, permitiendo todo ello a la Autoridad Portuaria salvaguardar los intereses públicos y dejar para el concesionario los riesgos operacionales, financieros y comerciales.

En la actualidad hay dos formas básicas de concesión en los puertos, esto es, los contratos de arrendamiento y los contratos de concesión.

Por lo que a los contratos de arrendamiento se refiere, el concesionario explota las instalaciones para un periodo largo y se responsabilizará de la superestructura y los equipos, quedando para la Autoridad Portuaria la propiedad de la infraestructura.

Ahora bien, cada vez más muchos Gobiernos, por cuestiones de estabilidad presupuestaria, tienden a disminuir su implicación financiera en las inversiones portuarias y potenciar, por ende, la participación privada en las infraestructuras básicas como, por ejemplo, los muelles. Ello supone sobretodo un incremento del riesgo financiero por parte del concesionario. En este contexto, las modalidades contractuales de arrendamiento resultan insuficientes para cubrir esto último. Y de ahí el desarrollo de los contratos de concesión.

El objetivo prioritario del contrato de concesión es transferir el coste de inversión del sector público al privado. El concesionario está obligado a la construcción y posterior explotación de la infraestructura durante unos años preestablecidos.

Para el sector portuario los contratos de concesión aportan los siguientes aspectos:

- Mejoras en la eficiencia de la gestión (especialmente en las operaciones) debido a la presencia de la iniciativa privada.
- Implicación de la iniciativa privada a proyectos social y económicamente rentables, posibilitando a los Gobiernos invertir más recursos en otros.
- Bajo ciertas circunstancias, puede suponer la generación de ingresos adicionales para los

Gobiernos.

- Transferencia del riesgo constructivo (o parte de él), financiero y operativo al sector privado.

Por el contrario, entre las desventajas sobresalen las siguientes:

- La necesidad por parte del Gobierno de regular y controlar la actividad del concesionario.
- El sistema funciona bien siempre que el sistema legal permita la transferencia de los derechos del suelo público al concesionario (como es el caso español).
- Las ganancias supuestas por el concesionario al principio no se suelen basar en suposiciones financieras realistas, introduciendo un riesgo constante durante todo el período concesión.
- Peligro de que el concesionario no mantenga los equipos en las condiciones adecuadas durante la concesión, devolviéndolos a la Autoridad Portuaria en malas condiciones.
- Riesgo de que el concesionario y la Autoridad Portuaria discrepen sobre las necesidades operativas y viabilidad de inversiones críticas.

Usualmente un contrato de concesión suele hacer referencia esencialmente a los aspectos indicados a continuación:

- Espacio portuario, superestructura y equipos (por ejemplo, los medios de carga y descarga en el muelle) que forman parte de la concesión.
- Los requerimientos funcionales del puerto y/o terminal, el diseño de la terminal y la programación de los trabajos constructivos.
- Derechos y obligaciones de la Autoridad Portuaria y del concesionario respecto a la construcción.
- Recursos humanos empleados.
- Actividades permitidas en la concesión.
- Pagos de los cánones, tarifas y otros ingresos.
- Plazo de la concesión.

- Retorno de la infraestructura, superestructura y equipos al finalizar el periodo de la concesión.

Respecto al plazo de la concesión, no hay una unanimidad sobre el período más adecuado. Por un lado, un mayor espacio temporal incentiva al operador a realizar inversiones más importantes, sin embargo tiene el inconveniente de incrementar la incertidumbre por parte de la Autoridad Portuaria sobre las condiciones de la demanda y costes del concesionario. Por consiguiente, existe un *trade-off* entre inversión y disponibilidad de información para regular. Otro factor a tener en cuenta en la definición del plazo de la concesión es la necesidad de recuperación de las inversiones realizadas por el privado. En la tabla 2.1 se adjuntan los períodos de algunos puertos.

Puerto	Plazo la concesión, en años
Mar de Plata (Argentina)	15
Manzanillo (Panamá)	20
Karachi (Paquistán)	20
Le Havre (Francia)	50
Kelang-Westport (Malasia)	30
Manila-Puerto Sur (Filipinas)	15
Santos (Brasil)	25
Maputo (Mozambique)	15

Tabla 2.1: Plazos de concesiones de algunos puertos del mundo.

## 2.4 La regulación del sector portuario

Tal como se ha indicado en el primer apartado, cuando la competencia entre puertos o entre terminales de un mismo puerto por un mismo tráfico es muy reducida o inexistente, las Autoridades Portuarias y/o las terminales públicas o privadas pueden hacer uso de su posición de poder de mercado para subir tarifas. Y de ahí la necesidad de regular el sector.

Los objetivos de la regulación son asegurar la competencia entre los diversos operadores del puerto; controlar los monopolios (incluidos los públicos) tanto los existentes como los potenciales; y evitar prácticas anticompetitivas.

La regulación, a título general, hace referencia a la intervención pública en el funcionamiento de los mercados en el sentido de controlar o marcar las tarifas, beneficios o ingresos; controlar la entrada o salida del mercado; y controlar que las prácticas del sector se ajusten a la libre competencia.

En los mercados en que la competencia efectiva puede ser establecida y mantenida, la privatización es un potente instrumento para motivar la reducción de costes y mejora de la calidad del servicio. Cuando esta competencia no se puede desarrollar plenamente, los beneficios de la misma quedan muy mermados.

A grandes rasgos, los escenarios en los que puede darse competencia en el sector portuario son:

- Competencia entre puertos. Cuando dos o más puertos o sus terminales compiten por capturar los mismos tráficos marítimos.
- Competencia en el puerto. Hace referencia a las situaciones en que dos o más operadores de terminales de un mismo puerto están luchando por el mismo mercado. En estos casos estos operadores tienen el control de toda la terminal, desde el muelle hasta la recepción y entrega en tierra. La competencia se produce entre terminales.
- Competencia en la terminal. Cuando las empresas compiten entre sí para dar el mismo servicio en una misma terminal. Por ejemplo, las compañías estibadoras en los países donde este servicio está completamente liberalizado.

Hay una serie de factores que pueden considerarse indicativos de la existencia de poca competencia, esto es:

- 1 Opciones en la cadena de transporte. Se trata de las opciones de un naviero o de un consignatario para transportar las mercancías, cada una de las cuales no sólo se basan en la existencia física de diversas vías por las que realizar el transporte, sino también en que los costes de transporte por cada una de éstas sean equiparables.
- 2 Operativa. Se pueden considerar una serie de indicadores de la operativa del transporte de las mercancías para determinar el grado en que la oferta portuaria es la adecuada para cubrir las necesidades de la demanda. Así, a título de ejemplo, una situación permanente saturación de la zona de almacenamiento de una terminal de contenedores pueden ser indicativo del ejercicio de prácticas monopolísticas por parte de la ésta. A la práctica los indicadores que suelen utilizarse son el grado de ocupación de los muelles y el tiempo de espera del buque en el atraque.
- 3 Relación entre tarifas portuarias. Cuando hay tarifas altas injustificadas de los servicios portuarios suele ser síntoma de abuso de la posición de mercado.

4 Financiación. Relacionado con lo anterior, en situaciones de beneficios extraordinarios pueden ser por falta de competencia, pues cualquier agente con posición monopolística tiene tendencia a poner tarifas por encima de sus costes marginales y medios.

La no introducción de las medidas regulatorias necesarias para corregir las situaciones de abuso de posición dominante de mercado o monopolio puede suponer un coste muy alto en términos de ineficiencia y tarifas muy altas por los servicios portuarios, lo que a su vez puede suponer una merma en la competitividad de la economía en los mercados internacionales.

Las prácticas anticompetitivas que suelen darse son:

- Tarifas por los servicios portuarios excesivas.
- Extender el poder monopolístico de un área del puerto a otra potencial. Por ejemplo, que el servicio de asistencia de los remolcadores sea suministrado por el operador de una terminal hace incrementar la posición monopolística de éste en la manipulación de la mercancía.
- Incremento de las barreras de entrada. Esto supone aumentar la cuota de mercado captada necesaria para poder operar con economías de escala o simplemente no dejar a entrar a otros competidores debido a las inversiones iniciales necesarias.
- Incrementando el coste del servicio al competidor lo desplaza a una posición de desventaja competitiva.
- Tratos exclusivos. Lograr que los proveedores sólo suministren a un operador y no al resto de los potenciales competidores. Por ejemplo, restringir a una empresa de remolcadores a dar servicio tan solo a una terminal en concreto.
- Precios por debajo del coste. Ofrecer los servicios a unos precios por debajo del coste para forzar la salida de los competidores y disuadir a futuros competidores de no entrar en el mercado. Por ejemplo, las tarifas por la manipulación de contenedores por debajo del coste marginal a largo plazo o el no cobrar por la estancia de contenedores en la campa (coste de oportunidad).
- Discriminación de precios. Una discriminación de precios selectiva llevada a cabo por un operador con una cuota de mercado significativa puede dar lugar a la salida de competidores o a la reducción de la cuota de mercado de estos últimos.

En aras de evitar tales prácticas reductoras de competencia se pueden articular una serie de medidas que, a grandes rasgos, pueden ser segmentadas en dos grandes grupos, esto es, las

estructurales y las de regulación. Las primeras pretenden fomentar la competencia a partir de incrementar el número de competidores, en tanto que las segundas tiene por objetivo mejorar la eficiencia a partir de corregir las imperfecciones del mercado. En la figura 2.1 se recogen las prácticas asociadas a cada tipo de estrategia.

Para establecer competencia en los servicios portuarios son necesario tres pasos: 1) caracterización de la estructura del sector; 2) implementación de la reestructuración en los servicios afectados en cuestión, creando oportunidades para la competencia; y 3) en caso de de la competencia esté limitada debido a que, por la naturaleza de la actividad, haya una concentración empresarial, se articulará la regulación para corregir los fallos del mercado.

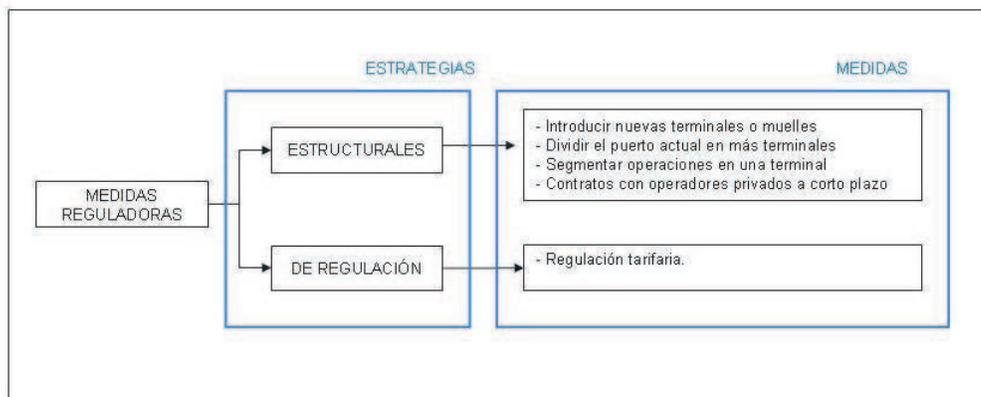


Figura 2.1: Estrategias reguladoras para hacer frente a situaciones de falta de competencia.

La experiencia sugiere que la mayoría de los beneficios derivados de la participación del sector privado en la gestión portuaria surge de la presión de la competencia, más que la presencia del operador privado per se. A medida que la presión de la competencia es más fuerte estimula a la eficiencia por parte de los operadores privados y una menor regulación es necesaria.

En muchas situaciones en la reestructuración de los servicios portuarios suelen darse *trade-offs*. Así, cuando se producen economías de aglomeración en un servicio determinado (por ejemplo, la manipulación de contenedores), es más económico para un puerto determinado que éste sea realizado por dos o más operadores trabajando conjuntamente que por separado. Otra situación en la que no es eficiente reestructurar el sector es cuando un único operador privado puede beneficiarse de las economías de escala, lo cual no podría darse en el caso de introducirse más competidores en el sector. En todas estas circunstancias indicadas hay que valorar si los beneficios derivados de la introducción de más competidores en el sector y lo que le conlleva compensa la pérdida de los beneficios de las economías de escala y las de aglomeración.

Típicamente el sector privado ha preferido entrar en la competencia entre puertos o intra-

ports que en la generada entre las terminales. Los competidores entre puertos tienen un espectro más amplio de estrategias de precios para captar demanda que si la competencia se produce a un nivel más bajo, entre terminales.

Des de la óptica de la eficiencia, un único operador en una terminal es preferible pues éste tiene el control de todas las operaciones, desde el muelle hasta la zona de recepción y entrega situada del lado de tierra. Adicionalmente, habida cuenta de que el operador puede generar más ingresos, el nivel de inversión puede ser mayor, siempre y cuando esto vaya parejo a un periodo concesional adecuado para recuperar la inversión.

#### **2.4.1 El proceso de regulación en Europa**

Europa no ha sido ajena a la regulación de las actividades portuarias que ha tenido lugar en gran parte de los puertos del mundo.

Tradicionalmente dado el papel estratégico de los puertos, éstos siempre han estado bajo el dominio de los Estados, con un grado de autonomía y un régimen legal distinto para cada uno de los países europeos. La Unión Europea en los últimos años ha llevado a cabo un proceso de homogeneización de las diversas regulaciones de sus países miembros, aunque con escasos resultados.

A pesar de la importancia de los puertos en la economía de los Estados miembros de la Unión Económica, la regulación portuaria no fue incluida en el Tratado de Roma. Existieron varias iniciativas para incluir los puertos en la política común de transportes, aunque no fueron eficientes debido a los diferentes puntos de vista de los Estados miembros sobre el papel económico que debían de desarrollar los puertos.

En base a una serie de estudios, la Comisión de la Unión Europea redactó un documento en el 1992 donde se indicaban los cambios más significativos en la política común de transportes identificando la necesidad de concebir un sistema de transporte a nivel europeo y estableciendo los elementos básicos de las llamadas redes transeuropeas. En el mismo documento se indicaba la necesidad de que el transporte marítimo de cabotaje se potenciará con vistas a aliviar la congestión del transporte por carretera y contribuir así a una movilidad más sostenible.

Otro de los documentos donde se indicaba la necesidad de una política portuaria cuando se llevara a cabo un mercado europeo completamente unificado fue formulado por el Parlamento europeo en el 1993.

El interés y el esfuerzo de la Unión Europea para establecer las redes europeas quedó

reflejado en el Tratado de Maastrich (1992), aunque el planeamiento de las infraestructuras es todavía competencia de los distintos Estados miembros. En el mismo año la Comisión Europea indicó la necesidad de incluir los puertos en estas redes transeuropeas.

En el 1994 la Comisión aprobó una propuesta para establecer las directrices para desarrollar las redes transeuropeas. Resultado de ello fue la creación de un grupo de expertos en el seno de la Oficina General del Transporte Marítimo de la Comisión con el objetivo de redactar estas directrices para el ámbito marítimo e identificar los puertos integrantes de la red transeuropea. Finalmente, de concluyó que no era conveniente identificar estos puertos habida cuenta de las distorsiones que ello podra generar en la competencia actual entre éstos.

En 1997 la Comisión de la Unión Europea presentó el Libro Verde de los Puertos y las Infraestructuras Marítimas, en un contexto de debate sobre la eficiencia, la aplicación de reglas para estimular la competencia y la necesidad de integrar los puertos en la cadena multimodal. El Libro verde concluye que la regulación a nivel europeo debe de ser desarrollada con miras a lograr una liberalización sistemática de los servicios en los principales puertos con tráficos internacionales. El debate que siguió al libre verde gravitó entorno tres aspectos: incluir los puertos en las redes transeuropeas, la desregulación de los servicios portuarios y la financiación pública de los puertos y de la infraestructura portuaria. Todo ello se proyectó en una propuesta de Directiva sobre el acceso al mercado de los servicios portuarios, que finalmente fue aprobada en mayo del 2003 por el Parlamento europeo.

Esta Directiva sobre el acceso al mercado de los servicios portuarios es aplicable a todos aquellos puertos con un volumen de tráfico marítimo superior a 1,5 millones de toneladas o 200.000 pasajeros anuales. Se autoriza a la liberación de los servicios portuarios a excepción del pilotaje.

La posición de los diferentes Estados miembros sobre el papel de los puertos en la Unión Europea siempre ha dependido de la importancia de los puertos en sus respectivos sistemas de transporte. Tanto los Estados miembros como los puertos más importantes tradicionalmente se han opuesto a la creación de una política portuaria común por entenderla como una pérdida o reducción de su autonomía. Ahora bien, las reacciones a la citada Directiva fueron dispares: mientras algunos países se opusieron, como Suecia y el Reino Unido, la mayoría le dieron apoyo, como España.

Así, a título de síntesis, a pesar de los esfuerzos realizados hasta el momento por las instituciones europeas, el proceso de integración justo acaba de iniciarse para los puertos europeos. Esta dificultad en el proceso es un reflejo de la variedad de objetivos de las políticas, de las

estructuras financieras y de los modos de propiedad que permanecen en los puertos de la Unión Europea. Así, algunos países siguen una política en la que todos los costes son trasladados al consumidor (visión anglosajona), mientras que otros intentan compatibilizar todos los beneficios y costes asociados a la región de influencia del puerto (visión continental). En este último caso, el objetivo de generación de empleo es considerado de vital importancia. Ello tiene implicaciones fundamentales en la financiación de los puertos, incluyendo precios y subvenciones.

#### **2.4.2 El proceso de regulación en España**

Los puertos españoles están sometidos a una estricta regulación de las condiciones básicas en las que los agentes económicos pueden prestar los servicios portuarios. Esta regulación parte de Ley 27/1992 sobre los Puertos del Estado y la Marina mercante, la cual fue modificada por la Ley 62/1997. La que actualmente está en vigor es la Ley 48/2003 de Régimen económico y de prestación de servicios en los puertos de interés general. Estas leyes han supuesto un cambio importante respecto a las normas que imperaban antes del 1992 en la prestación de servicios portuarios. Esencialmente ha supuesto un incremento de la autonomía de los puertos y un impulso a la gestión comercial de los puertos.

En el sistema portuario español hay que diferenciar a dos tipos de puertos: los de interés general, propiedad del Estado, y de los que no lo son (pesqueros y/o deportivos), propiedad de las Comunidades Autónomas. Los primeros son aquellos involucrados en el comercio marítimo internacional y cuya zona de influencia abarca más de una Comunidad Autónoma.

En las citadas leyes se definió un modelo de gestión y organización de los puertos de interés general. Así, a la Autoridad Portuaria le confiere la responsabilidad de la organización y gestión del puerto y para ello se la dota de autonomía para gestionar su presupuesto, aunque deberá de coordinarse y someterse al control del Ente Público de Puertos del Estado (EPPE).

EPPE recoge recursos de todo el sistema de puertos y forma un fondo de compensación para inversiones, de este modo se reducen las necesidades de subvenciones o de fondo del resto del presupuesto del Estado. Así, con los ingresos percibidos por las Autoridades Portuarias se debe de lograr tanto el equilibrio económico y financiero de todo el sistema portuario como el de cada puerto en concreto.

La gestión llevada a cabo por las Autoridades Portuarias debe de obedecer a criterios de eficiencia, economía, productividad y seguridad. Deben de garantizar que en los puertos den una serie de servicios, los cuales pueden ser suministrados por las Autoridades directamente o por un operador privado a través de una concesión u otra fórmula contractual.

Los servicios de manipulación de la carga tienen una regulación específica, el Real Decreto 2/86. En éste se indica que se trata de un servicio público bajo la responsabilidad del Estado. El Estado es propietario de la Sociedad Estatal de la Estiba y la Desestiba (SEED) en la cual están presentes los puertos de interés general. En el decreto se permite el acceso a las empresas a las actividades portuarias de carga y descarga mediante contratos administrativos. Todas las firmas que ofrecen este servicio deben de participar en el capital social de la SEED, aunque más del cincuenta por ciento de éste es del Estado, a efectos de mantener el control de la sociedad. Asimismo, las diferentes Autoridades Portuarias deben de fijar los máximos precios que deben de cobrar las empresas de estiba y desestiba por los servicios de carga y descarga.

En definitiva, el sistema portuario español se sustenta en un esquema que permite combinar propiedad pública de las infraestructuras portuarias (como las obras de abrigo) con la propiedad privada de la superestructura (por ejemplo, los equipos de manipulación). La Autoridad Portuaria es quien determina las condiciones bajo del cuales la iniciativa privada debe de operar, fijando precios máximos, plazos y características de las concesiones, por ejemplo.

Los puertos pequeños son más vulnerables a las prácticas limitadoras de la competencia debido al limitado volumen de tráfico portuario.

## Capítulo 3

# Las terminales de contenedores. Características de operación y de organización

Una vez descrito el proceso de privatización y regulación que se ha ido produciendo en el ámbito de la gestión portuaria en general, se trata en este capítulo se centrarse en una parte particular de la industria portuaria, el referente a las terminales de contenedores. Más concretamente, el presente capítulo tiene como objetivo la descripción de las terminales de contenedores desde la vertiente funcional, económica y organizativa. Se trata de tres enfoques indisolubles habida cuenta de la importante incidencia de la estructura organizativa y la funcionalidad en la estructura de costes de las mismas.

El capítulo se compone de seis apartados. En el primero de ellos se describen sucintamente los principales agentes involucrados en las operaciones de las terminales de contenedores. En el segundo, se realiza una breve introducción a las terminales de contenedores, incluyendo los diferentes subsistemas en que ésta se puede segmentar. En el tercer apartado, se indican las principales particularidades microeconómicas de las terminales de contenedores. En los dos siguientes epígrafes se analiza el creciente proceso de participación de la iniciativa privada y de regulación. Y el último apartado es destinado a la descripción sucinta de los riesgos inherentes a este tipo de negocio.

### 3.1 Agentes involucrados en las terminales concesionadas

En el transporte marítimo hay una importante cantidad de agentes involucrados. En este apartado se indicarán los más significativos que confluyen en menor o mayor grado en una terminal de contenedores. Aunque la descripción se centre en el caso español, es extensible en la mayoría de los países occidentales, siempre con algunas reservas.

Los agentes se pueden escindir en dos categorías: los públicos y los privados.

En cuanto a los públicos, se pueden distinguir esencialmente los siguientes:

- *Autoridad Portuaria*. Organismo Público encargado de la planificación, ordenación y gestión de la zona de servicio de un puerto.
- *Organismos de inspección física*. Organismos que ejercen el derecho a la inspección de las mercancías que viajan a bordo.
- *Aduana*. Dependiente del Gobierno, tiene como objetivo la autorización de las importaciones y de las exportaciones, así como los tránsitos de las mercancías.

Por lo que a los agentes privados por la vía marítima atañe, hay que indicar:

- *Armador*. Es el que habilita o fleta y arma el buque para destinarlo al comercio o a la pesca, dotándolo de los aparejos y equipos adecuados.
- *Naviero*. Es el titular de la empresa de transporte marítimo, aunque también puede ser propietario del barco.
- *Operador de línea (o fletante)*. Es aquel que adquiere ante otros la responsabilidad de transportar la carga.
- *Agente consignatario del buque*. Dado que el naviero, por razones económicas, no puede tener oficinas en todos los puertos a los que llega el barco, aparece la figura de un agente que se dedica a representar el naviero en donde se precise la presencia de éste, como Autoridad Portuaria, aduana, etc.

Por lo que respecta a los agentes privados del lado terrestre, se tiene:

- *Empresa estibadora*. En España, en las terminales especializadas, como las de contenedores, la operación portuaria la realiza una empresa, en régimen de concesión por parte de

la Autoridad Portuaria. A esta empresa se la conoce como empresa estibadora u operadora de la terminal. Se encarga de todas las operaciones inscritas en la terminal.

- *Agente de aduanas.* Es un agente privado, con actuación regulada por la Administración. Tiene la función de actuar ante la Aduana en nombre de los titulares de la mercancía.
- *Transitario.* Organizador de los transportes internacionales y para ello actúa siempre en nombre propio, como transportista frente al cargador y como cargador frente a los transportistas.

### 3.2 Principales aspectos operacionales

Una terminal portuaria en general se puede definir como un intercambiador modal con nivel de almacenamiento en tierra para coordinar los diferentes ritmos de llegadas y de salida del transporte terrestres y del marítimo (Monfort et al, 2001). Mientras que una terminal de contenedores en particular se caracteriza además por la estandarización tanto de la carga transportada (TEU) como de la forma de manipular ésta, ser necesarios unos elevados niveles de intercambios y existir una gran repercusión de la tecnología en el rendimiento de la terminal. Todo ello confiere a este tipo de terminales unas ingentes productividades.

Desde el punto de vista operacional, las terminales de contenedores se puede descomponer en cuatro subsistemas, carga y descarga del buque, el almacenamiento de contenedores, la recepción y entrega terrestres y la interconexión interna. Un esquema de ello puede apreciarse en la figura 3.1.

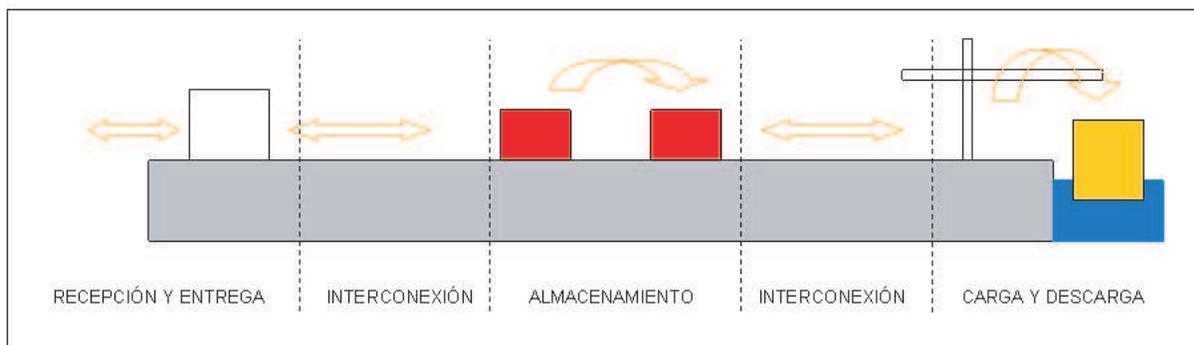


Figura 3.1: Subsistemas en que puede segmentarse la terminal desde el punto de vista funcional

En los siguientes cuatro apartados se realizará un descripción de cada uno de estos subsistemas desde la óptica estrictamente operativa.

### **3.2.1 Subsistema de la carga y descarga**

La función de este subsistema es actuar de interfaz entre el lado marítimo y el de tierra, concretamente en la carga y descarga de contenedores del buque. Se caracteriza por el protagonismo del buque. Así, tanto el ritmo de llegadas de los portacontenedores como la eslora de los mismos ejercen una importante influencia en la productividad del conjunto de la terminal (Saurí et al., 2002).

Esto último conlleva dos problemas fundamentales para las terminales de contenedores derivados de las particularidades del buque. En efecto:

Cada vez con mayor intensidad, dada la constante necesidad de reducir costes en el transporte marítimo de contenedores surgida por la fuerte competencia existente en el sector, los buques portacontenedores son de mayores dimensiones para poder aprovechar al máximo las economías de escala que tienen (en la actualidad se están construyendo buques mayores de 8.000 TEU y las previsiones son alcanzar los 15.000 TEU). Ello, a efectos de la funcionalidad de la terminal, introduce una serie de dificultades que se pueden concretar en los siguientes puntos:

- La adaptación de la infraestructura a los requerimientos de los nuevos buques, esencialmente en el calado y la capacidad resistente del muelle.
- Medios de carga y descarga de los contenedores que no permitan alcanzarse las productividades necesarias. Por ejemplo, que el alcance de las grúas sean inferiores a la manga de los nuevos buques.
- Rendimientos en la escala de los buques en el puerto. A medida que los buques tienen mayores dimensiones, la estancia de éstos en el puerto aumenta, incrementándose así los costes del buque en el puerto. Ello exige mayores rendimientos de la carga y descarga.
- Exigencia de las navieras para la reducción de las estadías.

Por otro lado, el protagonismo del buque en la carga y descarga implica también la presencia de los navieros, consignatarios y armadores, caracterizados cada vez más por una menor cautividad, lo que limita el poder de mercado de las terminales.

Todo lo anterior lleva a la necesidad de realizar la carga y descarga de los contenedores con la mayor rapidez y seguridad posibles.

Los factores que van a influir en la eficiencia de la carga y descarga son los recogidos en la tabla 3.2.1.

Ámbito	Factores
Buque	Tipo de tráfico de la terminal (muchos o pocos clientes)
Mercancía	Grado de estandarización
Infraestructura	Longitud y calado del muelle
Información	Sistemas de comunicación con el resto de la terminal
	Exactitud de la información facilitada por el consignatario
Equipos	Tamaño, velocidad y resistencia de las grúas
	Grado de automatización de las grúas
	Número de operaciones necesarias para operar la grúa
	Tipo de carro utilizado en las grúas
Recursos humanos	Nivel de capacitación de los recursos humanos implicados

Tabla 3.1: Principales factores que influyen en la eficiencia de la carga y descarga de contenedores. Fuente: Monfort et al (2001).

### 3.2.2 Subsistema de almacenamiento de los contenedores

Se trata de un subsistema situado entre la carga y descarga de contenedores y la entrega y recepción terrestres. Su función principal es la regulación entre el modo terrestre y el marítimo derivado de los diferentes ritmos de llegadas y entradas de ambos medios de transporte, por un lado, y de capacidades, de otro.

La definición y explotación del almacenamiento tiene un alto grado de gestión interna en el sentido que la participación de los agentes externos es escasa.

La gestión de esta zona es un factor crítico para el funcionamiento adecuado de la terminal, especialmente en los lugares donde la disponibilidad de suelo portuario es muy limitada.

Relacionado con ello conviene destacar la estancia de los contenedores en la terminal. La participación del operador privado se realiza a través de la política de los precios de almacenamiento, aunque la duración de la estancia vendrá dada fundamentalmente por los intereses de los receptores y los cargadores y por la oferta de transporte terrestre. Aumentos de los tiempos de estancia de los contenedores conllevan reducciones de la productividad de las operaciones y de la capacidad de la terminal.

Este subsistema está integrado fundamentalmente por diversos elementos, esto es, sistema de manipulación de los patios, las zonas complementarias (zonas destinadas a los contenedores refrigerados, a las mercancías peligrosas y a la inspección por parte de organismos públicos) y almacenes y otras edificaciones (oficinas de la terminal, taller y almacén de consolidación, fundamentalmente).

De estas componentes la que tiene mayor influencia en el conjunto de la terminal y del almacenamiento es el sistema de manipulación del patio, pues es el que condiciona en gran medida la cantidad de superficie necesaria por la terminal y el grado de automatización de uno de los procesos fundamentales de la terminal, el del apilamiento de los contenedores.

En la tabla 3.2 se recoge una comparativa entre los diferentes medios de manipulación en el sistema de almacenamiento de contenedores de aquellos aspectos más relacionados con los costes y la eficiencia técnica. No en vano conviene destacar dos cuestiones:

- Los diferentes rendimientos obtenidos de la superficie de cada uno de ellos, lo que determinará las necesidades de zona portuaria de la terminal.
- Las disparidades en cuanto a costes y automatización (lo que facilita incrementos de productividad) son altas entre los sistemas.

Características	Sistemas			
	<i>Trailer</i>	<i>Carretilla</i>	<i>Straddle-carrier</i>	<i>RTG o RMG</i>
Rendimiento por superficie	Muy bajo	Bajo	Alto	Muy alto
Requerimientos pavimentación	Muy bajo	Madios/Altos	Medios	Altos
Coste del equipo	Alto	Medio	Medio	Alto
Coste mantenimiento	Bajo	Medio	Alto	Bajo
Posibilidad de automatización	Muy baja	Media	Media	Alta/Muy alta
Coste de personal	Medio	Medio	Bajo	Medio/Alto
Capacitación necesaria	Baja	Media	Alta	Media/Alta
Seguridad de contenedores	Alta	Baja	Baja	Media
Flexibilidad de operaciones	Alta	Alta	Alta	Media/Baja
Posibilidad de ampliación	Alta	Alta	Alta	Media/Baja

Tabla 3.2: Comparativa de los sistemas de manipulación en el subsistema de almacenaje. RTG es *Rubber Tyred Gantry-crane* y RMG es *Rail Mounted Gantry-crane*. Fuente: Monfort et al. (2001).

Exceptuando el caso de las plataformas, el resto de los equipos dan lugar a que los contenedores se dispongan en pilas agrupadas en bloques y calles ocupando un porcentaje muy significativo de la terminal. La configuración de estas disposiciones dependerá en última instancia de los equipos de manipulación y de los tráfico a servir.

La eficiencia de este subsistema viene marcada por la productividad tanto de los movimientos externos (los relativos a la interconexión con los otros subsistemas de la terminal) como los internos (los que mantienen el contenedor en el mismo subsistema) y en el uso de los menores recursos posibles. En este sentido, uno de los aspectos esenciales es evitar al máximo las remociones (los movimientos adicionales innecesarios). En definitiva, en este subsistema se persigue que los contenedores estén almacenados ocupando el menor espacio posible compatible con una operativa eficiente de carga y descarga y de recepción y entrega.

### 3.2.3 Subsistema de recepción y entrega de los contenedores terrestres

La función principal de este subsistema es la entrega y recepción de los contenedores procedentes o con destino al modo terrestre, bien sea por ferrocarril o por camión, de la forma más rápida posible.

El modo por carretera se caracteriza por estar altamente atomizado, por una hora punta de demanda muy particulares y por unos requerimientos muy variables, todo lo cual conlleva a unos importantes condicionantes, que, en algunos casos, da lugar que los ritmos de trabajo de las terminales se adapten a las necesidades de los camiones.

El ferrocarril, por su parte, se caracteriza por permitir concentrar la actividad en los momentos que mejor convenga a la terminal, unas operaciones más regulares y repetitivas, lo que redundará en unos niveles de rendimiento elevados, y lograr más eficacia en los intercambios documentales. A pesar de estas ventajas, el total del tráfico de una terminal movido por ferrocarril suele representar una fracción pequeña.

Los elementos que mayor influencia tienen en este subsistema son: los tipos de tráfico de la terminal (predominio de trasbordo o comercio exterior); el número de puertos de los accesos; el sistema de obtención e intercambio de información; e inspección física y control de recinto de contenedores.

Por lo que al tipo de tráfico concierne, éste puede ser de dos tipos, esto es:

- Tráfico de contenedores completos, llenos o vacíos (*Full Container Load*).
- Tráficos que entrega o recibe mercancías sin contenerizar, ya sea para su agrupación con otras u obtenidas de la desagrupación de los contenedores de la terminal, operaciones llevadas a cabo en un almacén de consolidación y fragmentación de carga (*Container Freight Station*).

Las operaciones que se realizan en los puertos son:

- Comprobaciones documentales, lectura de la matrícula del contenedor y alta o baja en el sistema de la terminal con los datos obtenidos de la operación.
- Comprobaciones de los estados de los precintos de los contenedores.
- Comprobación del estado del contenedor.

Este subsistema puede resultar un punto delicado en la operativa del conjunto de la terminal de mayores dimensiones y en las que el transbordo de contenedores no sea significativo, pues se produce una gran cantidad de movimientos terrestres en la puerta. Y es que, mientras que en la parte del buque se mueven grandes volúmenes de mercancías e información de un modo concentrado, en la parte terrestre hay muchos clientes y con escaso volumen de carga cada uno de ellos.

Los colectivos involucrados directamente son los agentes de transporte terrestre y los *depots* de contenedores que entregan/reciben contenedores vacíos desde/hasta su almacenamiento fuera del recinto de la terminal. Indirectamente otros agentes implicados son los consignatarios, los transitarios, los cargadores y los receptores. El conjunto de todos ellos constituye un colectivo heterogéneo tanto en sus dimensiones como en sus desarrollos tecnológicos, lo que genera disfuncionalidades en este subsistema.

### 3.2.4 Subsistema de interconexión

Se trata del subsistema que permite el intercambio de contenedores entre el resto de los subsistemas.

Si el sistema de almacenamiento son las plataformas, las carretillas elevadoras o los *straddle carriers*, estos mismos equipos de manipulación sirven como medios de interconexión. Por otro lado, si en el almacenamiento los equipos son el *Rubber Tyred Gantry-crane* (RTG) o *OverHead Bridge Crane* (OHBC), necesariamente la interconexión debe de ser por medio de plataformas de camión.

Asimismo, es posible otro equipo de interconexión, el *Automatic Guided Vehicles* (AGV), de una elevada tecnología y que permite obtener grandes niveles de automatización. Se trata de un sistema de transporte de contenedores que permite la automatización del tráfico de contenedores entre el muelle y la pila de almacenamiento, por lo que no requiere de conductor. Por tanto,

posibilita una reducción de los costes de la mano de obra, aunque queda contrarrestado con el aumento de la inversión necesaria.

Concretamente entre la carga y descarga de los contenedores y el patio la interconexión suele hacerse mediante vehículos automáticos, camiones o *Straddle Carriers*, mientras que la conexión entre el apilado y la zona de recepción y entrega los vehículos utilizados pueden ser los camiones externos a la terminal, *Straddle Carriers* o maquinaria auxiliar.

Por otro lado, con independencia de los vehículos utilizados para el transporte de los contenedores es muy importante el diseño adecuado y gestión eficiente de los movimientos de estos primeros, de tal forma que este subsistema no constituya un cuello de botella de la terminal (Soriguera et al., 2003).

### 3.3 Características microeconómicas de una terminal

Con independencia de cómo se articule la financiación y la explotación de las terminales de contenedores, este tipos de infraestructuras tienen ciertas particularidades desde el punto de vista microeconómico surgida de la naturaleza de sus operaciones, la descripción de las cuales es el objeto del presente apartado.

Los principales rasgos se concretan en los siguientes puntos:

- Existencia de economías de escala.
- Si se suponen una función de costes que englobe los de la terminal y los de la estancia del buque en el puerto, se produce un *trade-off* entre los costes de ambos a medida que aumenta el tamaño del buque.
- Como consecuencia del punto anterior, hay una necesidad constante por incrementar la productividad de la terminal.
- Hay una tendencia a tener capacidades de las terminales superiores a las necesarias, especialmente en las terminales sometidas a competencia.
- Las funciones de costes y de producción son de tipo Cobb-Douglas, es decir, con contribuciones multiplicativas de los factores de producción o inputs.

Por lo que a las economías de escala de refiere, los costes fijos de las terminales de contenedores, los independientes de la cantidad de mercancía manipulada, representan un porcentaje

muy significativo respecto a los totales. Según Bennathan y Walters (1979) esta cifra puede suponer el ochenta por ciento. Un valor parecido al obtenido por Rudolf (1995) cuando estimó que el coste del capital para las grúas portacontenedores era el setenta por ciento del coste total. Al representar estos costes fijos un peso tan significativo sobre el total de los costes implica que los costes unitarios de la manipulación de contenedores son decrecientes a medida que el volumen de tráfico aumenta. En efecto:

Supongamos que la función de costes totales  $CT$  de la terminal viene dada por  $CT(q) = CF + CV(q)$  siendo  $CF$  los costes fijos y  $CV$  los variables (dependientes de las carga manipulada,  $q$ ). Por simplicidad supongamos que  $CV(q) = c_v q$ , donde  $c_v$  sería el coste variable unitario. De este modo, los costes medios vendrán dado por:

$$C_{me}(q) = \frac{CT(q)}{q} = \frac{CF}{q} + \frac{CV(q)}{q} = \frac{CF}{q} + c_v \quad (3.1)$$

A medida que aumente el volumen de contenedores, el coste medio será menor, tal como se indica en la figura 3.2. A mayor importancia relativa de los costes fijos,  $CF$ , sobre los variables,  $CV$ , este descenso de los costes medios con los contenedores será aún más accentuado.

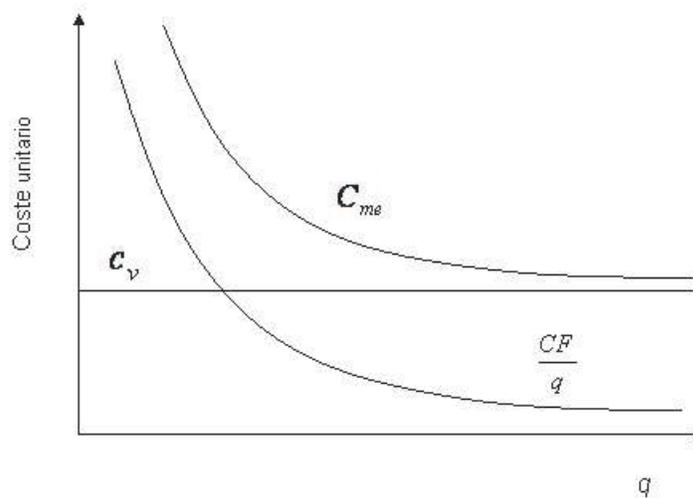


Figura 3.2: Variación de los costes medios totales, variables y fijos, con el volumen de producción para una industria con elevados costes fijos

Así, a título de ejemplo, en la figura 3.3 se muestra la relación entre los costes medios de varias terminales de contenedores españolas con diferentes volúmenes de contenedores manipulados contenidos en el estudio *Análisis de Terminales Marítimas de Contenedores* (Puertos del Estado, 2002), en el cual se analiza la estructura básica de costes de diferentes terminales de

contenedores españolas. Tal como puede apreciarse cuando el volumen de mercancía se multiplica por nueve la reducción de los costes medios es del orden del treinta por ciento. Una aproximación de primer orden a los valores de la elasticidad entre el coste total unitario y el volumen de contenedores manipulados,  $\varepsilon_{TEU}^c$ , que se obtienen de la figura 3.3 vendría dada por  $\varepsilon_{TEU}^c = -0,0162V_{TEU}$ , siendo  $V_{TEU}$  la cantidad de TEUs.

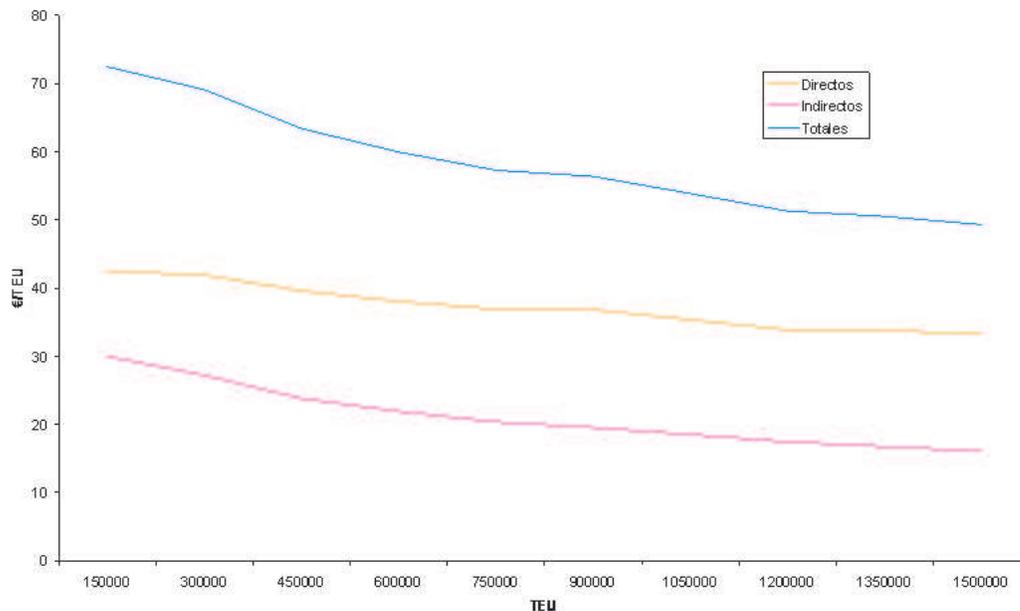


Figura 3.3: Costes directos e indirectos de varias terminales de contenedores españolas con diferentes volúmenes de tráfico anual. Fuente: *Análisis de Terminales Marítimas de Contenedores* (Puertos del Estado, 2002).

Por otro lado, otro de los rasgos económicos de las terminales de contenedores es la existencia de un *trade-off* entre el coste conjunto de la terminal y de la estancia del buque en la misma a medida que la capacidad de este último aumenta. En efecto, tal como ya han estudiado algunos autores ( como Jonson y Shneerson, 1982, y Musso et al., 1999) y se muestra en la figura 3.4, se produce un conflicto de intereses entre las terminales y los navieros.

Para las primeras, tal como se ha apuntado, debido a la preeminencia de los costes fijos sobre los variables, a medida aumenta la cantidad de contenedores manipulados, los coste medios descienden hasta llegar al límite de la capacidad de la infraestructura ( $q_0$ ), a partir del cual los costes empiezan a crecer debido a problemas de congestión.

Por lo que al naviero atañe, el coste de estancia del buque en el puerto es creciente con el tiempo de estancia en el mismo. A medida, pues, que al carga sea mayor, más tiempo será necesario para las operaciones de carga y descarga, lo que supondrá unos costes más altos.

Si se define el coste total como la suma de los costes del buque más los de la terminal se obtiene una cantidad óptima de carga que minimiza estos costes ( $q_1$  en la figura 3.4).

Si suponemos un tamaño de buque mayor, los costes del naviero por la estancia del buque en el puerto aumentarán, pasarán de  $c_{b1}$  a  $c_{b2}$ , dando lugar a que el nivel óptimo de tráfico del conjunto terminal-naviero pase de  $q_1$  a  $q_2$ , esto es, disminuya.

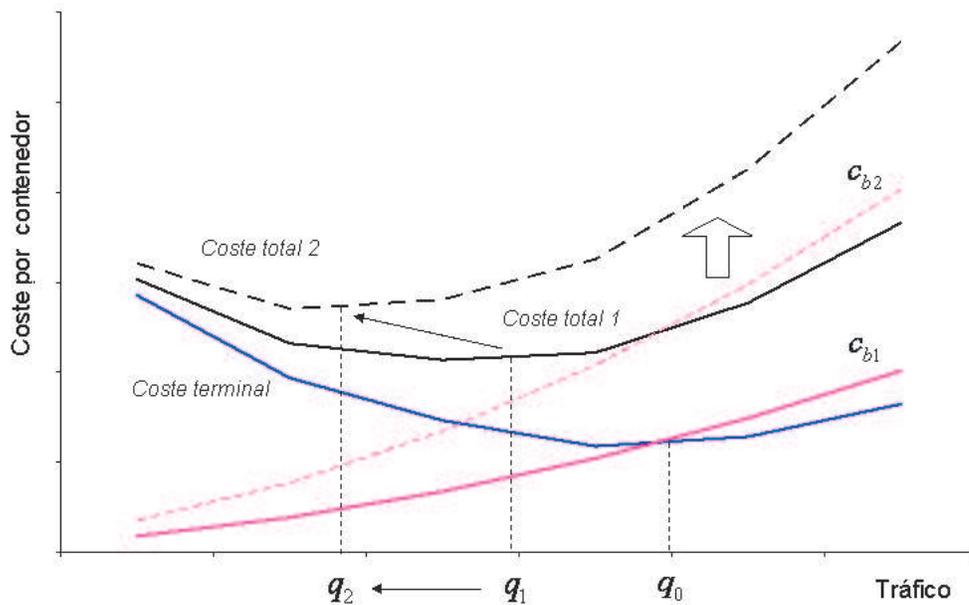


Figura 3.4: Variación del coste total de una terminal de contenedores (buque y terminal) con el volumen de tráfico manipulado

Por consiguiente, con el crecimiento del tamaño de los buques y si se quiere dar un servicio eficiente, se produce un aumento de los costes generalizados (terminal y estancia del buque en ésta). A ello debería de añadirse, a la práctica, incrementos adicionales de costes derivados de problemas de disponibilidad de mano de obra portuaria a corto plazo.

De modo que aumentos de la utilización de la capacidad portuaria generan incrementos en el tiempo de estancia del buque en el puerto (costes). Ello puede dar lugar que las ganancias logradas por las economías del buque en el transporte marítimo se pierdan por los aumentos de tiempo de permanencia del buque en el puerto. Se trata, sin duda, de un factor limitante del crecimiento del tamaño de los buques (Camarero et al., 2002).

Desde un punto de vista más cuantitativo, conviene destacar las aportaciones de Cullinane y Khanna (1999). Realizaron un estudio donde se analizaban las economías de escala de los buques portacontenedores indicando, por un lado, las reducciones de los costes unitarios que podían lograrse con el aumento de las dimensiones de los buques y, por otro, los beneficios conseguidos

por el incremento de la productividad de la manipulación de la mercancía que permitiera reducir los tiempos de permanencia del buque en el puerto. Los autores demostraron que duplicando la productividad de la manipulación de la mercancía se podrían reducir significativamente los costes unitarios, ya que el buque podría llevar más contenedores dado un tiempo concreto. Así, por ejemplo, duplicando dicha productividad se podría disminuir el coste unitario de un buque portacontenedores de 6.000 TEU de 114 a 91 \$ por TEU para un viaje trasatlántico. En la figura 3.5 se muestran varias reducciones demostradas por estos autores de los costes unitarios para diferentes buques.

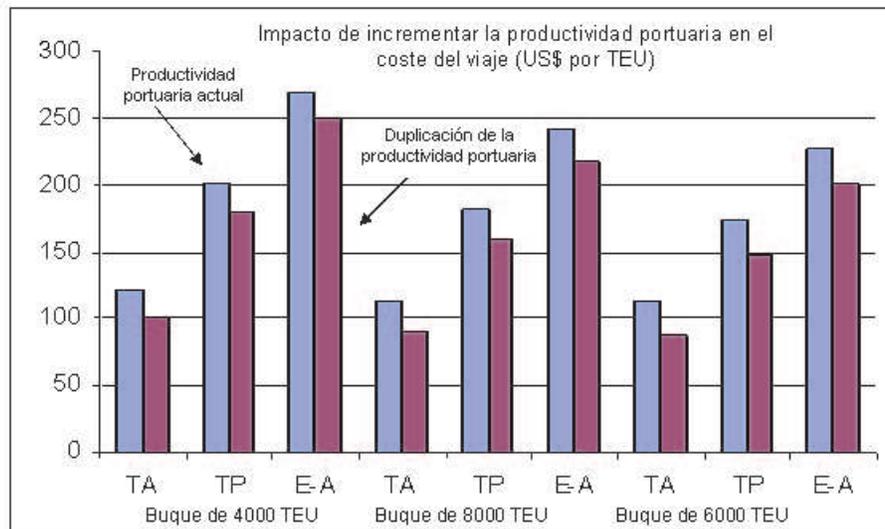


Figura 3.5: Impacto del incremento de la productividad portuaria (duplicación) en el coste del viaje de un buque portacontenedores (en dólares americanos por TEU). TA se refiere a los viajes trasatlánticos, TP a los transpacíficos y E-A a los de Europa con Oriente. Fuente: Cullinane et al. (1999).

Por consiguiente, en aras de lograr la máxima eficiencia económica del transporte de los contenedores por mar, es de vital importancia las productividades en las terminales de contenedores.

Otro de los rasgos microeconómicos de las terminales es la tendencia a tener una capacidad por encima de las necesidades, con una intensidad proporcional a la competencia a que está sometido el operador. Las causas principales de ello residen en el alto peso de inmovilizado material fijo de la terminal, las economías de escala en la construcción de la infraestructura y en escenarios demasiado optimistas de crecimiento de la demanda. En terminales de contenedores sometidas a competencia es además una necesidad operativa, con vistas a realizar los servicios de carga y descarga de la mercancía con el menor tiempo posible. En este sentido, el coste

adicional que supone este exceso de la capacidad de la infraestructura tiene que concebirse más como un coste inevitable que una señal de ineficiencia.

El problema del exceso de la capacidad se acentúa con el aumento del tamaño de los buques, puesto que, con vistas a mantener unas estancias de los buques en las terminales competitivas para el naviero, es menester acrecentar aún más este exceso de capacidad.

Ahora bien, este exceso de capacidad tiene como ventaja para el operador de la terminal constituir una importante barrera de entrada a la nueva competencia. Así, para los puertos *hub*, con instalaciones de grandes dimensiones, la construcción de buques cada vez mayores supone aumentar los costes de entrada de nuevas terminales, lo que les sitúa en una mejor posición competitiva.

A pesar de ello, competencia y exceso de capacidad pueden situar a las terminales en situaciones financieras delicadas. Y es que mientras la competencia tiende a reducir los precios por los servicios portuarios, el exceso de capacidad supone incrementar costes, con lo que se dificulta que la terminales cubran costes.

Respecto a las funciones de costes y de producción, en la industria portuaria en general la literatura ha abarcado dos ámbitos de estudios: los que han analizado las funciones de producción, como Chang (1978), Rekers et al. (1990) y Tongzon (1993); y los que se han centrado en la función de costes, ya sea en forma de un solo producto, Kim y Sachish (1986) y Martínez-Budría (1996), o en forma mutiproductiva, como es el caso de Jara-Díaz et al. (1997), Martínez-Budría et al. (1998) y Jara-Díaz et al. (2002).

Para el caso concreto de las terminales de contenedores, las aportaciones han sido más limitadas.

Las diversas formulaciones empleadas para determinar la función de producción, todas ellas mediante una función tipo Cobb-Douglas, han sido las siguientes:

- Rekers et al. (1990):

$$Q = AC^\alpha B^\beta L^\gamma \quad (3.2)$$

siendo  $Q$  el número de contenedores (en TEU),  $C$  el tiempo de operación neto de las grúas,  $B$  las horas en el muelle,  $L$  la mano de obra portuaria y  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  son los parámetros a estimar.

- Tongzon (1993):

$$Y = AX_1^\alpha X_2^\beta X_3^\gamma \quad (3.3)$$

donde:  $Y$  es el número de contenedores (TEU) por muelle y hora,  $X_1$  es el número de grúas por muelle y hora,  $X_2$  es la mano de obra por muelle y hora,  $X_3$  es el número de contenedores (TEU) descargados a tierra por muelle y hora y  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  son los parámetros a estimar.

En cuanto a las funciones de coste, no se ha desarrollado una formulación específica para las terminales de contenedores.

### 3.4 Proceso de privatización

Las terminales de contenedores no han sido ajenas al proceso de privatización que ha tenido lugar en la industria portuaria en general. En este epígrafe se analiza el papel de la iniciativa privada en la gestión y financiación de las terminales de contenedores.

A grandes rasgos, a nivel europeo se puede distinguir dos modelos de participación privada en este tipo de terminales:

- Respecto a los puertos del norte de Europa, con un modelo *landlord*, usualmente el Gobierno se encarga de la financiación de los accesos del puerto, ya sean por tierra o mar. La Autoridad Portuaria, por su parte, se encarga del coste del resto de la infraestructura (muelles, relleno, etc); mientras que el operador privado se ocupa de la financiación de la superestructura (pavimentación, edificación y equipos mecánicos, principalmente).

Los costes tanto de la infraestructura como de la superestructura están en mayor o menor medida cubiertos por las tarifas. Ahora bien, las notables diferencias en la participación pública en la financiación se proyectan en una diferente tarificación.

- En los puertos del sur de Europa, por su parte, tradicionalmente los Estados y las Autoridades Portuarias se responsabilizan conjuntamente de toda la inversión portuaria, incluidos los equipos mecánicos, la superestructura y la infraestructura. Ahora bien, a partir de las reformas iniciadas a partir de los noventa, la tendencia es hacia el modelo de los países del norte.

Por consiguiente, en la actualidad, el modelo que se está imponiendo es el del puerto como *landlord*.

La participación del capital privado sobre el total de la inversión suele ser importante en comparación con otras infraestructuras de transporte. Posibles explicaciones a ello pueden ser:

- Las operaciones en las terminales de contenedores cada vez son más complejas, lo que disuade a la Administración Pública a gestionarlas.
- Se han producido importantes crecimientos de la eficiencia de las terminales.
- En las terminales se producen economías de escala.
- El negocio de las terminales de contenedores no han sido considerados por los Gobiernos como el componente fundamental del negocio portuario.

Farrell (1999), por su parte, esgrime las siguientes causas:

- En muchos países europeos, muchos fondos públicos han ido destinado al desarrollo de los puertos, lo que ha dado lugar que los proveedores de los servicios obtengan beneficios importantes y con unos precios percibidos como razonables por los usuarios.

En ocasiones, la asignación de gran parte la nueva infraestructura o toda aun solo operador restringe de un modo significativo la competencia a la entrada de nuevos operadores y da lugar a la aparición de beneficios monopolísticos. En muchos puertos, tan solo existe una única terminal de contenedores, lo que puede llegar a dar lugar a monopolios regionales.

- Las ganancias de la productividad de la mano de obra acaecidas en los últimos años y la reducción de los costes unitarios debidos a las economías de escala de las terminales no se han traducido en una reducción pareja de las tarifas portuarias.
- La mayoría de las terminales de contenedores tienen un riesgo relativamente bajo debido a la intervención de la Administración Pública.

Las cuestiones más relevantes de la participación privada en las terminales de contenedores europeas han sido el reparto del riesgo entre la iniciativa privada y la Administración Pública, las altas eficiencias logradas en las terminales y la competencia entre las terminales.

Por lo que a los diversos tipos de riesgos involucrados atañe, se tiene que: los políticos son aminorados por los Gobiernos; los de financiación se comparten entre el sector público y el privado; los constructivos usualmente la Administración Pública se hace cargo de una parte importante de éstos; y, finalmente, los riesgos operativos y comerciales van a cargo del operador privado. En el último apartado del presente capítulo se desarrolla este punto con mayor detalle.

En la figura 3.6 se muestran los principales actores implicados en la financiación de este tipo de terminales y su relación desde un punto de vista económico.

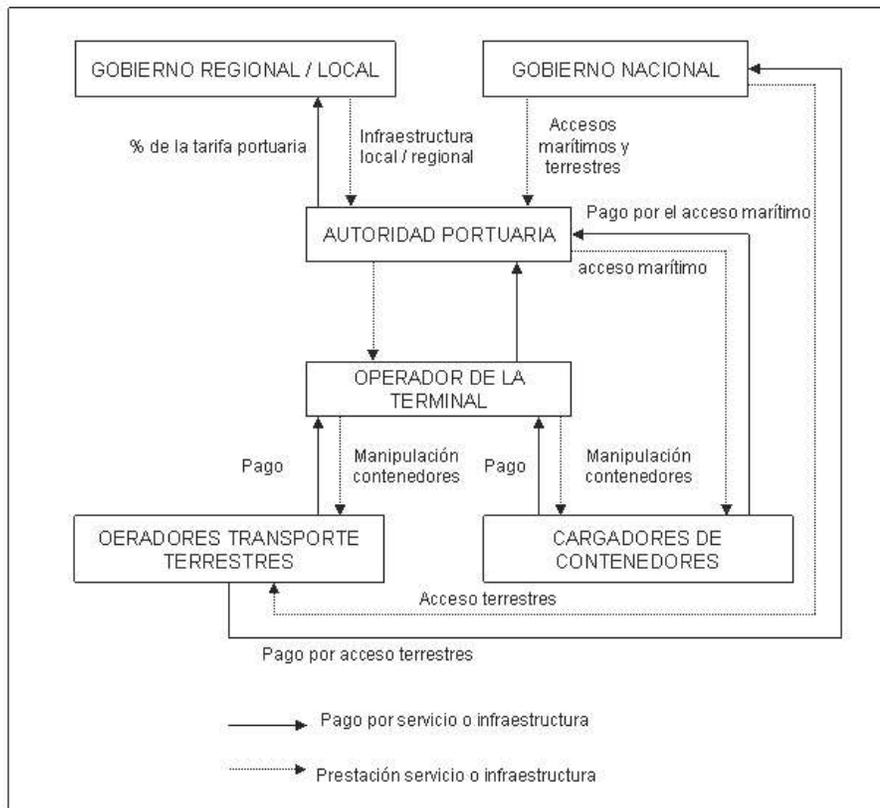


Figura 3.6: Agentes implicados económicamente en una terminal de contenedores. Fuente: Wiegmans et al. (2002).

Usualmente la participación del capital privado en las terminales de contenedores europeas ha tenido lugar en régimen de concesión, más que en instalaciones privadas en propiedad. Para hallar una justificación de ello partamos de la figura 3.7. En ésta se representa una situación a corto plazo en que la inversión por parte de la iniciativa privada resulta rentable suponiendo una coparticipación público-privada. La entrada de fondos públicos permitiría una menor curva de los costes medio, que en principio debería de ser menor que la curva de ingresos medios. Las tarifas se situarán al nivel  $p_1$ , (suponemos que no se produce ningún tipo de discriminación de precios) y los beneficios para la terminal vendrán dados por el área determinada por el rectángulo  $(p_1 - p_2)q$ . Ahora bien, en los casos en que las terminal estén sometidas a régimen de competencia los precios se situarán por debajo de  $p_1$ . No en vano indicar que la curva de costes marginales se convierte en vertical en el punto en que la cantidad de contenedores manipulados en la terminal supera a la capacidad de la misma.

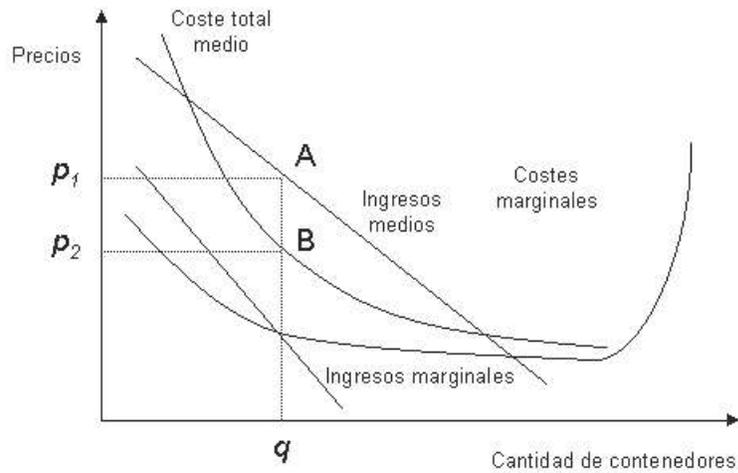


Figura 3.7: Funciones de costes e ingresos a corto plazo para una terminal con participación público-privada

De todo ello se infiere la importancia de la participación pública en la financiación de las terminales de contenedores aunque resulta un negocio viable para la iniciativa privada.

Terminal	Participación público-privada, en %
Ceres Paragon Marine Terminal	75-25
Zeeland Container Terminal	55-45
Beverwijk	23-77
Container Terminal Regio Twente	60-40
Euromax Container Terminal	57-43
Container Terminal Duinkerken	60-40
River Terminal Wielsbeke(NT)	48-52
Media	55-45

Tabla 3.3: Proporción de la participación público-privada en las inversiones de diversas terminales. Fuente: Wiegmans et al. (2002).

En la tabla 3.3 se muestra el reparto de la participación público-privada en la inversión de algunas terminales europeas. Tal como se aprecia el peso del sector público se sitúa entre el 23% (Beverwijk) y el 75% (Ceres Paragon Marine Terminal), siendo el 55% la media de todos ellos.

### 3.5 Proceso de regulación

Desglosados en el anterior capítulo los rasgos básicos de la regulación acaecida en la industria portuaria en general, en este epígrafe se trata de indicar cómo se ha llevada a cabo la regulación

en las componentes esenciales en que se puede segmentar una terminal de contenedores (capítulo 3), a saber, la infraestructura básica (obra civil), la superestructura, las máquinas y equipos móviles y la mano de obra.

Por lo que a la infraestructura básica atañe, las terminales de contenedores suelen operar en régimen de concesión, tal como y a se ha indicado. El operador privado paga a la Autoridad Portuaria un canon, que suele ser anual y proporcional a la superficie de terreno ocupada por la terminal y/o las toneladas o contenedores manipulados.

Iniciativas recientes de la Unión Europea se centran en cubrir los fondos públicos invertidos en el puerto mediante las cargas aplicadas a los usuarios de la infraestructura. Ahora bien, ello requiere el conocimiento del nivel de inversión necesario, que no siempre resulta fácil, y de la estructura del coste a largo plazo (coste marginal, economía de escala y de aglomeración).

En lo concerniente a la superestructura (abarca toda la edificación de una terminal) y a los equipos móviles, no hay una unanimidad en su regulación por parte de todos los puertos. En efecto:

- En un extremo, se sitúan las situaciones en que la Autoridad Portuaria provee y controla en exclusividad todo el servicio de la carga y descarga. Se trataría del modelo de puerto de gestión integral.
- Por otro lado, estaría el modelo *landlord*, en el que la Autoridad Portuaria no tendría ninguna participación directa en las operaciones de la terminal. Sería el concesionario quien haría el servicio y de dos posibles modos, dependiente del tipo de puerto, esto es:
  - . Los concesionarios pueden operar sin necesidad de participar en la financiación de la infraestructura.
  - . O bien los concesionarios contribuyen a la inversión del puerto en la superestructura, la maquinaria y los equipamientos móviles y alquilan la parte de la infraestructura portuaria (propiedad de la Autoridad Portuaria) de la que se benefician mientras operan. Se trata de una fórmula que promueve la participación de la iniciativa privada a la financiación de la terminal, al tiempo que reduce el riesgo del concesionario. Es el modo de operar más extendido de los principales puertos Europeos.

En cuanto a la mano de obra, hay de diferenciar dos categorías: los trabajadores directamente involucrados en las operaciones de carga y descarga y los que no (personal de administración, esencialmente). Respecto a estos primeros, se trata de un sector altamente regulado

que confiere un alto grado de protección al colectivo, lo que permite que este último ejerza de monopolio en todos los puertos. Por ello, en muchos países europeos se ha introducido reformas legales con vistas a aumentar la eficiencia a partir de reducir costes vía ajustes en la mano de obra portuaria.

### **3.6 Análisis del riesgo**

Una vez caracterizada la terminal de contenedores desde el punto de vista económico, abarcando las particularidades microeconómicas y el modo organizativo definido por la regulación, tan solo quedar por indicar cuáles son los principales riesgos inherentes al negocio de las terminales de contenedores como concesión.

Según Nijkamp y Rienstra (1995) los riesgos que se pueden hallar en una inversión en infraestructura se pueden situar en las siguientes categorías:

- Riesgo político: por ejemplo, cambio en la política de infraestructuras o en la regulación por parte de un Gobierno.
- Riesgo financiero: fluctuaciones en los tipos de interés, y de los tipos de cambio o malas previsiones de la inflación.
- Riesgo constructivo: retrasos o costes inesperados.
- Riesgo operativo: accidentes o problemas inesperados que puedan surgir.
- Riesgo comercial: malas estimaciones de los costes o del volumen de tráfico.

Para el caso particular de las terminales de contenedores concesionadas, siguiendo a Martel (1999), los riesgos principales son los costes y los de ingresos.

Por lo que al riesgo asociado a los costes se refiere, las limitaciones introducidas por los requerimientos técnicos tienen un impacto en la estimación inicial del coste del proyecto (inversión y operaciones). Por otro lado, dado que las normas están establecidas desde el principio, éstas no afectan al riesgo del coste. Todo dependerá de la habilidad del operador privado para implementar su proyecto. En este contexto, pues, cualquier riesgo en el incremento del coste deberá de ser asumido íntegramente por el concesionario.

Cuando el aumento de los costes por encima de las previsiones se produzca como consecuencia de cambios de la regulación o del entorno legal existentes en el momento de la firma del

contrato de concesión, el modo de compartir el riesgo entre el operador privado y la Autoridad Portuaria dependerá de la naturaleza de la actividad. Puesto que se trata de un servicio considerado público, no es adecuado que el incremento del coste que se produce para el concesionario no sea repercutido sobre el usuario de la infraestructura. Usualmente suele compartirse el riesgo entre el operador privado y la Administración Pública a través de diversas fórmulas establecidas en el contrato de concesión como, por ejemplo, indemnizaciones.

Existe otro riesgo que siempre es presente, el político. Puede representar que los compromisos del contrato no se cumplan por parte del Gobierno o que éste imponga medidas discriminatorias respecto a las contenidas en el contrato.

Respecto al riesgo asociado a los ingresos, la regulación tiene un impacto directo en éste y en la posterior habilidad por parte del concesionario para gestionarlo. Por otro lado, habido cuenta de la incertidumbre inherente a cualquier previsión futura de tráfico, se trata del riesgo más importante de los proyectos de concesión.

Como norma general es aconsejable asignar el riesgo del tráfico al operador. Esto es posible y está justificado cuando la actividad no es de servicio público. Repartir los beneficios entre la Autoridad Portuaria y el operador puede ser previsto bajo ciertas circunstancias; lo cual es posible en la mayoría de las situaciones, en que la actividad está sujeta a competencia pura.

Por otro lado, compartir el riesgo de los ingresos suele ser necesario en el caso de un servicio monopolístico público. El importante grado de regulación que ello requiere conlleva a unos condicionantes tales al operador que no le permite mucho margen para controlar su riesgo comercial. La Autoridad Portuaria, en consecuencia, puede optar bien por dar una licencia o autorización al operador que le garantiza que no tendrá competencia, bien asegurarle un mínimo de nivel de actividad a través de establecer unas subvenciones variables con los tráficos.

Ahora bien, mientras el operador no tiene control absoluto sobre sus ingresos, sí que es responsable de todos sus costes.

Como norma general, cualquier forma de regulación implica un incremento de costes, en términos del coste del riesgo adicional impuesto al operador, reflejado por el requerimiento de una mayor rentabilidad, y por el coste de la supervisión. Por consiguiente, tan solo deben de regularse aquellas situaciones en que sea estrictamente necesario.

## Capítulo 4

# Tarifación portuaria

En los anteriores se ha realizado una descripción tanto del proceso que ha ido teniendo lugar en las últimas décadas sobre el incremento del sector privado en la gestión de los puertos como los aspectos más importantes de las terminales de contenedores, tanto en la vertiente funcional como en la económica y organizativa.

Tal como se ha indicado en el capítulo de introducción, la presente tesis tiene como principal objetivo establecer las fórmulas para definir los cánones y las tarifas portuarias que afectan a las terminales de contenedores concesionadas.

En virtud de este objetivo, en el presente capítulo se van a indicar el estado del arte de todo lo referente a la tarifación portuaria y los cánones de concesiones.

En consonancia con ello, el capítulo se estructura en dos grandes apartados. En el primero de éstos se describirán las aportaciones realizadas hasta el momento sobre la tarifación portuaria desde la producción científica, mientras que el segundo estará centrado en cómo se ha implementado todo ello en la práctica.

### 4.1 Antecedentes

Las aportaciones realizadas hasta el momento sobre tarifación portuaria no son muy extensas. La mayor parte de la literatura se inicia en la década de los setenta.

Siguiendo a Meyrick (1991), en la determinación de los precios por los servicios portuarios confluyen una serie de agentes cada uno de los cuales tienen unos objetivos diferentes, a saber:

- Gobierno: desea obtener el máximo rendimiento a la infraestructura.

- Economistas: tienen como objetivo minimizar las pérdidas sociales.
- Autoridades Portuarias: quieren maximizar la mercancía cargada y descargada, el valor añadido en los puertos y el empleo.
- Usuarios del puerto: desean transparencia en los precios portuarios y que éstos reflejen los costes reales del servicio recibido.

Se trata de objetivos muchos de ellos contrapuestos, de modo que no hay una única solución en el establecimiento de las tarifas portuarias.

Por lo indicado en el capítulo 2, en la mayor parte de las situaciones la industria portuaria se puede considerar oligopolística (esto es, mercados en que se produce una concentración empresarial importante imposibilitando la competencia perfecta). Para el caso más concreto de las terminales de contenedores, ello es especialmente frecuente, puesto que, debido a la configuración de las rutas marítimas y al volumen de tráfico de contenedores de muchos puertos, es habitual que la competencia entre terminales se limita a un número concreto.

Consecuencia de ello, será que los precios serán "estratégicos" en el sentido que serán puestos por el lado de la oferta, ya sea el concesionario de la terminal o la Autoridad Portuaria, con vistas a lograr unos objetivos concretos. Y en base a ello, las tarifas pueden tener diferentes formas, en función del coste marginal, del coste medio, precios tipo Ramsey y tarifas en dos tramos, básicamente.

Otro enfoque para catalogar las diferentes propuestas de tarifas es el dado por Petteren-Strandenes y Marlow (2000), según el cual en la literatura los principios que han regido la determinación de los precios portuarios se enmarcan en cinco categorías: precio basado en el coste; métodos para cubrir costes; coste de congestión; precios estratégicos; y precios comerciales, aplicados en puertos privatizados.

Otro criterio posible para segmentar los diferentes tipos de tarifas fue el desarrollado por Bennathan y Walters (1979), precursores en el estudio de las tarifas portuarias, analizaron las directrices generales que habían guiado a la determinación de las tarifas portuarias. Identificaron dos grandes enfoques:

- El primero concibe al puerto como una infraestructura que contribuyen al desarrollo regional, por lo que el precio adecuado por los servicios portuarios será aquel que promueva el crecimiento económico.

- Uno segundo en que el puerto es visto como una unidad más de negocio y como tal debe de dar, sino beneficios, como mínimo equilibrar presupuesto.

Bajo un enfoque económico aséptico, el de la economía del bienestar, lo más adecuado es fijar los precios según los costes marginales, puesto es el que permite maximizar el bienestar total, el de los consumidores (cargadores) y los productores (industria portuaria). En esta línea, Gilman (1978) indicó que las tarifas portuarias debían de estar basadas en cubrir todo el coste de oportunidad marginal social. Ello se demuestra a partir de optimizar la función de utilidad social en un entorno de competencia perfecta -una demostración detallada puede verse en Varian (1998).

Sin embargo, tal como se ha comentado en los capítulos 2 y 3, la industria portuaria en general y las terminales de contenedores en particular se caracterizan por tener economías de escala crecientes, lo que conlleva a que los costes medios estén siempre por encima de los costes marginales a corto plazo (se supone que el tamaño de las instalaciones son constantes), es decir, que si los precios se formulan en base a estos últimos costes (tal como sería en un entorno de competencia perfecta) se genera una situación deficitaria.

En efecto, para ver esto supongamos que la función de costes de una terminal de contenedores viene dada por:

$$C(q) = CF + CV(q) \quad (4.1)$$

donde  $CF$  es la parte de los costes fijos (invariantes al nivel de producción) y  $CV(q)$  son los variables (que dependen del nivel de producción  $q$ ). Los costes medios y los marginales vendrán dados respectivamente por:

$$C_{me}(q) = \frac{C}{q} = \frac{CF}{q} + \frac{CV(q)}{q} \quad (4.2)$$

$$C_{mg}(q) = \frac{\partial C}{\partial q} \quad (4.3)$$

Por sencillez, consideremos la situación más sencilla en que la función de costes es lineal con el nivel de producción, esto es:

$$C(q) = a + bq \quad (4.4)$$

donde  $a$  y  $b$  son dos constantes. Los costes medios y los marginales vendrán dados por:

$$C_{me}(q) = \frac{a}{q} + b \quad (4.5)$$

$$C_{mg}(q) = b \quad (4.6)$$

Fácilmente puede comprobarse que  $C_{me} \geq C_{mg}$  para cualquier nivel de producción.

Ante tal circunstancia la literatura ha dado varias soluciones. Así, Button (1979), si bien indicaba la necesidad de imponer unas tarifas a cada usuario que cubrieran todo el coste de oportunidad marginal social generado por éste, aportó como solución al problema del coste marginal a corto plazo la instauración de una tarifa en dos tramos. Ésta estaría compuesta por el coste de oportunidad marginal social referido a la manipulación de la carga más una carga fija periódica en concepto de derechos de uso de las instalaciones portuarias.

En el mismo sentido está la propuesta formulada por Jansson y Rydén (1979). A partir del desarrollo de un modelo teórico para optimizar las tarifas, plantearon que éstas se segmentaran en dos partes, esto es: una primera que fuese en términos de unidades monetarias por tonelada e independiente de la elasticidad respecto a la demanda; y una segunda imputada sobre el cargador que reflejara el coste de oportunidad por utilizar las instalaciones.

Otra solución fue formulada por Talley (1994) a través de una aproximación axiomática del coste. Con vistas a evitar, por un lado, la dialéctica entre la necesidad de cubrir la totalidad del coste y el precio según el coste marginal y, por otro, la gran cantidad de dificultades asociadas al cálculo de los costes marginales. Definió la tarifa según el coste axiomático, esto es, como el mecanismo que determina el precio de los diferentes outputs de una producción de varios productos (como pudiera ser el caso de la industria portuaria) asignando todo el coste de la producción a todos los outputs. Parte de la hipótesis de la demanda de los servicios portuarios es inelástica respecto a las tarifas portuarias. Según Talley los cuatro axiomas aplicables en los precios portuarios son atribución, asignación y aditividad. Esta metodología se aplica para lograr cubrir todos los costes totales, sin necesidad de determinar los costes marginales ni que el puerto sea eficiente desde el punto de vista de costes. Se trataría, en definitiva, de aproximarse a los costes marginales a través del coste medio.

Una propuesta más reciente y que mayor aceptación está teniendo es la debida a Haralambides (2002). Propone formular las tarifas portuarias no en base a los costes marginales a corto plazo sino a largo. Para ver esto consideramos la situación indicada en la figura 4.1.

En la situación a corto plazo, el tamaño de la terminal de contenedores se supone constante. El capital fijo (infraestructura esencialmente) se considera que es invariante con el nivel de producción, mientras que los costes directamente relacionados con la manipulación de la carga (como el personal, por ejemplo) sí son variantes.

A largo plazo, sin embargo, todos los costes se consideran variables, incluyendo el capital fijo. Se llega a una dimensión de la terminal en que se satisface la demanda con el mínimo coste unitario total y sin necesidad de subvención de fondos públicos (equilibrio a largo plazo),  $LRMC = LRAC$  es constante (figura 4.1).

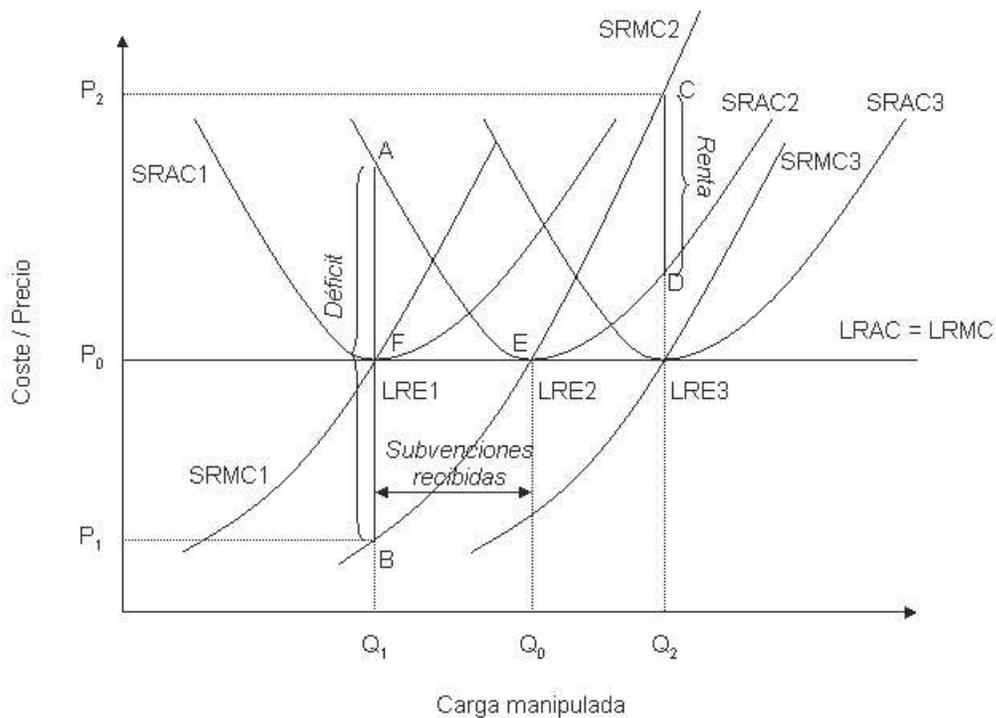


Figura 4.1: Funciones de coste de una terminal de contenedores a corto y largo plazo.

Supongamos la existencia economías de escala crecientes (que es el caso que nos ocupa). Consideremos, asimismo, que la función de costes unitarios a corto plazo viene representada por la curva  $SRAC2$  de la figura 4.1, que la terminal está sometida aun entorno competitivo y que el nivel de demanda es  $Q_1$ .

En estas circunstancias, si se sitúan los precios según el coste marginal a corto plazo,  $P_1$ , será necesaria una subvención  $AB$  para cubrir costes. En esta situación las dimensiones de la terminal parecen excesivas dado el nivel de demanda. A largo plazo, el equilibrio se situará, para una demanda igual a la anterior, en el punto  $LRE1$ , el cual corresponde a un terminal de

unas dimensiones menores y con unos costes unitarios a largo y corto plazo dados por  $LRE1$  y  $SRAC1$  respectivamente. Para este tamaño de la terminal se producen economías de escala constantes, aunque, dado que el desarrollo de los puertos es un proceso dinámico, rara vez se llegará a este punto.

Dado que la mayoría de los puertos que compiten están económicamente interrelacionados en una región de influencia de éstos, es razonable asumir que el conjunto de la industria portuaria presenta economías de escala constantes, con lo que situando los precios portuarios según el coste marginal a largo plazo se obtendrá el máximo bienestar social y se logrará cubrir costes. Esta es la filosofía de la Comisión Europea y que queda recogida en el Libro Blanco del transporte. Por consiguiente, a nivel agregado, es posible cubrir todos los costes.

Volviendo a la figura 4.1, supongamos que hay expectativas de crecimiento de la demanda, que podrá alcanzar  $Q_0$ , por lo que la terminal aumenta de tamaño para llegar al óptimo a largo plazo ( $LER2$ ). Si el nivel se mantiene a  $Q_1$  y las tarifas portuarias cobradas se sitúan en  $P_1$ , la terminal continuará necesitando subvenciones, pero ahora serán de menor cantidad, pasando de  $AB$  a  $AF$ . Así, a medida que la demanda aumenta y los precios se sitúen en el nivel de los costes marginales, las necesidades de financiación pública se irán reduciendo hasta ser nulas a largo plazo.

En la práctica resulta muy difícil de determinar el coste marginal a largo plazo, por lo que, según Haralambides et al. (2001), aproximar este coste a través del coste medio puede resultar una aproximación adecuada.

Adicionalmente de las aportaciones centradas en los costes marginales, en la literatura se han generado otros enfoques.

Uno de ellos ha consistido en basar las tarifas portuarias en los aspectos más significativos que influyen en los costes generados por los usuarios. Así, Gardner (1977) sostiene que la mayoría de los servicios prestados por el puerto son para facilitar el movimiento de las mercancías, por lo que las tarifas no deben de estar fundamentadas en los buques sino en las propias mercancías. Thomas (1978), por su parte, considera que los precios portuarios están influenciados por el tipo de buque, naturaleza y valor de la mercancía y elasticidad de la demanda.

Por otro lado, Ramsey (1927) propuso una formulación de las tarifas que permitiera cubrir todos los costes generados. Tiene en cuenta las diferentes elasticidades de la demanda respecto a los servicios portuarios que pueden tener los usuarios. Dicho sea de paso que esta elasticidad es menor para los servicios de manipulacin de la carga que para los de ayuda a la navegación ofertados por el puerto.

Arnold (1985), por su parte, sugirió que las tarifas portuarias deberían de sustentarse en un *mix* de precios estratégicos en aras de reflejar la demanda por los servicios portuarios, la competencia entre puertos y el coste de provisión de los servicios. Así para cada uno de ellos se tiene que:

- La utilización de precios basados en estrategias de la demanda deben de ser utilizados cuando hay poca competencia y se fundamentan en de la determinación de la cantidad a qué está dispuesta a pagar el usuario del puerto por los servicios ofrecidos y los beneficios obtenidos de éstos. Se trata de un mecanismo de precios que necesidad de muchos datos de marketing y suele estar asociado a objetivos por parte de la Autoridad Portuaria de maximización de beneficios.
- En lo que a la determinación de los precios basada en la competencia con otros puertos se refiere, éstos se obtienen a partir de la comparación entre las tarifas portuarias de los puertos competidores o por comparación entre el coste de los usuarios por utilizar los servicios portuarios basándose en la calidad del servicio. A ello debería de añadirse el coste generalizado que tuviera en cuenta la distancia, el tiempo y el coste de inventario.
- En cuanto a las tarifas fundamentadas en el coste, éstas son similares a las indicadas por los otros autores. Arnold estudié una gran variedad de modalidades en las que basar el coste, entre las que estaban el coste medio, el medio variable, el marginal y el de congestión.

Del estudio de Arnold queda claro que cada estrategia requiere de un análisis y de datos diferentes. Sugirió que las medidas más apropiadas a utilizar en la determinación de las tarifas debían de estar correlacionadas con las medidas principales de la sensibilidad de la demanda como, por ejemplo, el valor de la mercancía o el tamaño de los buques. Asimismo, cualquier elección de las tarifas deba de ser consistente con los objetivos de la Autoridad Portuaria, ya sean financieros, de marketing, operativos o de desarrollo económico.

Otra de las aportaciones fue debida a Meyrick (1991). Si bien no dio una fórmula precisa para la determinación de los precios portuarios, estableció una serie de directrices. Partiendo de los objetivos contrapuestos de los diferentes agentes que confluyen en los puertos (Gobiernos, economistas, la Autoridad Portuaria y los usuarios de las instalaciones), analizó cuál de las posiciones era la más correcta, si la defendida por una posición economicista teórica o racional. La primera considera el precio según el coste marginal, el precio second best y los precios Ramsey pero considera el coste de entrada como un coste irrelevante. La postura racional tiende más hacia cubrir todo el coste, los objetivos financieros, los período de recuperación de la inversiones

y los beneficios. Meyrick apuesta por esta última óptica por considerar a la teórica está muy centrada en objetivos de eficiencia asignativa pero no considera otros actores importantes como la eficiencia técnica ni realiza ninguna consideración sobre la distribución. Cualquier política tarifaria para ser adecuada debe de tener en cuenta los trade-offs que se tienen lugar entre los objetivos económicos y financieros y entre aplicaciones rígidas de ciertas reglas de gestión y la necesidad de adaptarse a las necesidades de la demanda.

En una publicación Meyrick (1989) sugirió una serie de directrices para determinar las tarifas portuarias:

- Todo el coste para la provisión de los servicios e instalaciones portuarias deben de ser cubiertos por los propios usuarios del puerto.
- Todo coste de servicios o instalaciones generado por un grupo determinado de usuarios del puerto, deberá de ser cubierto íntegramente por éste.
- Los costes que no puedan ser atribuidos a unos usuarios concretos deberían de ser distribuidos a tenor de los siguientes criterios: todos los usuarios del puerto deberían de contribuir a los costes comunes del puerto; los pagos de cualquier grupos de usuarios no deben de exceder de los costes generados por los mismos; y el coste debe de ser un reflejo del beneficio obtenido por el usuario del servicio prestado.
- La estructura de las tarifas portuarias deben de reflejar la estructura de costes del puerto.
- El coste del capital debe de reflejar el coste de oportunidad de la inversión en el caso de los activos no haya un mercado. En el resto de supuestos, debe de reflejar el coste de oportunidad de tener los activos en su uso actual.

La UNCTAD (1995), por su parte, considera que la aproximación de las tarifas portuarias partir del coste, la operativa y el valor permite a la Autoridad Portuaria cumplir con diferentes tipos de objetivos. Así, una tarifa basada en los costes permite maximizar el uso de los servicios portuarios; si se sustenta en las operaciones, se maximiza las unidades de mercancías manipuladas y permite reducir congestión de las instalaciones; y una tarifa fundamentada en el valor ayuda a generar suficientes ingresos como para cubrir los costes de prestar los servicios portuarios.

Otro tipo de precio que ha sido considerado en la literatura es el de congestión. La saturación en las instalaciones portuarias conlleva a incrementos del tiempo de permanencia de los buques en el puerto, lo que representa importantes costes para éstos en términos tanto de coste de

oportunidad como en operativa. Las tarifas por congestión fueron abordadas por Bennatahn y Walters (1979) y Vanags (1977), concluyendo que la instauración de tal tarifa supondría problemas a la práctica, puesto que ésta sería diferente según la época del año.

## **4.2 Las tarifas portuarias en la práctica**

### **4.2.1 Las tarifas portuarias**

En la industria portuaria hay una serie de tarifas que los usuarios deben de satisfacer por los servicios recibidos y por las instalaciones utilizadas.

En primer lugar estarían las tarifas portuarias que son soportadas por los buques por el uso de la infraestructura general portuaria. Son impuestas por la Autoridad Portuaria aunque no necesariamente ésta es quien se encarga directamente de recaudarlas; en muchas ocasiones se hace por medio del concesionario, como sucede en España.

A parte de las infraestructuras, las tarifas portuarias suelen incluir otros conceptos por el uso de servicios obligatorios relacionados con el muelle (como el pilotaje y el remolque).

Otra de las principales fuentes de ingresos de las Autoridades Portuarias procede de las cargas aplicadas a las mercancas que pasan por el puerto por diversos conceptos, como, por ejemplo, almacenaje, carga y descarga o inspección.

Respecto a las formulaciones utilizadas para fijar las tarifas, según Haralambides et al. (2001), tras realizar una comparativa entre los puertos europeos, concluye que en la actualidad entre stos hay diferencias substanciales tanto en las subvenciones como en las tarifas aplicadas. Ello reside en el fondo por las diferencias culturales y legales, así como los diversos modos de gestión portuaria. A pesar de esta diversidad, se pueden indicar algunos aspectos generales:

- Todos las Autoridades Portuarias están a favor que todo el coste portuario sea cubierto por el mismo sector, que el usuario sostenga el servicio utilizado.
- Las Autoridades Portuarias no consideran que el mercado de la carga de graneles líquidos y sólidos deba de recibir ayudas públicas, aunque sí lo estiman oportuno para la mercancía general, la contenerizada y el tráfico Ro-ro.
- Los usuarios de los puertos son generalmente conscientes de algunos impactos o distorsiones causadas por las ayudas públicas de los puertos Europeos. Ahora bien, los usuarios consideran que el impacto de las tarifas afectadas por estas subvenciones tienen poca rel-

evante en relación a los precios cargados por los operadores portuarios y al coste total del paso del puerto.

Respecto a esto último, si bien las tarifas portuarias pueden constituir una variable importante en la elección del puerto por parte de navieras y de exportadores e importadores, el peso que suponen sobre el coste total que pagan los usuarios del puerto es relativamente pequeño. Tal como puede apreciarse en la tabla 4.1, la parte más significativa de la factura procede del coste de la manipulación de la carga (carga y descarga, estibadores, almacenaje, etc.).

Concepto	Peso relativo, en % del total
Tarifas portuarias por el uso de la infraestructura	5-15
Servicios del muelle	2-5
Manipulación de la carga	70-90
Consignatario	3-6

Tabla 4.1: Importancia relativa de las diversas componentes que participan en el coste total portuario. Fuente: Suykens (1996).

Hay una opinión generalizada entre los expertos que la elasticidad de la demanda de los servicios portuarios respecto a las tarifas es pequeña. Para las navieras los factores más relevantes en la elección de un puerto son: la calidad general de los servicios (equipos, tiempos de espera de los buques, tiempos de operación, etc.); la existencia de oportunidades de negocio (demanda de transporte de los exportadores e importadores); el coste de la manipulación de carga; la frecuencia de los servicios regulares; y la existencia de líneas tramp para cargamentos ocasionales. En definitiva, las autoridades pueden variar de un modo importante las tarifas sin afectar a la demanda.

En la tabla 4.2 se adjuntan las elasticidades demanda-precio obtenidos por Haralambides et al. (2001) de diferentes puertos europeos, aunque los resultados mostrados son cuestionables. En los cálculos se incluyeron los contenedores de trasbordo, los cuales tienen unas sensibilidades más altas que el resto de los tráficos, dada la facilidad que tiene de cambiar de un puerto a otro. Así, en el puerto de Rotterdam la proporción de este tipo de tráfico que mucho mayor que en el puerto de Antwerp o Hamburgo, sin embargo en el estudio se obtuvieron que los valores de las elasticidades de estos dos últimos puertos son mayores que las de Rotterdam.

A pesar de estas divergencias, Haralambides et al. (2001) indicaron las siguientes apreciaciones respecto a los valores de las elasticidades:

- Hay diferencias substanciales en los valores de las elasticidades. Ello supone que, si las

<b>Puerto</b>	<b>Elasticidad demanda-precios</b>
Hamburgo	3,1
Bremen	4,4
Róterdam	1,5
Antwerp	4,1
Le Havre	1,1

Tabla 4.2: Elasticidades demanda-precio de diferentes puertos europeos. Unidades: variaciones de la demanda con aumentos del 10% de los precios. Fuente: Haralambides et al. (2001).

cifras son correctas, cambios en los precios ocasionadas por las subvenciones públicas, en el caso de contenedores de trasbordo, se puede generar efectos en la demanda muy distintos.

- Las elasticidades son muy diferentes según los diferentes tipos de mercancías: son mucho menores para los graneles líquidos y sólidos que para los contenedores, la mercancía general y el tráfico Ro-Ro.
- En el supuesto de introducir tarifas basadas en la necesidad de cubrir la totalidad de los costes para cada puerto individualmente se producirá una subvención cruzada. Los puertos cuyos ingresos mayoritarios procedan de la mercancía a granel podrán compensar las reducciones de demanda que se pueden dar por aumentos en los precios de la mercancía general, contenerizada y Ro-Ro.

Tal como se ha apuntado en el anterior apartado, en teoría el modo óptimo de determinar las tarifas portuarias por el uso de la infraestructura es que cada usuario se haga cargo del coste marginal que genera. Pero, como sucede en otras industrias, el coste marginal es muy pequeño, con lo que sólo se consigue cubrir el coste de reparaciones y mantenimiento, que es muy reducido si se compara con el de construcción. Por consiguiente, al aplicar tarifas según la fórmula óptima de los precios públicos, no se cubren todos los costes.

En la práctica las tarifas portuarias se determinan de un modo aproximado, sin guardar relación alguna ni con el coste de la inversión ni con el coste de oportunidad por el uso de la infraestructura.

Las tarifas cargadas a los buques por el uso de la infraestructura dependen de alguna variable de capacidad, como las toneladas de registro bruto (GRT), por ejemplo. En puertos con unos altos niveles de demanda, las tarifas portuarias pueden establecerse con otros criterio que refleje mejor el coste de oportunidad para la Autoridad Portuaria de tener un buque en lugar de otro ocupando una parte de la infraestructura (por ejemplo, en el Puerto de Rotterdam las tarifas dependen de la eslora del buque).

Respecto a las tarifas aplicadas a las mercancías, las Autoridades Portuarias suelen diferenciar según el tipo de mercancía. La idea que subyace al aplicar esta regla es obtener el máximo de renta de los usuarios del puerto (des de un punto de vista microeconómico, se trataría de reducir al máximo el excedente del consumidor). Hay una tendencia en los puertos Europeos a reducir las tarifas a las mercancías con vistas a atraer a las navieras.

Des de la óptica de la regulación, en la medida que los puertos van hacia un modelo tipo *landport* y no se privatizan totalmente, no hay necesidad de regular los precios en estos puertos. Ahora bien, en los casos de los puertos sin competencia en su región de influencia es importante que se regulen las tarifas por el uso de la infraestructura para evitar abuso de la posición dominante del puerto.

Asimismo, es necesario regular las tarifas aplicadas a los usuarios del puerto por los servicios complementarios en los casos que sean suministrados por operadores privados y no existan garantías de competencia, tal como se ha comentado en el capítulo 2.

En este último sentido, uno de los mecanismos más utilizados para evitar el abuso de la posición dominante de mercado por parte del operador privado es el establecimiento de unos precios máximos (*price cap*) y la limitación de los beneficios de éste a través del *rate of returns*. Uno de los aspectos positivos del establecimiento de estos precios máximos es el incentivo que genera al operador privado hacia la eficiencia, en el sentido que le obliga a maximizar beneficios vía reducción de costes. Por el contrario, una demanda cautiva junto con una limitación de precios puede generar un incentivo para la disminución de la calidad y para la relajación respecto al medioambiente como estrategia de reducción de costes. Si, por otro lado, se utiliza como mecanismo de regulación la limitación de beneficios disminuye el riesgo y el coste que ello conlleva pero no crea un incentivo para la eficiencia.

#### **4.2.2 Las tarifas por la manipulación de las mercancías**

Tal como se ha indicado en el anterior apartado, las cargas relativas a la manipulación de la mercancía es la parte más significativa del coste total de los usuarios del puerto. Puesto que estas cargas tienen una incidencia significativa en la competitividad de un puerto, es importante que éstas estén directamente relacionadas con el coste real del servicio.

Con el proceso de privatización, la introducción de competencia y la liberalización ha supuesto que gran parte de estas cargas sean fijadas de acuerdo con los mecanismos de mercado. Ahora bien, el proceso de liberalización no siempre ha garantizado que el mecanismo de mercado se haya introducido; en algunos casos es necesario introducir la regulación, como en aquellos

puertos en que sólo hay uno o dos operadores, tal como ya se ha comentado.

En general, los puertos tienden a liberalizar las cargas de la manipulación de la mercancía, por lo que los operadores privados pueden fijarlas libremente. La competencia en el puerto y entre puertos es sustituta de la regulación en estos casos, puesto que los operadores adaptan los precios a las condiciones del mercado. Ello no obsta para que las Autoridades Portuarias se reserven cierto poder de control fijando unos niveles máximos de los precios. La regulación es más necesaria en aquellos casos en puertos medios y pequeños en los que el mercado da para una cantidad limitada de operadores, lo que a la práctica suele generar en muchas ocasiones prácticas colusivas entre éstos.

La determinación de unos niveles máximos de cargas por parte de la Autoridad Portuaria debe de ser estudiado con detalle habida cuenta que es el típico instrumento de regulación utilizado para alterar el comportamiento del operador privado, tal como ya se ha indicado. En la práctica, los contratos entre las Autoridades Portuarias y los operadores privados usualmente no precisan el mecanismo para fijar los precios máximos; simplemente se limitan a indicar que serán tales que garanticen al privado a obtener, por ejemplo, un período de recuperación de la inversión adecuado.

Es necesario que en el contrato de concesión se determinen las reglas que fijarán los precios de los servicios del operador autorizados por parte de la Autoridad Portuaria. En la medida que sean conocidos, el privado se adaptará a esta regulación; con la fijación de los precios máximos o período de recuperación de la inversión el efecto que se tiene sobre el concesionario es diferente en cada uno de estos modos. El regulador debe de establecer un sistema de regulación acorde con la información que disponga y con sus objetivos. Por ejemplo, si se quiere que el operador privado realice una importante inversión en equipos, será conveniente regular mediante el plazo de recuperación de la inversión, para poder así incentivar al operador.

Las dificultades para poder evaluar el coste operativo de los concesionarios portuarios pueden soslayarse estableciendo algún tipo de regulación basada en la comparativa entre diferentes operadores. Esto conlleva analizar las cargas aplicadas por la manipulación de la mercancía en puertos similares de una región dada e intentar obtener una correlación entre las cargas aplicadas y la eficiencia lograda. Las diferencias de precios pueden ser importantes entre puertos, dependiente del tipo de equipos que se utilicen y de la antigüedad de los mismos.

Región	Puerto	Coste, dólares por TEU
Europa del Norte	Antwerp	120
	Felixstowe	173
	Hamburg	182
	Rotterdam	156
	Zeebrugge	123
Europa del Sur	Algeciras	193
	Barcelona	211
	La Spezia	240
	Marsella	233
	Pireus	203
Asia	Pusan	175
	Kaohsiung	140
	Manila	118
	Singapur	117
América del Norte	Halifax	168
	Los Ángeles	256

Tabla 4.3: Coste unitario por manipulación de contenedores en diversos puertos del mundo. Fuente: Trujillo et al. (1999).

### 4.2.3 Los cánones de las concesiones

Uno de los aspectos fundamentales que surgen cuando se introduce la participación de la iniciativa privada en los puertos es la determinación de los pagos que los operadores privados deben de hacer a la Autoridad Portuaria o agente propietario de las infraestructuras por el uso de las mismas, esto es, los cánones. Si bien estos pagos no afectan directamente a los usuarios del puerto, a medida que los valores de éstos son más altos los ingresos obtenidos por las Autoridades Portuarias son mayores, lo que facilita la reducción de las tarifas portuarias no vinculadas a las terminales; aunque, la tendencia es que los operadores privados trasladen los mayores costes por cánones a las tarifas por la manipulación de la mercancía.

Uno aspecto positivo de esta procedencia mixta de los ingresos de las Autoridades Portuarias (tarifas portuarias y cánones) es que el riesgo de la demanda es trasladado al operador privado. Asimismo, los cánones permiten a la Autoridad Portuaria obtener una fuente segura y continua de ingresos, posibilitando que ésta financie los costes generales del puerto o una parte de la rehabilitación o construcción de la infraestructura.

En los puertos Europeos, los ingresos obtenidos de las tarifas portuarias son superiores que los procedentes de los cánones. Estos últimos suponen alrededor del cuarenta por ciento de los ingresos de las Autoridades Portuarias. En otras regiones, los ingresos procedentes de los

operadores privados pueden llegar a suponer el sesenta por ciento (por ejemplo, en Baltimore). Estos porcentajes dependerán, en última instancia, de la presencia del sector privado en la gestión del puerto.

No hay un procedimiento establecido para determinar la cantidad de cánones que deben de ser pagados por los operadores privados. Una regla adecuada es establecer una relación directa entre estos pagos y el coste de oportunidad de la infraestructura y de los componentes de la superestructura asociados a ésta. Para la infraestructura, una aproximación al coste de oportunidad puede ser el precio de mercado del terreno de la zona portuaria en cuestión, aunque adaptado a las características de la superficie utilizada por el concesionario. En cuanto al coste de oportunidad del equipamiento, éste será igual al precio de mercado del alquiler de los equipos.

Aunque el objetivo esencial de los cánones es reflejar el coste de oportunidad, es posible añadir otros aspectos, tales como, por ejemplo, el reparto del riesgo de las variaciones de la demanda entre el operador privado y la Autoridad Portuaria. Este reparto puede hacerse mediante pagos del concesionario dependientes de su nivel de actividad, aunque obligando a un pago mínimo. Es muy probable que el sistema óptimo de cánones sea una combinación entre el coste de oportunidad y riesgo.

A la práctica, las Autoridades Portuarias no suelen utilizar criterios de mercado para establecer el coste de oportunidad de los activos.

En la actualidad se pueden distinguir tres formas básicas de fijar los cánones, esto es, según un valor fijo, mini-max e ingresos compartidos.

Los cánones fijos consisten en cantidades fijas que suelen estar determinadas en función de los metros cuadrados de superficie utilizada y revisado periódicamente según algún criterio preestablecido (usualmente según la inflación). Los cánones suelen ser dependientes del servicio dado por el concesionario, por lo que el valor del metro cuadrado es diferente si está destinada a la manipulación de contenedores o al almacenaje de los mismos.

Puesto que el operador debe de pagar siempre la misma cantidad de canon con independencia de su volumen de actividad, ello supone un incentivo para la utilización al máximo posible toda la capacidad posible de la infraestructura.

El sistema de cánones fijos es el preferido por aquellos puertos cuyo principal objetivo es maximizar el paso de mercancías y los beneficios de la economía local.

Por lo que al segundo modo de fijos los cánones se refiere, el mini-max, el pago es variable situándose entre una banda prefijada. Las principales características de este sistema de pagos

son:

- Los pagos son establecidos en una banda, en la que se marcan unas cantidades mínimas y máximas.
- Los pagos están en función del volumen de actividad del operador privado.
- El valor mínimo siempre se aplica con independencia del volumen de actividad, aunque para su cálculo está basada en las expectativas de tráfico.
- El valor mínimo no suele cubrir los costes de los intereses ni las amortizaciones de las inversiones realizadas por la Autoridad Portuaria.
- Cuando el nivel máximo de actividad establecido en los cánones es alcanzado, no se paga más, aunque puedan existir incrementos ulteriores.

En este sistema de pagos el riesgo de la demanda es compartido entre el operador privado y la Autoridad Portuaria. Esta última tiene un fuerte incentivo a ayudar a generar el máximo tráfico posible para lograr recibir el nivel de canon máximo.

Respecto a la tercera modalidad en la fijación de los cánones, la de reparto de ingresos, las cantidades pagadas por el operador privado son variables. Hay un pago mínimo con independencia del volumen de actividad, pero no hay un máximo preestablecido.

Las principales particularidades de este sistema de cánones son:

- Hay un nivel mínimo de pago, el cual debe de ser fijado en función de las obligaciones financieras de la Autoridad Portuaria, de las previsiones de tráfico y los riesgos tolerables por el negocio.
- No hay un nivel máximo.
- El nivel máximo de canon vendrá dado por la capacidad de la terminal.
- El nivel mínimo de pago no cubre los costes de los intereses ni las amortizaciones incurridos por parte de la Autoridad Portuaria en la zona de la concesión.

De los tres sistemas de cánones indicados, éste es el único en que la Autoridad Portuaria puede maximizar los ingresos, los niveles de empleo y tráfico de mercancía al mismo tiempo.

En la figura 4.2.3 puede apreciarse la variación de los ingresos obtenidos por la Autoridad Portuaria en cada una de estas modalidades de fijación de cánones en función del tráfico.

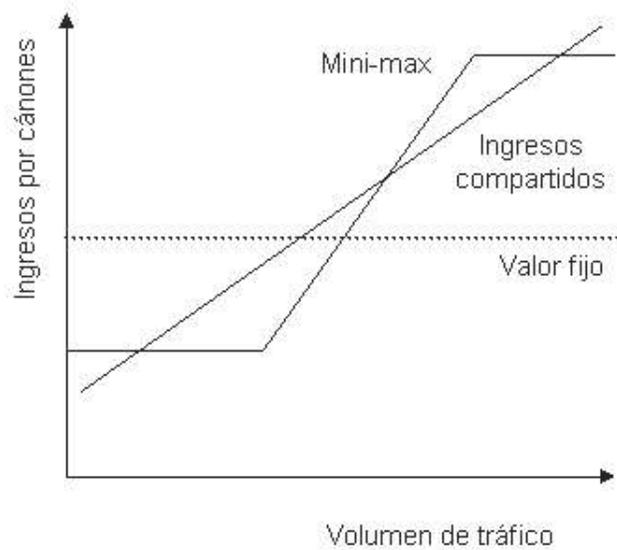


Figura 4.2: Ingresos para la Autoridad Portuaria en cada tipo de modalidad de canon en función del volumen de tráfico

## Capítulo 5

# Teoría del Principal y del Agente

Este capítulo supone un punto de inflexión en el sentido que, definido el marco actual de las concesiones portuarias y las formulaciones propuestas hasta el momento de tarifas y cánones para estas últimas, se trata ahora de definir el marco teórico en el cual se ha desarrollado la modelización de las concesiones y, a partir de ello, justificar la adopción de la teoría del principal y del agente para alcanzar los objetivos definidos en el primero de los capítulos.

A tenor de ello, se han definido cuatro apartados. En los tres primeros se definen los fundamentos teóricos de los modelos del principal y del agente para, a partir de ello y de la caracterización descrita en los anteriores capítulos acerca de la microeconomía y organización de las terminales de contenedores concesionadas, justificar en el último epígrafe la adopción de este entorno teórico para definir las tarifas y cánones de estas terminales.

### 5.1 El concepto de utilidad

Como premisa operativa a la teoría del principal y del agente es menester introducir el concepto de utilidad, pues tiene una relevancia importante en la elaboración de esta teoría.

La utilidad es, a grandes rasgos, una forma de describir las preferencias de cualquier consumidor. Este concepto ha sido desarrollado en el seno de la teoría de la elección del consumidor, por lo que es más frecuente hablar en estos términos, aunque ello no exime a ser extensible a otros agentes económicos, tal como posteriormente se hará en el presente trabajo.

Sea  $X$  el conjunto de bienes que un consumidor puede adquirir y la cesta de bienes ( $x$ ) el conjunto de bienes del conjunto que adquiere este último. Se puede suponer que el conjunto es convexo y cerrado. Se supone que el consumidor tiene unas determinadas preferencias en

el consumo de los bienes contenidos en  $X$ . Si  $x \succeq y$ , significa que el consumidor piensa que la cesta de bienes  $x$  es al menos tan buena como la  $y$ . De este modo las preferencias lo que hacen es ordenar el conjunto de cestas posibles. Para ello será necesario suponer las siguientes propiedades para las preferencias:

- Completas: cualesquieran que sean  $x$  e  $y$  pertenecientes a  $X$ , o bien  $x \succeq y$  o bien  $y \succeq x$  o ambos.
- Reflexivas: cualesquiera que sea  $x$  perteneciente a  $X$ ,  $x \succeq y$ .
- Transitivas: cualesquiera que sean  $x, y$  y  $z$  pertenecientes a  $X$ , si  $x \succeq y$  e  $y \succeq z$ , entonces  $x \succeq z$ .

Otro supuesto útil sobre las preferencias es la continuidad. Así, cualesquiera que sea  $y$  perteneciente a  $X$ , los conjuntos  $\{x : x \succeq y\}$  y  $\{x : x \preceq y\}$  son conjuntos cerrados. Por lo tanto,  $\{x : x \succ y\}$  y  $\{x : x \prec y\}$  son conjuntos abiertos.

A partir de aquí se puede definir el concepto de indiferencia, que se representará mediante el símbolo  $\sim$ , diciendo que  $x \sim y$  si y sólo si  $x \succeq y$  e  $y \succeq x$ .

En análisis económico se define la conducta del consumidor a través de la función de utilidad, esto es, una función  $u : X \mapsto R$  tal que  $x \succ y$  si y sólo si  $u(x) > u(y)$ . Se demuestra que si la ordenación de las preferencias es completa, reflexiva, transitiva y continua, esta primera puede representarse por medio de una función de utilidad continua -para una demostración más detallada ver Varian (1998). La característica fundamental de estas funciones es que indican preferencias del consumidor en un sentido ordinal. Es decir: si  $u(x)$  representa unas determinadas preferencias  $\succeq$  y  $f : R \mapsto R$  es una función monótona,  $f(u(x))$  expresa exactamente las mismas preferencias, ya que  $f(u(x)) \geq f(u(y))$  si y sólo si  $u(x) \geq u(y)$ .

Otros supuestos más que suelen adoptarse para garantizar que las funciones de demanda de consumo se comportarán correctamente:

- Convexidad: dados  $x, y$  y  $z$  pertenecientes a  $X$  tal que  $x \succeq y$  e  $y \succeq z$ , entonces  $tx + (1-t)y \succeq z$  cualquiera que sea  $t$  tal que  $0 \leq t \leq 1$ .
- Convexidad estricta: dados  $x \neq y$  y  $z$  pertenecientes a  $X$ , si  $x \succeq z$  e  $y \succ z$ , entonces  $tx + (1-t)y \succ z$  cualquiera que sea  $t$  tal que  $0 \leq t \leq 1$ .

Por otro lado, el siguiente teorema garantiza la existencia de la función de utilidad:

**Teorema 1 (Existencia de la función de utilidad).** *Supongamos que las preferencias son completas, transitivas, continuas y monótonas en el sentido fuerte (esto es, si  $x \geq y$  y  $x \neq y$ , entonces  $x \succ y$ ), entonces existe una función de utilidad continua  $u : R_+^k \rightarrow R$  que representa esas preferencias.*

Del concepto de función de utilidad se desprenden directamente dos conceptos: las curvas de indiferencia y la relación marginal de sustitución.

Respecto a esta de las primeras, estas curvas serían las curvas de nivel de la función de utilidad, esto es, el conjunto de todas las cestas de bienes indiferentes entre sí.

En cuanto a la relación marginal de sustitución, sea  $u(x_1, \dots, x_k)$  una función de utilidad. Supongamos que la cantidad del bien  $i$  aumenta. Se trata de establecer la variación que el consumidor debe de hacer del bien  $j$  para mantener constante la utilidad. Sean  $dx_i$  y  $dx_j$  las variaciones de  $x_i$  y  $x_j$  respectivamente. Puesto que la variación de utilidad debe ser cero, entonces se tiene que:

$$\frac{\partial u(x)}{\partial x_i} dx_i + \frac{\partial u(x)}{\partial x_j} dx_j = 0 \quad (5.1)$$

Por consiguiente la relación de sustitución entre los bienes  $i$  y  $j$  vendrá dada por:

$$\frac{dx_j}{dx_i} = -\frac{\frac{\partial u(x)}{\partial x_i}}{\frac{\partial u(x)}{\partial x_j}} \quad (5.2)$$

Ejemplos de las funciones de utilidad más utilizadas para representar las preferencias de los consumidores son:

- Supongamos que tan solo hay dos bienes,  $x_1$  y  $x_2$ , que son sustitutivos perfectos, en este caso la función de utilidad vendrá dada por  $u(x_1, x_2) = ax_1 + bx_2$ , donde  $a$  y  $b$  son dos constantes a determinar.
- Por contra, en caso de que los dos bienes sean complementarios perfectos, la función de utilidad tendrá la forma  $u(x_1, x_2) = \min\{ax_1, bx_2\}$ .
- Preferencias Cobb-Douglas:  $u(x_1, x_2) = x_1^a x_2^b$ .

Un desarrollo más pormenorizado de las funciones de utilidad puede hallarse en Varian (1998).

## 5.2 La incertidumbre

Definida la función de utilidad de apartado anterior, que permite analizar la conducta del consumidor (o agente económico en un sentido lato del término), se ha hecho bajo el supuesto de un entorno de determinista. En este epígrafe se trata de introducir en el análisis anterior la incertidumbre del consumidor. Para ello se abordarán tres aspectos: las loterías, la función de utilidad esperada y la aversión al riesgo.

### 5.2.1 Las loterías

Una lotería viene representada por medio de  $p \circ x \oplus (1 - p) \circ y$ , que significa que la probabilidad de que el consumidor reciba un premio  $x$  es  $p$  y la probabilidad de que reciba  $y$  es  $(1 - p)$ . El signo  $\circ$  vincula una probabilidad a cada premio  $x$ , en tanto que  $\oplus$  separa las posibilidades de la lotería. Los premios pueden consistir en dinero, cesta de bienes o nuevas loterías.

Los supuestos que suelen adoptarse respecto a la forma en que el consumidor recibe las loterías entre las que puede elegir:

- $1 \circ x \oplus (1 - 1) \circ y \sim x$ , donde  $\sim$  significa indiferencia (apartado 5.1). Recibir un premio con una probabilidad unitaria es lo mismo que recibirlo con absoluta certeza.
- $p \circ x \oplus (1 - p) \circ y \sim (1 - p) \circ y \oplus p \circ x$ . Al consumidor le da igual el orden en que el que describa la lotería.
- $q \circ (p \circ x \oplus (1 - p) \circ y) \oplus (1 - q) \circ y \sim (qp) \circ x \oplus (1 - qp) \circ y$ . La manera en que perciba el consumidor una lotería depende únicamente de las probabilidades netas de recibir los distintos premios.

Partiendo de estos supuestos se puede definir  $\Gamma$  como el espacio de loterías entre las que puede elegir el consumidor. Se supone que ésta tendrá unas determinadas preferencias sobre este espacio: dadas dos loterías cualesquiera, puede elegir entre ellas.

No en vano comentar que el hecho que las loterías tengan dos resultados no es restrictivo, puesto que es plausible que los resultados sean nuevas loterías.

### 5.2.2 La utilidad esperada

Partiendo de algunos otros supuestos secundarios puede aplicarse el teorema sobre la existencia de una función de utilidad mostrado en el epígrafe anterior. De este modo puede demostrarse

que existe una función  $u$  que describe las preferencias del consumidor, esto es,  $p \circ x \oplus (1-p) \circ y \succ q \circ w \oplus (1-q) \circ z$  si y sólo si

$$u(p \circ x \oplus (1-p) \circ y) > u(q \circ w \oplus (1-q) \circ z) \quad (5.3)$$

Tal como se ha comentado en el apartado anterior esta función no es única, puesto que cualquier transformación monótona podría hacer el mismo papel.

A partir de hipótesis adicionales, es posible hallar una transformación monótona de la función de utilidad que tenga la propiedad de la utilidad esperada, esto es:

$$u(p \circ x \oplus (1-p) \circ y) = pu(x) + (1-p)u(y) \quad (5.4)$$

De este modo, la utilidad de una lotería es la utilidad que se espera que reporten sus premios. la utilidad es aditivamente separable en cuanto a los resultados y lineal en las probabilidades.

Con vistas a establecer en qué términos es plausible hallar funciones con esta propiedad es menester previamente definir los siguientes axiomas:

- $\{p \in [0, 1] : p \circ x \oplus (1-p) \circ y \succeq z\}$  y  $\{p \in [0, 1] : z \succeq p \circ x \oplus (1-p) \circ y\}$  son conjuntos cerrados cualesquiera que sean  $x, y$  y  $z$  pertenecientes a  $\Gamma$ .
- Si  $x \sim y$ , entonces  $p \circ x \oplus (1-p) \circ z \sim p \circ y \oplus (1-p) \circ z$ .

Indica que las loterías cuyos premios son indiferentes, también lo son ellas.

- Existe una lotería  $b$  que es la mejor de todas y una lotería  $w$  que es la peor. Cualesquiera que sea  $x$  perteneciente a  $\Gamma$ ,  $b \succeq x \succeq w$ .
- La lotería  $p \circ b \oplus (1-p) \circ w$  se prefiere a la  $q \circ b \oplus (1-q) \circ w$  si y sólo si  $p > q$ .

Indica que si una lotería entre el mejor premio y el peor se prefiere a otra debe ser porque ofrece una mayor probabilidad de conseguir el mejor premio

En virtud de estos supuestos se puede indicar que:

**Teorema 2 (De la utilidad esperada).** Si  $(\Gamma, \succeq)$  satisface los axiomas anteriores, existe una función de utilidad  $u$  definida en  $\Gamma$  que satisface la propiedad de la utilidad esperada:  $u(p \circ x \oplus (1-p) \circ y) = pu(x) + (1-p)u(y)$ .

Asimismo se demuestra que la unicidad de la función de utilidad:

**Teorema 3 (Unicidad de la función de utilidad esperada).** *Una función de utilidad esperada es única excepto por una transformación afín.*

Donde si  $u()$  es una función de utilidad esperada, la transformación afín vendrá dada por  $v() = au() + c$  con  $a > 0$ .

Una demostración detallada de ambos teoremas se puede hallar en Varian [Var98].

Por otro lado, otro modo de expresar la función de utilidad esperada es el siguiente. Sea  $X$  una variable aleatoria que adopta los valores representados por  $x$ . la utilidad será igualmente una variable aleatoria,  $u(x)$ . La expectativa de esta variable aleatoria,  $E(u(x))$ , será la utilidad esperada de la lotería  $X$ . Si  $X$  es una variable discreta, la expresión de la utilidad esperada será:

$$Eu(x) = \sum_{i=1}^n p_i u(x_i) \quad (5.5)$$

mientras que si  $X$  es continua se tiene que:

$$E(u(x)) = \int u(x)p(x)dx \quad (5.6)$$

donde  $p(x)$  es la función de distribución de probabilidad de  $X$  en caso que ésta sea continua, mientras que  $p_i$  es la probabilidad de que  $X$  sea  $x_i$  en el supuesto que la variable aleatoria sea discreta.

### 5.2.3 La aversión al riesgo

Supongamos el caso en el que el espacio de loterías consiste únicamente en juegos cuyos premios son monetarios. Por el apartado anterior y en el caso que la conducta del consumidor satisface los distintos axiomas, será posible hallar una utilidad que tenga la propiedad de la utilidad esperada. De este modo, para calcular la utilidad que espera obtener el consumidor del juego  $p \circ x \oplus (1 - p) \circ y$  tan solo es necesario analizar  $pu(x) + (1 - p)u(y)$ .

Esto último viene representado en la figura 5.1 para un valor concreto de  $p$ ,  $p = p^*$ . En el ejemplo de la figura se observa que la utilidad de la lotería  $u(p \circ x \oplus (1 - p) \circ y)$  es menor que la utilidad del valor esperado de la lotería,  $px + (1 - p)y$ . Este tipo de conducta se denomina aversión al riesgo, es decir, el consumidor es contrario a correr riesgos. Si un consumidor es amante al riesgo, preferirá una lotería a su valor esperado; mientras que si es neutro al riesgo,

entonces será indiferente a estas dos últimas cuestiones.

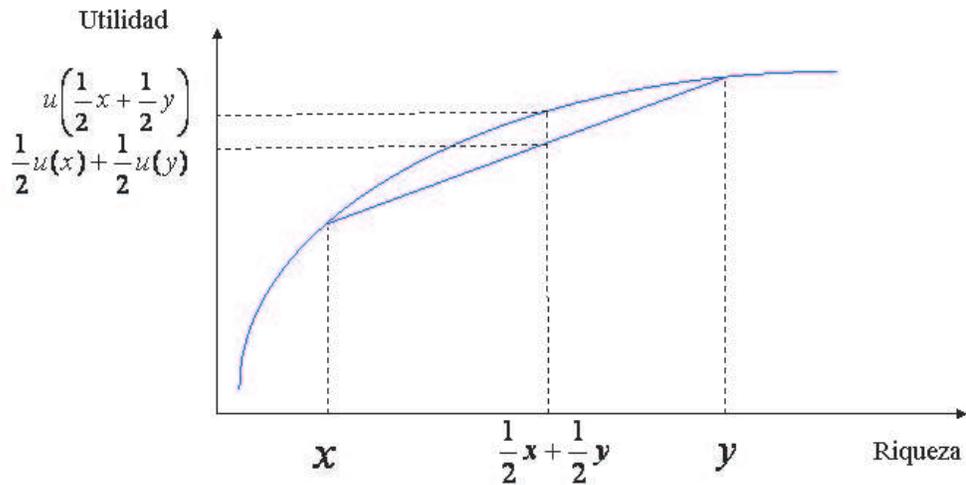


Figura 5.1: Representación de la utilidad esperada de un juego. La utilidad esperada del juego es  $\frac{1}{2}u(x) + \frac{1}{2}u(y)$ , mientras que la utilidad del valor esperado del juego es  $u\left(\frac{1}{2}x + \frac{1}{2}y\right)$ .

Tal como puede apreciarse en la figura 5.1, si hay aversión al riesgo, entonces la función de utilidad esperada es cóncava. Intuitivamente podría pensarse que a mayor concavidad, mayor aversión al riesgo, lo que vendría medido por medio de la segunda derivada de la utilidad esperada. ahora bien, si se multiplica esta utilidad por cualquier real positivo, la conducta del consumidor permanecerá igual, mientras que sí lo hará la segunda derivada de la función. Por consiguiente, si esta segunda derivada se normaliza dividiéndola por la primera es posible obtener una medida de la aversión al riesgo:

$$r(w) = -\frac{u''(w)}{u'(w)} \tag{5.7}$$

donde  $r(w)$  se denomina la medida de Arrow-Pratt de la aversión (absoluta) al riesgo.

De hecho partiendo de este último razonamiento se definen dos medidas a la aversión al riesgo, según esta sea global o relativa. En efecto:

En muchas ocasiones interesa saber si un agente es más contrario a correr riesgos que otro para cualquier nivel de riqueza. Para expresar ello, se pueden *a priori* distinguir los siguientes modos de expresar esta idea:

- Un agente cuya función de utilidad es  $A(w)$  es más contrario a correr riesgos que otro cuya función de utilidad es  $B(w)$  si:

$$-\frac{A''(w)}{A'(w)} > -\frac{B''(w)}{B'(w)} \quad (5.8)$$

para todos los niveles de riqueza  $w$ .

- El agente con la función de utilidad  $A(w)$  será más contrario a correr riesgos que el otro con una función  $B(w)$  si la función del primero es más cóncava que la del segundo. Es decir, la función de utilidad del agente  $A$  es una transformación cóncava de la del agente  $B$ , lo que es lo mismo a que exista una función creciente y estrictamente cóncava  $G(\cdot)$  tal que

$$A(w) = G(B(w)) \quad (5.9)$$

- Otro modo de indicar que  $A$  es más contrario al riesgo que  $B$  es decir que este primero estaría dispuesto a pagar más por evitar un determinado riesgo que el segundo. Si  $\tilde{\epsilon}$  es una variable aleatoria con  $E\tilde{\epsilon} = 0$ .  $\pi_A(\tilde{\epsilon})$  es la cantidad máxima de riqueza a la que renunciaría el agente  $A$  para no tener que enfrentarse a la variable aleatoria  $\tilde{\epsilon}$ , a saber:

$$A(w - \pi_A(\tilde{\epsilon})) = EA(w + \tilde{\epsilon}) \quad (5.10)$$

El primer miembro es la utilidad que genera la reducción de la riqueza en  $\pi_A(\tilde{\epsilon})$  y el segundo es la utilidad esperada del juego  $\tilde{\epsilon}$ . El agente  $A$  será globalmente más contrario al riesgo que  $B$  si  $\pi_A(\tilde{\epsilon}) > \pi_B(\tilde{\epsilon})$ .

Pues bien, se demuestra que estas tres condiciones son equivalentes. Más concretamente:

**Teorema 4 (de Pratt)** Sean  $A(w)$  y  $B(w)$  dos funciones de utilidad esperada de la riqueza diferenciables, crecientes y cóncavas. En este caso, las propiedades siguientes son equivalentes:

- 1  $-\frac{A''(w)}{A'(w)} > -\frac{B''(w)}{B'(w)}$  cualquiera que sea  $w$ .
- 2  $A(w) = G(B(w))$  en el caso de alguna función creciente y estrictamente cóncava  $G$ .
- 3  $\pi_A(\tilde{\epsilon}) > \pi_B(\tilde{\epsilon})$  en el caso de todas las variables aleatorias  $\tilde{\epsilon}$  tales que  $E\tilde{\epsilon} = 0$ .

Una demostración detallada de esta teorema puede consultarse en Varian (1998).

Otra de las medidas posibles de la aversión al riesgo es la relativa. Consideremos el caso de un consumidor cuya riqueza es  $w$  y supongamos que se le ofrece la posibilidad de participar en

el siguiente tipo de juegos: recibir un  $x$  por ciento de su riqueza actual con una probabilidad  $p$ ; y recibir un  $y$  por ciento de su riqueza actual con una probabilidad  $(1 - p)$ . La utilidad esperada de esta lotería será:

$$pu(xw) + (1 - p)u(yw) \quad (5.11)$$

Se trata de juegos con una estructura diferente de los anteriores: ahora es multiplicativa mientras que antes era aditiva.

En este tipo de juegos surge la cuestión de cuándo aceptará un consumidor más juegos relativos pequeños que otro con un determinado nivel de riqueza. Con el mismo análisis que en el caso anterior, se llega a la medida de Arrow-Pratt de la aversión relativa al riesgo:

$$\rho = -\frac{u''(w)}{u'(w)} \quad (5.12)$$

Para finalizar el apartado de la incertidumbre no en vano destacar que la utilidad depende, aparte de lo indicado en los anteriores párrafos, de las circunstancias o del estado de la naturaleza. Es decir, las preferencias por los distintos bienes dependen del estado de la naturaleza en que puedan conseguirse. Así, a título de ejemplo, un paraguas puede parecer muy distinto a un consumidor dependiendo si está lloviendo o no.

## 5.3 Fundamentos de la Teoría del Principal y del Agente

La mayor parte de la información contenida en el presente apartado ha sido obtenida de Macho-Stadler (1994), donde se puede profundizar en la materia. Aquí tan solo nos ceñimos a explicar aquellos aspectos esenciales de la Teoría del Principal y del Agente, dejando para un apartado posterior aquellas partes de esta teoría que serán tratadas con más profusión en los modelos desarrollados en la tesis.

### 5.3.1 Aspectos básico de la teoría

La Teoría del Principal y del Agente está centrada en el estudio de una de las imperfecciones de los mercados, la información asimétrica. Más concretamente, trata de analizar relaciones bilaterales en la que una parte contrata a otra para que realice cierta labor o tome ciertas decisiones con las particularidades que los objetivos de éstas están en conflicto y que una de

éstas sabe algo que la otra desconoce (información asimétrica).

Los elementos esenciales de esta teoría son:

- El principal: quien diseña el contrato que ofrecerá el agente.
- El agente: quien acepta el contrato si éste le conviene.
- El agente realiza un esfuerzo o acción para el principal.
- El contrato: es un compromiso creíble para ambas partes en el que se especifican las obligaciones de cada una de ellas en todas las contingencias. Uno de los aspectos fundamentales que obtiene es la formulación del mecanismo en que se remunerará al agente.

Se pueden distinguir tres tipologías de problemas de información asimétrica, a saber, riesgo moral, selección adversa y señalización.

Un problema de riesgo moral se presenta cuando la acción del agente no es verificable o cuando el agente recibe información privada una vez iniciada la relación. Así, los participantes disponen de la misma información al establecerse el vínculo. La asimetría reside en el hecho que una vez firmado el contrato el principal no puede observar (o no puede verificar) la acción (o el esfuerzo) del agente, o no puede controlarlo perfectamente.

Las situaciones de selección adversa, por su parte, se generan cuando el agente dispone de información privada antes el inicio de la relación. El principal puede verificar el comportamiento del agente una vez firmado el contrato; el problema reside en que la decisión óptima o el coste de ésta depende del tipo de agente o de ciertas particularidades de la producción que el agente es el única en conocer exactamente. Cuando la asimetría de la información se refiere a las características del agente, el principal sabe que el agente puede ser de varios tipos pero no puede distinguirlos.

El tercer tipo de asimetría de la información, la señalización, se refiere a situaciones en las que el agente, previamente a la firma del contrato, envía alguna señal observada por el principal. Es decir, antes de que el principal le ofrezca el contrato, el agente toma una decisión que puede influir en la creencia que el principal tiene sobre su identidad.

### **5.3.2 Modelo base**

Como premisa operativa al tratamiento matemático de cada una de las tipologías indicadas, en el presente apartado se describe y analiza sucintamente el contrato óptimo cuando la información

es simétrica, esto es, la información de que disponen ambas parte puede ser incompleta, en el sentido de existir variables aleatorias cuya realización específica se desconoce, pero la parte conocida es común a los dos participantes.

Consideremos en primer lugar el resultados, cuyo valor monetario lo indicaremos como  $x$ .  $X$  será el conjunto de resultados posibles. El resultado final dependerá del esfuerzo que el agente haya incorporado en su tarea, que denotaremos por  $e$ , y de la realización de una variable aleatoria sobre la que ambos participantes tienen la misma distribución *a priori*. Por tanto, al inicio de la relación disponen de la misma información.

El resultado, al tener una componente aleatoria, será también una variable aleatoria. Si el conjunto de resultados es finito, entonces la probabilidad de obtener un resultado  $x_i$  condicionado al esfuerzo  $e$  vendrá dado por:

$$Pr(x = x_i|e) = p_i(e) \quad i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (5.13)$$

Si  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ , tiene que verificarse que  $\sum_{i=1}^n p_i(e) = 1$ . Supondremos  $p_i(e) > 0$  para todo  $e$ .

Dado que existe incertidumbre, es necesario analizar la reacción de cada uno de los participantes frente a ella. Sus preferencias sobre el riesgo vienen expresadas mediante las funciones de utilidad esperada; más concretamente se va a suponer que éstas son de tipo Von Neumann-Morgnestern- esto es, funciones del tipo  $\sum_i \pi_i v_i(c_i)$ , donde  $\pi_i$  es la probabilidad de que se produzca el estado  $c_i$ .

Así, vamos a considerar que el principal, quien decide sobre la contratación, recibe la producción y paga al agente, sus preferencias viene representadas por la función de utilidad  $B(\cdot)$ . El objetivo es obtener el máximo beneficio posible, por lo que:

$$Max \quad B(x - w) \quad (5.14)$$

donde  $w$  representa el pago al agente. Admitiremos que se trata de una función creciente y cóncava, esto es,  $B' > 0$  y  $B'' \leq 0$ . La concavidad de la función indica que el principal puede ser neutral o averso al riesgo. Asimismo, conviene destacar que a función no depende del esfuerzo del agente sino del resultado obtenido por éste.

El agente, por su parte, recibe un pago monetario por participar en la relación e incorpora un esfuerzo que supone para él un coste. Formalmente, la función de utilidad del agente vendrá

dada por:

$$U(w, e) = u(w) - v(e) \quad (5.15)$$

Suponer que las preferencias del agente pueden describir por medio de una función de utilidad aditivamente separable implica admitir que la aversión al riesgo del agente no varía con el esfuerzo incorporado. Se trata de un supuesto que no introduce una gran pérdida de generalidad y permite al propio tiempo simplificar considerablemente el análisis.

El agente puede ser neutral o averso al riesgo respecto al pago, esto es, la función de utilidad es cóncava respecto al pago. Por otro lado, un mayor esfuerzo implica una mayor desutilidad. Además, se admitirá que la desutilidad marginal del esfuerzo no disminuye con éste. Formalmente:

$$u'(w) > 0, u''(w) \leq 0, v'(e) > 0, v''(e) \geq 0, \quad (5.16)$$

De las funciones objetivo del principal y del agente se puede comprobar la existencia de un conflicto de intereses, y es que: mientras al principal le interesa el resultado, el agente no le preocupa directamente; el principal no está interesado directamente en el esfuerzo, en tanto que para el agente sí pues representa coste para él; y está el hecho que presumiblemente mayores esfuerzos llevan a mejores resultados. El contrato representa el medio de hacer compatibles los objetivos de ambas partes.

El principal propone al agente un contrato. El agente, si lo rechaza, deberá acudir a otras oportunidades que el mercado ofrezca, las cuales determinan el umbral de aceptación del contrato. Se denomina utilidad de reserva,  $\underline{U}$ , a la utilidad esperada que le garantizan las oportunidades externas.

Llegados a este punto, estamos en condiciones de formular el contrato de información simétrica. El problema del principal consiste en diseñar un contrato que el agente acepte en una situación en la que ambos poseen la misma información. El resultado es una variable aleatoria, por lo que el contrato puede depender de todas las variables que sean verificables. El principal debe decidir, por consiguiente, tanto el esfuerzo  $e$  que pedirá al agente como los pagos  $\{w(x_i), \dots\}_{i=1, \dots, n}$  que ofrecerá en función del resultado. Para ello debe calcular los contratos que son aceptables para el agente, en función del esfuerzo que se le pide realizar, y elegir el contrato que, consiguiendo del agente ese esfuerzo, sea al más barato. Esta es la situación eficiente y en ella la cuestión central es determinar el reparto óptimo del riesgo entre ambos participantes.

Formalmente, la solución eficiente (en el sentido de Pareto) es la solución al programa siguiente:

$$Max_{[e, \{w(x_i)\}_{i=1, \dots, n}]} \sum_{i=1}^n p_i(e) B(x_i - w(x_i)) \quad (5.17)$$

$$s.a \quad \sum_{i=1}^n p_i(e) u(x_i) - v(e) \geq \underline{U} \quad (5.18)$$

Este programa establece que el principal maximiza su excedente bajo la restricción de que el agente está dispuesto a aceptar el contrato (restricción de participación). En el programa estamos suponiendo que el principal puede pedir al agente el esfuerzo  $e$  ya que es verificable, puesto que estamos en un contexto de información simétrica.

Ahora se trata de determinar las conclusiones que pueden extraerse del contrato óptimo con información simétrica a partir de la resolución del programa. Sea  $e^0$  el esfuerzo eficiente y  $\{w^0(x_i)_{i=1, \dots, n}\}$  el mecanismo de pago asociado. Utilizando las condiciones de Kuhn-Tucker para la obtención del óptimo, las condiciones de primer orden del programa respecto de los pagos en las distintas contingencias se describen para todo  $i$ :

$$\frac{\partial L}{\partial w(x_i)}(w^0(x_i)) = -p_i(e^0) B'(x_i - w^0(x_i)) + \lambda^0 p_i(e^0) u'(w^0(x_i)) = 0 \quad (5.19)$$

donde,

$$\lambda^0 = \frac{B'(x_i - w^0(x_i))}{u'(w^0(x_i))} \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (5.20)$$

Esta expresión exige que el multiplicado asociado con la restricción de aceptación,  $\lambda^0$ , se estrictamente positivo; si fuese cero implicaría que  $B'() = 0$ , o que  $u'() = +\infty$ , lo cual es imposible. La restricción de aceptación estará, por ende, saturada. Otra forma de verlo es la siguiente: si el agente estuviese en la relación con una utilidad mayor  $\underline{U}$ , entonces estaría dispuesto a pagar por firmar el contrato, de modo que el principal podría pedir dinero al agente, lo que equivale a rebajar en esa cantidad el salario en todas las contingencias.

### El mecanismo de pago óptimo

La ecuación 5.19 implica que el reparto óptimo de riesgo implica que se verifique la ecuación:

$$\frac{B'(x_i - w^0(x_i))}{u'(w^0(x_i))} = cte. \quad (5.21)$$

esto es, el cociente de las utilidades marginales del principal y del agente debe de ser el mismo con independencia del resultado final.

Puede representarse gráficamente el problema cuando hay dos cantidades de resultados posibles,  $x_1$  y  $x_2$ , con  $x_1 < x_2$ , mediante la caja de Edgeworth. Las dimensiones de ésta serán los resultados de las dos contingencias,  $x_1$  y  $x_2$ . Para la representación supongamos la condición 5.21 para el caso de dos resultados de la forma siguiente:

$$\frac{B'(x_2 - w_2)}{B'(x_1 - w_1)} = \frac{u'(w_2)}{u'(w_1)} \quad (5.22)$$

El punto óptimo vendrá dado tanto por la condición anterior como por la restricción de participación saturada, esto es:

$$\sum_{i=1}^2 p_i(e)u(w(x_i)) - v(e) = \underline{U} \quad (5.23)$$

En la caja de Edgeworth, figura 5.2, están representadas las curvas de indiferencia tanto del principal, con origen en  $O_p$ , como del agente, cuyo origen está en  $O_A$ . La restricción de aceptación de la agente se traduce en que tan solo son aceptables para él los contratos que se encuentren bien sobre la curva de indiferencia de nivel  $\underline{U}$ , bien por encima de esta curva. La solución descrita por las condiciones 5.22 y 5.23 es el punto de tangencia entre la curva de indiferencia del agente en el nivel y la curva de indiferencia del principal más distante de su origen.

No en vano destacar que las rectas  $O_AA$  y  $O_pP$  representan los sucesos seguros para el agente y el principal respectivamente. La solución óptima lleva a los dos participantes a repartir el riesgo si ambos son aversos, ya que el punto óptimo se halla entre estas dos rectas.

### El nivel óptimo de esfuerzos

Al analizar cuál es el esfuerzo exigido al agente, surge un problema al resolver el programa 5.18 al no ser necesariamente cóncavo respecto del esfuerzo, aunque las funciones de utilidad del principal y del agente estén bien definidas (sean cóncavas). Y es que la distribución de los resultados también depende del esfuerzo del agente.

En lo que sigue, para abordar el problema del modo más cómodo posible, nos situaremos en los dos casos extremos del problema, que el principal sea neutro al riesgo, por un lado, y lo que sea el agente, por otro, por posibilitar una resolución explícita del programa.

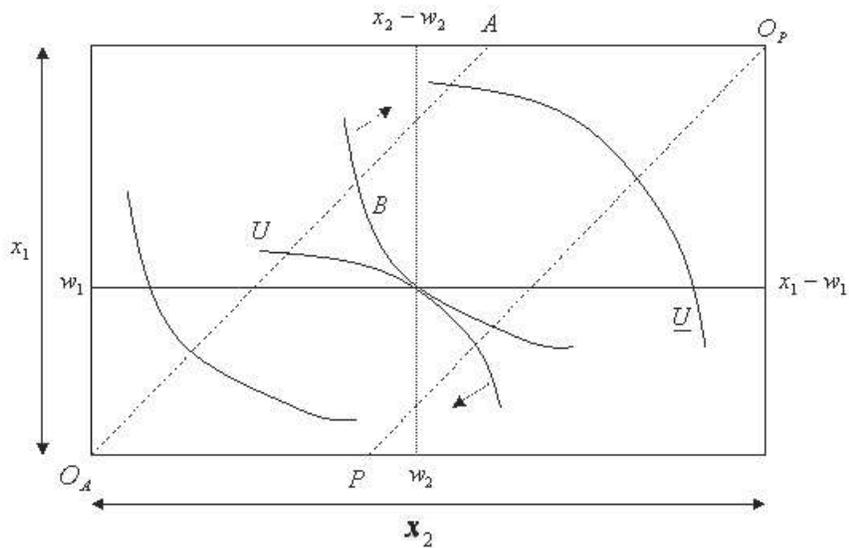


Figura 5.2: Solución óptima en caso de información simétrica.

- El principal es neutral ante el riesgo ( $B'() = cte.$ ) y el agente averso.

De antes se sabe que el contrato óptimo lleva a un salario que no varía con el resultado,  $w^0 = u^{-1}(\underline{U} + v(e))$  -el desarrollo seguido para llegar a este resultado se puede ver con detalle en Macho-Stadler [MP94], página 35-, pero que depende del esfuerzo que elija el agente. Entonces el programa principal se puede redefinir de la forma siguiente:

$$Max_e \quad \sum_{i=1}^n p_i(e) x_i u^{-1}(\underline{U} + v(e)) \quad (5.24)$$

Este programa tiene como solución es esfuerzo óptimo  $e^0$ . Imponiendo la condición de primer orden y si en nivel óptimo de esfuerzo es interior debe de verificarse que:

$$\sum_{i=1}^n p'_i(e^0) x_i = (u^{-1})'(\underline{U} + v(e^0)) v'(e^0) \quad (5.25)$$

De esta expresión se infiere que en el esfuerzo óptimo, los beneficios marginales esperados de un incremento del esfuerzo (lado izquierdo de la expresión) coinciden con el aumento marginal de salario que el principal debe de pagar al agente para compensarle por el aumento de la desutilidad del esfuerzo (lado derecho de la expresión anterior).

La condición 5.25 se puede describir de una modo más sencillo a partir del teorema de la función inversa. Este teorema expresa que la derivada de una función inversa es igual a la

inversa de la derivada de la función evaluada ésta en el punto correspondiente. Con esto y teniendo en cuenta la expresión del salario óptimo, se puede expresar 5.25 de la forma:

$$\sum_{i=1}^n p_i'(e^0)x_i = \frac{v'(e^0)}{u'(w^0)} \quad (5.26)$$

La condición de segundo orden necesaria para que un punto verificando 5.25 sea efectivamente un máximo local es:

$$\sum_{i=1}^n p_i''(e^0)x_i + \frac{u''}{(u')^3}(w^0)(e^0)^2 - \frac{v''(e^0)}{u'(w^0)} \leq 0 \quad (5.27)$$

Una condición suficiente para que nos encontremos frente a un máximo local es que la ecuación anterior se verifique con desigualdad estricta. De hecho, una condición suficiente para que  $e^0$  sea un máximo local reside en que la desigualdad anterior se verifique para todo nivel de esfuerzo. Ello es siempre el caso si:

$$\sum_{i=1}^n p_i''(e)x_i \leq 0 \quad (5.28)$$

Puesto que el principal es neutral ante el riesgo, sólo hay un salario para el agente porque es óptimo asegurarle completamente, de modo que la determinación del esfuerzo (y simultáneamente la del pago) puede hacerse gráficamente. Consiste en utilizar la igualdad 5.26 junto con la restricción de aceptación,  $u(u^0) - v(e^0) = \underline{U}$ . El contrato óptimo se encuentra en la intersección de ambas curvas. Ver figura 5.3.

En la figura 5.3  $\Pi(e)$  representa los beneficios brutos del principal, esto es:

$$\Pi(e) = \sum_{i=1}^n p_i(e)x_i \quad y \quad \Pi'(e) = \sum_{i=1}^n p_i'(e)x_i \quad (5.29)$$

- El agente es neutral al riesgo y el principal es averso.

En este caso se ha visto antes que el contrato óptimo es tipo franquicia del modo  $w^0(x_i) = x_i - k$ . Por tanto, el nivel de esfuerzo óptimo es la solución del programa:

$$Max_e \sum_{i=1}^n p_i(e)x_i - v(e) \quad (5.30)$$

cuya condición de primer orden es:

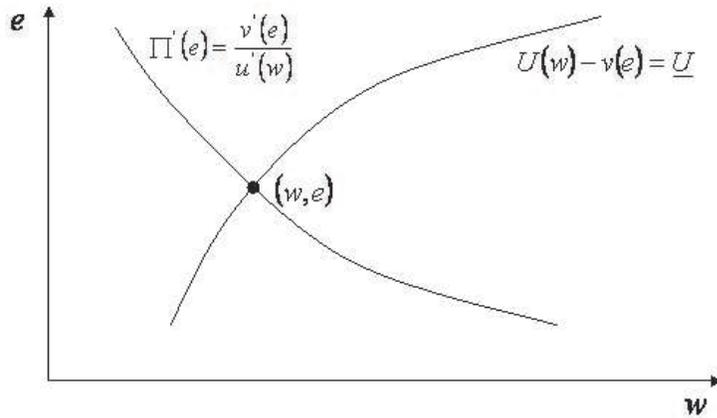


Figura 5.3: Contrato óptimo en caso de principal neutro al riesgo y agente averso.

$$\sum_{i=1}^n p_i'(e^0)x_i = v'(e^0) \quad (5.31)$$

Es decir, el pago marginal esperado debe de ser igual al coste marginal para el esfuerzo óptimo. Para que el nivel de esfuerzo que cumpla la expresión anterior sea un máximo local es preciso que:

$$\sum_{i=1}^n p_i''(e^0)x_i - v''(e^0) \leq 0 \quad (5.32)$$

Igual que en punto anterior, una condición suficiente para que se trate de un máximo global es que se verifique la condición  $\sum_{i=1}^n p_i''(e)x_i \leq 0$  para todo nivel de esfuerzo  $e$ .

### 5.3.3 El problema del riesgo moral

En el anterior apartado se ha presentado y analizado el modelo base a partir del cual se puede desarrollar la formulación de las diferentes tipologías de problemas de información asimétrica que se pueden plantear.

En este apartado se presentará el problema del riesgo moral en su formulación matemática.

En este caso, supondremos que el comportamiento del agente no es observable para el principal, o que, aun siendo observable, no es verificable, aunque sí lo es el resultado del esfuerzo. El resto de los elementos del problema son información simétrica. La no verificabilidad del esfuerzo conlleva a que éste no puede ser incluido entre los términos del contrato.

Otra de las características de los modelos de riesgo moral es el arbitraje ente la eficiencia (en el sentido de reparto óptimo de riesgo) e incentivos.

La diferencia entre la situación de información simétrica respecto a la situación de riesgo moral es que el agente ahora elige el esfuerzo que va a realizar. Esta elección se escribe:

$$e \in arg \left\{ Max_e \sum_{i=1}^n p_i(e)u(w(x_i)) - v(e) \right\} \quad (5.33)$$

Esta última expresión constituye la restricción de incentivos. Esta restricción refleja el problema del riesgo moral: una vez aceptado el contrato por parte de la agente y dado que el esfuerzo no es verificable (no entra en los términos del contrato), el agente elige aquel que maximiza su función objetivo.

Por otro lado, el agente, igual que en el caso del contrato con información simétrica, decide si acepta o no el contrato que el principal le propone. Formalmente:

$$\sum_{i=1}^n p_i(e)u(w(x_i)) - v(e) \geq \underline{U} \quad (5.34)$$

Nos referiremos a esta restricción como condición de participación.

En una primera etapa el principal diseñará el contrato intentando de anticiparse al comportamiento del agente. Concretamente, el contrato será la solución al programa:

$$Max_{[e, \{w(x_i)\}_{i=1, \dots, n}]} \sum_{i=1}^n p_i(e)B(x_i - w(x_i)) \quad (5.35)$$

*t.q*

$$\sum_{i=1}^n p_i(e)u(w(x_i)) - v(e) \geq \underline{U} \quad (5.36)$$

$$e \in arg \quad Max_e \sum_{i=1}^n p_i(e)u(w(x_i)) - v(e) \quad (5.37)$$

Para ver con más detalle el funcionamiento del riesgo moral, consideremos el caso que el agente sólo puede elegir entre un esfuerzo alto (H) y otro bajo (L). Supondremos, para simplificar, que el principal es neutral al riesgo.

Consideremos que el esfuerzo únicamente toma dos valores:  $e \in \{e^H, e^L\}$ . El nivel  $e^H$  representa la situación en la que el agente trabajo duro, mientras que realizando  $e^L$  su esfuerzo

es bajo. La desutilidad del esfuerzo es mayor cuando trabaja mucho que cuando trabaja poco:  $v(e^H) > v(e^L)$ . Por comodidad, ordenaremos el conjunto de resultados  $X$  de peor a mejor:  $x_1 < x_2 < \dots < x_n$ . Sea  $p_i^H = p_i(e^H)$  la probabilidad de que se obtenga el resultado  $x_i$  cuando el esfuerzo incorporado por el agente es alto, para todo  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ . Del mismo modo,  $p_i^L = p_i(e^L)$  será la probabilidad de que el resultado sea  $x_i$  cuando el esfuerzo es bajo. Supondremos que todas las probabilidades son mayores cero. Además el principal prefiere el esfuerzo alto al bajo. Un caso en el que la productividad es mayor con el esfuerzo alto que con el bajo es cuando  $p^H$  domina a  $p^L$  en el sentido de dominancia estocástica de primer orden, esto es:

$$\sum_{i=1}^k p_i^H < \sum_{i=1}^k p_i^L \quad \forall k = 1, 2, \dots, n-1 \quad (5.38)$$

Esto representa el hecho que es más fácil obtener resultados malos cuando se trabaja poco que cuando se trabaja mucho.

Si el principal desea conseguir el esfuerzo bajo, entonces no existe un verdadero problema de riesgo moral. Basta que pague al agente una cantidad fija, al igual que haría en el caso de información simétrica para garantizarle el nivel de utilidad de reserva, ya que, ante un pago, fijo, el agente siempre escoge el realizar el esfuerzo mínimo, pues es el que maximiza su utilidad (minimiza la desutilidad del esfuerzo).

Ahora bien, si el principal desea conseguir que el agente realice  $e^H$ , será necesario hallar un contrato que pague a éste en función del resultado. En este caso, la restricción de incentivos del agente se escribe de este modo:

$$\sum_{i=1}^n p_i^H u(w(x_i)) - v(e^H) \geq \sum_{i=1}^n p_i^L u(w(x_i)) - v(e^L) \quad (5.39)$$

Así, el agente elige el esfuerzo  $e^H$  si la esperanza de ganancia asociada a este esfuerzo, en términos de utilidad, es superior al coste que implica realizarlo.

Para calcular el conjunto óptimo que lleva al agente a realizar el esfuerzo alto, el principal resuelve el siguiente programa:

$$Max_{\{w(x_i)\}_{i=1,\dots,n}} \sum_{i=1}^n p_i^H [x_i - w(x_i)] \quad (5.40)$$

*t.q*

$$\sum_{i=1}^n p_i^H u(w(x_i)) - v(e^H) \geq \underline{U} \quad (5.41)$$

$$\sum_{i=1}^n p_i^H u(w(x_i)) - v(e^H) \geq \sum_{i=1}^n p_i^L u(w(x_i)) - v(e^L) \quad (5.42)$$

Aplicando las condiciones de Kuhn-Tucker y operando se llega al siguiente resultado- para más detalle del desarrollo ver Macho-Stadler:

$$u'(w(x_i)) = \frac{1}{\lambda + \mu \left[ 1 - \frac{p_i^L}{p_i^H} \right]} \quad (5.43)$$

o lo que es lo mismo:

$$w(x_i) = (u')^{-1} \left[ \frac{1}{\lambda + \mu \left[ 1 - \frac{p_i^L}{p_i^H} \right]} \right] \quad (5.44)$$

En esta última expresión se puede comprobar que para aquellos resultados  $x_i$  tales que  $p_i^H = p_i^L$ ,  $w(x_i) = (u')^{-1} \left( \frac{1}{\lambda} \right)$ . Para valores  $x_i$  tales que  $\frac{p_i^L}{p_i^H} > 1$ , tendremos que  $w(x_i) < \bar{w}$  ( $u'$  es decreciente), y para aquellos  $x_i$  tales que  $\frac{p_i^L}{p_i^H} < 1$ , tendremos que  $w(x_i) > \bar{w}$ .

No en vano destacar que el principal no hace inferencia estadística, ya que él es quien elige el esfuerzo del agente cuando se plantea el programa. Por tanto, sabe con certeza cómo se comportará el agente. Si le paga en función del resultado es porque éste es el único medio de influir sobre su esfuerzo, no porque no puede prever el comportamiento que adoptará el agente cuando firma el contrato.

### 5.3.4 El problema de la señalización adversa

En esta tipología de inexistencia de información simétrica, antes de informar el contrato el agente tiene más información que el principal sobre algunas de sus características.

Las situaciones de selección adversa no sólo surgen cuando las ventajas informativas del agente contratado se refiere a sus propias características. Aparecen cuando el agente tiene más información sobre cualquiera de las variables relevantes para la relación.

Para la formulación del problema de la selección adversa vamos a considerar el caso en que el principal es neutral ante el riesgo que contrata a un agente (ya sea neutral o averso al riesgo) para que éste realice un cierto esfuerzo. Supondremos que la realización del esfuerzo  $e$  lleva asociado un pago esperado de  $\Pi(e)$ . Para que el programa sea cóncavo, supondremos que  $\Pi'(e) > 0$  y  $\Pi''(e) < 0$ .

El agente puede ser de dos tipos, que el principal no puede distinguir, esto es: el primero tiene una desutilidad del esfuerzo representada por la función  $v(e)$ , mientras que la del segundo es mayor para el mismo esfuerzo y la supondremos igual a  $kv(e)$ , con  $k > 1$ . Para garantizar el mismo esfuerzo, el principal se verá obligado a pagar más por el segundo tipo de agente que por el primero. Las utilidades del primer y segundo tipo de agentes son respectivamente  $U^1(w, e) = u(w) - v(e)$  y  $U^2(w, e) = u(w) - kv(e)$ .

Si no hubiese problema de selección adversa y el principal estuviese en relación con el primero tipo de agente, resolvería el siguiente programa:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{(e,w)} \quad & \Pi(e) - w & (5.45) \\ & t.q \end{aligned}$$

$$u(w) - v(e) \geq \underline{U} \quad (5.46)$$

El contrato óptimo viene caracterizado por las ecuaciones:

$$u(w^{1*}) - v(e^{1*}) = \underline{U} \quad (5.47)$$

$$\Pi'(e^{1*}) = \frac{v'(e^{1*})}{u'(w^{1*})} \quad (5.48)$$

La primera de estas ecuaciones es la restricción de aceptación y la segunda la condición de eficiencia.

En el caso de tratarse de una agente del segundo tipo (de mayor desutilidad), la solución óptima será:

$$u(w^{2*}) - v(e^{2*}) = \underline{U} \quad (5.49)$$

$$\prod'(e^{2*}) = \frac{v'(e^{2*})}{u'(w^{2*})} \quad (5.50)$$

La figura 5.4 muestra un modo gráfico de cómo calcular los contratos óptimos. En ella se representan las curvas isobeneficio del principal que intersectan con las curvas de indiferencia del agente correspondientes a las combinaciones  $(e, w)$  en las que éste obtiene su utilidad de reserva.

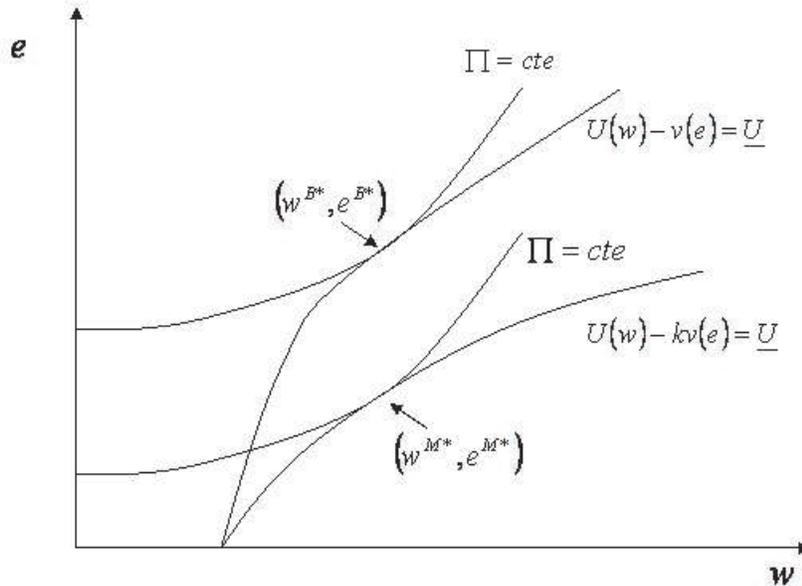


Figura 5.4: Contratos óptimos para un problema de selección adversa.

Si hay algún problema de información asimétrica y el agente conoce su tipo mientras que el principal no, entonces los contratos  $\{(e^{1*}, w^{1*}), (e^{2*}, w^{2*})\}$  no constituyen una buena oferta para el principal. Si el principal ofrece ambos contratos a cualquier agente deján de lo elegir el que más le guste, el agente de tipo 2 (de mayor desutilidad) escogerá el tipo de contrato que le está dirigido, pero el agente de tipo 1 también elegirá  $(e^{2*}, w^{2*})$  en lugar de  $(e^{1*}, w^{1*})$ , ya que:

$$U^1(e^{2*}, w^{2*}) = u(w^{2*}) - v(e^{2*}) > u(w^{2*}) - kv(e^{2*}) = \underline{U} \quad (5.51)$$

Los contratos bajo información simétrica no son óptimos cuando hay asimetría de información.

Para establecer cuáles con los mejores contratos que el principal puede ofrecer a agente, supongamos que el principal otorga al hecho que el agente sea del tipo 1 una probabilidad  $q$ , con  $0 < q < 1$ .

El principal puede diseñar un menú de contratos  $\{(e^1, w^1), (e^2, w^2)\}$  donde  $(e^1, w^1)$  va dirigido al agente más eficaz y  $(e^2, w^2)$  al menos eficaz. Con este esquema el principal alcanza más utilidad que si ofrece uno. Para que este menú esté correctamente planteado debe de ocurrir que el agente de tipo 1 elija efectivamente el contrato dirigido hacia él, lo mismo que el agente de tipo 2. Puesto que el tipo de agente no es observable por el principal, el menú debe de verificar que cada agente obtenga más utilidad declarando su verdadera característica que engañando al principal.

Se podría pensar en ampliar los menús de contratos en ofrecer más de dos posibilidades, pero no serviría de nada, puesto que uno de ellos nunca sería elegido. Lo mismo puede decirse de articular mecanismos más complicados donde los agentes deban mandar mensajes más sofisticados. Esta discusión es la base del principio de revelación, que establece que, para buscar el contrato óptimo, el principal debe de ceñirse a ofrecer los menús a cada agente que revele su verdadera característica. A estos mecanismos se les suele llamar revelados o directos.

Por último, el programa que el principal debe de resolver consiste en maximizar sus beneficios bajo las restricciones de que, tras ver los contratos, el agente decide entrar en la relación con el principal y que escoge aquel contrato que va dirigido a su tipo de trabajador:

$$Max_{(e^1, w^1), (e^2, w^2)} \quad q \left[ \prod(e^1) - w^1 \right] + (1 - q) \left[ \prod(e^2) - w^2 \right] \quad (5.52)$$

*t.q*

$$u(w^1) - v(e^1) \geq \underline{U} \quad (5.53)$$

$$u(w^2) - kv(e^2) \geq \underline{U} \quad (5.54)$$

$$u(w^1) - v(e^1) \geq u(w^2) - v(e^2) \quad (5.55)$$

$$u(w^2) - kv(e^2) \geq u(w^1) - kv(e^1) \quad (5.56)$$

Las dos primeras restricciones recogen el hecho que los agentes tiene que aceptar los contratos (restricciones de aceptación), mientras que las últimas son las condiciones que aseguran que cada tipo de agente tiene interés en aceptar el contrato dirigido a él (restricciones de auto-selección o incentivos).

Resolviendo el anterior programa -ver Varian (1998) para un detalle de la demostración- se

llega que el menú de contratos  $\{(e^1, w^1), (e^2, w^2)\}$  viene definido por las siguientes ecuaciones:

$$u(w^1) - v(e^1) = \underline{U} + (k - 1)v(e^2) \quad (5.57)$$

$$u(w^2) - kv(e^2) = \underline{U} \quad (5.58)$$

$$\frac{1}{u'(w^1)} = \frac{\prod'(e^1)}{v'(e^1)} \quad (5.59)$$

$$\frac{q(k - 1)v'(e^2)}{(1 - q)v'(e^1)} + \frac{kv'(e^2)}{u'(w^2)} = \prod'(e^2) \quad (5.60)$$

Finalmente, es precisa una apreciación. El programa de selección adversa surge con independencia de la aversión al riesgo del agente. La razón (y la diferencia con las situaciones de riesgo moral) es que aquí no se trata de un problema de seguros que entra en conflicto con un problema de incentivos, sino de que no se sabe quién es el interlocutor al que se le está ofreciendo el contrato.

Una de las mayores aplicaciones de la selección adversa es la determinación de las tarifas por parte de la Administración Pública en industrias reguladas. La asimetría de la información reside en el desconocimiento por parte del regulador de la función de costes de la industria.

### 5.3.5 Señalización

En este apartado se abordarán aquellas situaciones de asimetría de la información en las cuales algún participante en la relación tiene interés en señalar alguna característica antes de firmar el contrato.

Tal como se ha ido viendo a lo largo del resto de los apartados, la información privada distorsiona los contratos porque el agente trata de beneficiarse de dicha información.

Así, por ejemplo, supongamos una situación de selección adversa. En el menú de contratos que le principal ofrece, no todos los tipos de agente obtiene una esperanza de utilidad de reserva, sino que algunos consiguen rentas informacionales. La necesidad de dar incentivos para ningún agente tenga interés en mentir sobre su tipo, obliga al principal a mejorar la utilidad media de aquellos agentes que mas se pueden aprovechar de la relación. Por tanto, la posibilidad de ocultar información sí beneficia a los agentes (al menos, a algunos tipos de agentes). En el principal, por su parte, estará en peor situación que si hubiese información simétrica: está obligado a garantizar a algunos agentes más utilidad esperada que la de reserva y, además, distorsiona los contratos para que los agentes no tengan interés en "camuflarla".

Sin embargo, no siempre los agentes encuentran beneficiosa disponer de más información que los principales. En ocasiones, preferirían que la información fuera pública. Ello ocurre cuando, gracias a que los principales computen por los agentes, éstos consiguen apropiarse de todo el excedente de la relación. Comparado los resultados en información asimétrica con los de simétrica se concluiríamos que mientras un tipo de agente está igual en ambas situaciones el otro está pero al no poder demostrar cuál es su tipo.

En definitiva, la información asimétrica siempre genera ineficiencias debido al margen de maniobra que permite a una de las partes (el agente), pero este último no siempre es interesante para el agente.

Nunca un agente tendrá interés en revelar la información privada de que dispone si con ello obtiene más utilidad. Tampoco deseará señalar dicha información cuando la señal (actividad cuyo fin es únicamente transmitir información) es costosa y no gana más con ello. Sin embargo, sí tendrá interés en señalar su característica cuando la aparición de dicha información hace mejorar su situación; esencialmente cuando los principales compiten por los agentes.

Para de un modo más formal qué situaciones se pueden tener problemas de señalización a continuación se muestra un ejemplo.

### **El poder informativo de los contratos**

En este ejemplo se muestra el efecto señalizados del contrato. Supongamos que el principal es neutral ante el riesgo, en tanto que el agente puede ser averso o neutral. Hay dos posibilidades que el agente no puede distinguir: el trabajo es cómodo y la productividad baja o se trata de un trabajo más duro aunque la productividad sea mayor.

En el primer caso las funciones de beneficios y utilidad se escriben:

$$B^l(w, e) = \prod(e) - wU^l(w, e) = u(w) - v(e) \quad (5.61)$$

mientras que en la segunda situación posible tenemos:

$$B^k(w, e) = k \prod(e) - wU^k(w, e) = u(w) - kv(e) \quad (5.62)$$

donde  $k > 1$ . La utilidad de reserva del agente es  $\underline{U}$ .

El esfuerzo  $e$  es una variable verificable pero la desutilidad que supone no lo es. Un empresario, por ejemplo, puede establecer un contrato fijando las horas que el trabajador debe realizar, pero no puede especificar en el contrato si el trabajo es duro o no. Cuando la dureza

del trabajo es información privada del empresario, el trabajador valora tanto las horas trabajadas (representadas por la variable  $e$ ) como la dureza del trabajo (que es mayor si la desutilidad del esfuerzo está multiplicada por el parámetro  $k$ ).

Para poder analizar la distorsión introducida por la simetría de la información, analizamos en primer lugar el supuesto de información simétrica.

a) *Información simétrica*

Sean  $C^{*l} \equiv (w^{l*}, e^{l*})$  y  $C^{*k} \equiv (w^{k*}, e^{k*})$  los contratos óptimos en información simétrica, que son, respectivamente, soluciones de los programas de maximización siguientes:

$$Max_{(e,w)} \quad \Pi(e) - w \quad (5.63)$$

$$s.a \quad u(w) - v(e) \geq \underline{U} \quad (5.64)$$

y

$$Max_{(e,w)} \quad k \Pi(e) - w \quad (5.65)$$

$$s.a \quad u(w) - kv(e) \geq \underline{U} \quad (5.66)$$

Las ecuaciones que caracterizan a los contratos óptimos, tras aplicar las condiciones de Khun-Tucker, son:

$$u(w^l) - v(e^l) = \underline{U} \quad (5.67)$$

$$\frac{\Pi'(e^l)}{v'(e^l)} = \frac{1}{u'(w^l)} \quad (5.68)$$

y

$$u(w^k) - v(e^k) = \underline{U} \quad (5.69)$$

$$\frac{\Pi'(e^k)}{v'(e^k)} = \frac{1}{u'(w^k)} \quad (5.70)$$

Gráficamente la situación viene representada en la figura 5.5. No en vano comentar que las curvas de isobeneficio de un principal tipo  $k$  son más horizontales que las de un principal tipo  $l$ : está dispuesto a aumentar más el salario para obtener un incremento del esfuerzo.

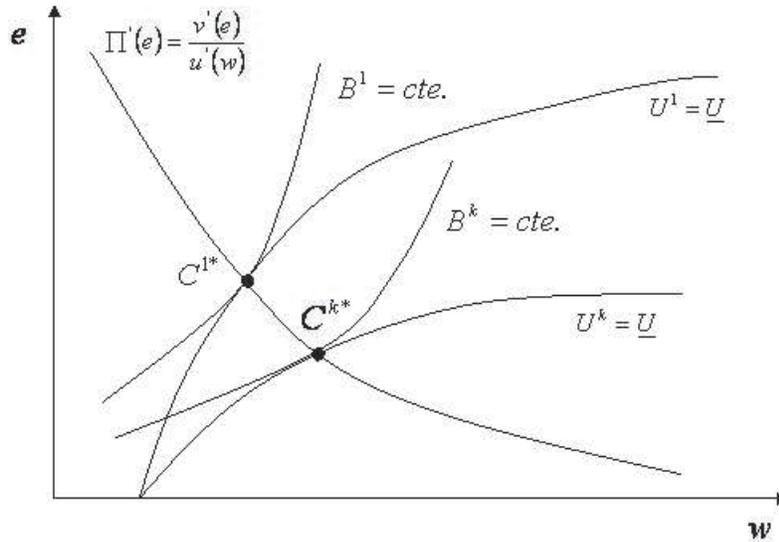


Figura 5.5: Solución al programa de señalización.

Aunque un aumento del esfuerzo beneficie más al principal de tipo  $k$ , el hecho de que tenga que pagar un salario más elevado ( $kv(e) > v(e)$ ) hace que los contratos óptimos verifiquen que:

$$e^{k*} < e^{l*} \quad y \quad w^{k*} > w^{l*} \quad (5.71)$$

b) *El agente no tiene información sobre la dificultad de la tarea.*

Los contratos  $C^{l*}$  y  $C^{k*}$  no son una oferta válida cuando las agentes no pueden disponer de información de su desutilidad del esfuerzo antes de iniciar la relación. Para ambas empresas  $C^{l*}$  es preferido a  $C^{k*}$ , puesto que obtiene un mayor esfuerzo a un salario menor. Si un agente recibe una oferta  $C^{l*}$  sabe que puede provenir de cualquiera de los dos tipos de principal, por lo que no aceptará.

En esta situación, es de especial relevancia la creencia que tiene el participante no informado sobre el tipo del principal una vez éste ha realizado alguna acción, que en este caso es el contrato.

Supongamos el desarrollo temporal de los acontecimientos. Sea  $q$  la probabilidad a priori de que el principal sea del tipo  $l$  y  $(1 - q)$  la probabilidad de que sea del tipo  $k$ . Denotemos

por  $q(w, e)$  la probabilidad que asigna al agente el hecho de que el principal sea del tipo  $l$  cuando le es ofrecido un contrato  $(w, e)$ . En la figura 5.6 se muestra la secuencia de los diferentes hitos.

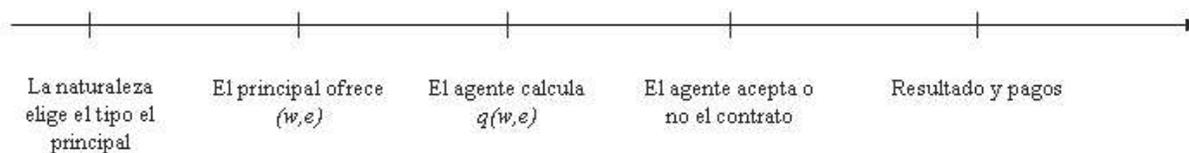


Figura 5.6: Secuencia de decisiones en caso de señalización.

Llegados a este punto se trataría de hallar los equilibrios en los que el contrato señala perfectamente el tipo del principal (equilibrios separadores) y en los que el contrato no revela información (equilibrios agrupadores).

No se muestra en desarrollo matemático ulterior por entender que requiere de un desarrollo excesivo a los efectos del presente apartado, donde tan solo se quieren deslindar los aspectos fundamentales de las diferentes tipologías de las situaciones de información asimétrica.

### 5.3.6 Extensiones de la teoría

En los anteriores apartados se han densitos los aspectos básicos de la teoría del principal y del agente. A partir de ahí de pueden derivar una variedad de situaciones concernientes a problemas de información asimétrica que pueden resolverse en base de las formulaciones anteriores.

Así, sin que ello sea limitativo, se pueden considera las siguientes extensiones de los modelos básicos presentados anteriormente:

- Relaciones entre varios principales y un agente.
- Diferentes agentes con posibilidad de considerar diferentes vínculos entre ellos.
- El problema de la asimetría de la información repetido en el tiempo.
- Combinación de selección adversa y riesgo moral.
- Etc.

## 5.4 Ejemplo de aplicación al transporte. Peaje en las autopistas

En el ámbito del transporte las aplicaciones de la Teoría del Principal y del agente han sido destacables. Esencialmente se han centrado en la esfera de los contratos de transporte público (Gatell et al., 1998). A título de ejemplo, a continuación se describe sucintamente una de las aplicaciones en la definición de los peajes de autopistas realizada por Vergara et al. (2001).

El objetivo del estudio es la formulación de un modelo de gestión de autopistas de peaje. Se considera a las empresas concesionarias de autopistas como operadores de transporte en régimen de gestión interesada de tal suerte que el peaje se defina por las prestaciones diferenciales de la autopista respecto a vías alternativas y por tasas de congestión en entornos metropolitanos. Por consiguiente, el usuario pagaría por el servicio recibido.

Esto supone un cambio en la determinación del peaje: se pasa de un sistema, como el actual, en el que el mecanismo de fijación es estrictamente de equilibrio financiero, a otro donde las tarifas varían según el tiempo de ahorro en la autopista de los usuarios, la regularidad del tiempo del viaje, el incremento de seguridad y confort, los costes sociales del tráfico y la variación horaria de los flujos de tráfico, entre otros posibles factores.

El operador privado debe de explicitar sus procesos y costes de financiación, operación y de mantenimiento. La Administración, por su parte, debe de regular los costes y la calidad del servicio de la empresa concesionaria del mismo modo que se hace en la actualidad con los operadores de transporte público de viajeros.

En este caso, el papel del principal lo desempeña la Administración competente y el de agente las empresas concesionarias. Ambos actores buscan maximizar sus funciones de utilidad teniendo en cuenta múltiples variables. La incógnita a determinar es la fórmula del peaje.

Con la aplicación de tal modelo de concesión de autopistas, se incentivaría la eficiencia controlando los costes unitarios de operación y mantenimiento y ofreciendo bonificaciones (*bonus*) anuales en función de los incrementos de calidad logrados. Asimismo, también se contemplan penalizaciones en caso de producirse un descenso apreciable de la calidad (*malus*).

## 5.5 Justificación del uso de esta teoría en la modelización de las relaciones contractuales de una concesión portuaria

Dado el modo de cómo se organizan las terminales de contenedores concesionadas y las características macroeconómicas de las mismas y suponiendo un entorno de no plena competencia, se

inferen cuáles van a ser los aspectos esenciales que caracterizan la relación entre la Autoridad Portuaria, el operador privado de la terminal y la sociedad de estiba y desestiba. En efecto:

En primer lugar, si bien hay una tendencia a la coparticipación público-privada, el concesionario de la terminal debe de realizar unas ingentes inversiones iniciales, la rentabilidad de las cuales está mayoritariamente sujeta a la evolución futura de la demanda, con el riesgo que ello concierne. Por consiguiente, se produce una asimetría en los incentivos a fuertes inversiones iniciales entre el capital privado y el público: el privado tenderá a moderar la inversión, mientras que este segundo preferirá que sea la máxima posible.

Asimismo, debido fundamentalmente a un entorno de no plena competencia, existirá una resistencia a cualquier inversión durante la explotación para la mejora tecnológica de las instalaciones que no suponga un incremento significativo de la productividad de las operaciones; todo lo contrario a la voluntad de la Autoridad Portuaria.

Un tercer rasgo definitorio de la relación operador privado-Autoridad Portuaria, surgido directamente de cierto poder de mercado de las terminales, es la dificultad de situarse las tarifas de los servicios portuarios a los niveles propios de la plena competencia.

Como consecuencia de todo lo anterior, se produce un *trade offs* entre los objetivos de la Autoridad Portuaria y los del concesionario de la terminal. De hecho, todas las causas esgrimidas se pueden concretar en un entorno de no plena competencia y en los riesgos inherentes al negocio.

Por otro lado, en la mayoría de los casos, la Autoridad Portuaria no puede conocer con la precisión adecuada la estructura de costes e ingresos de los operadores privados, esto es, hay un problema de información oculta por parte del organismo regulador.

Por consiguiente, la asimetría en la información de partes participantes en la relación e intereses contrapuestos son las dos particularidades esenciales que del marco organizativo de las terminales concesionadas en la actualidad; de lo que se infiere la aplicabilidad de la teoría del principal y del agente como marco teórico de análisis de la relación.

## Capítulo 6

# Metodología e hipótesis fundamentales

En los anteriores capítulos se ha definido tanto el contexto organizativo del sistema portuario en general y el de las terminales de contenedores en particular como las particularidades de estas últimas desde el punto de vista microeconómico. En base a todo ello el objetivo del presente capítulo es plantear la relación entre los agentes implicados en la terminal de contenedores concesionada en los términos de la teoría del principal y del agente y, a partir de ahí, definir los aspectos básicos de los modelos a desarrollar en la presente tesis.

Para ello, el capítulo se ha estructurado en seis apartados. En el primero de ello se plantea el problema a resolver, para describirlo en el segundo apartado en términos de la teoría del principal y del agente. En el siguiente apartado, se describen sucintamente algunos aspectos más de esta teoría que serán posteriormente utilizados en la modelización. En el cuarto apartado se indica el criterio de rentabilidad que será adoptado. En el quinto se halla la justificación de algunas de las hipótesis que se adoptarán en los modelos, dejando para el último una sucinta descripción de la metodología global del estudio.

### **6.1 Características de la relación entre los agentes. Planteamiento del problema**

A partir de los rasgos microeconómicos fundamentales de una terminal de contenedores y del esquema básico organizativo se desprenden las características esenciales que van a imperar en la relación entre el concesionario de la terminal, la SED y la Autoridad Portuaria.

El objetivo cardinal de la presente tesis es definir los mecanismos (cánones y tarifas) que incentive a incrementar los esfuerzos en aquellas acciones del concesionario que le interesan a la Autoridad Portuaria, donde es imprescindible incluir en el análisis la mano de obra portuaria (de ahora en adelante Sociedad de Estiba y Desestiba). Y ello por dos motivos fundamentales:

- Es un proveedor del concesionario que tiene un protagonismo importante en la explotación de la terminal en un doble sentido: representa uno de los coste de explotación importantes del concesionario de la terminal; y constituye uno de los factores productivos (mano de obra) de la terminal.
- Relacionado con este primer punto, tal como está actualmente organizando el sector portuario en Europa (capítulo 2), la Sociedad de Estiba y Desestiba actúa en régimen de monopolio, por lo que obtiene importantes rentas monopolísticas procedentes del concesionario, quien a su vez las transmite al cliente final de la terminal, cuando no hay una situación de plena competencia entre terminales, como es el caso que se estudia.

Por consiguiente, en aras de realizar un análisis realista sobre los incentivos de una terminal de contenedores, hay que considerar tres actores: la Autoridad Portuaria, el concesionario de la terminal y la Sociedad de Estiba y Desestiba (SED). Entre ellos se establecen acuerdos contractuales.

A partir de las particularidades de las relaciones contractuales entre estos tres actores se concretan los rasgos fundamentales del programa matemático a considerar en el modelo.

Por lo que al contrato entre la Autoridad Portuaria (principal) y el concesionario de la terminal (agente) se refiere, varias características microeconómicas de las terminales dan lugar a que se genere un problema de riesgo moral. En efecto:

En primer lugar, si bien hay una tendencia a la coparticipación pública y privada, los operadores privados deben de realizar unas ingentes inversiones iniciales, la rentabilidad de las cuales está mayoritariamente sujeta a la evolución futura de la demanda, con el riesgo que ello concierne. Por consiguiente, se produce una asimetría en los incentivos a realizar fuertes inversiones iniciales: el privado tenderá a moderar la inversión, mientras que la Autoridad Portuaria preferirá que sea la máxima posible.

Adicionalmente, en situaciones donde hay dominio de la posición de mercado por parte del concesionario, éste no tiene tanta predisposición a invertir durante la explotación para la mejora de la productividad y calidad del servicio como las terminales sujetas a una fuerte competencia. Por parte de la Autoridad Portuaria, en pro del aprovechamiento al máximo posible del uso

de la infraestructura portuaria, deseará las productividades y calidad del servicio los más altos posibles.

Un tercer rasgo, también surgido de las situaciones de poder de mercado por parte del operador de la terminal, es la falta de incentivo de éste por tener las tarifas por los servicios a los niveles propios de la plena competencia; tendencia acentuada por los elevados costes por los servicios de la mano de obra portuaria, derivados por la condición monopolística de esta última.

A partir de estos tres rasgos de las terminales de contenedores concesionadas relacionados con la inversión, la explotación y las tarifas se desprenden bajo el enfoque de la Economía de la Información dos particularidades:

- Tenemos que una de las partes (Autoridad Portuaria) establece un contrato de concesión con el operador de la terminal para que construya y explote la terminal pero con la particularidad que los objetivos de ambos entran en conflicto (tanto en la inversión a realizar como en productividades y calidad del servicio).
- Además, una vez establecido el contrato, muchas de las acciones del agente no pueden ser perfectamente verificadas por el principal, como, por ejemplo, el esfuerzo en la reducción de las tarifas por los servicios de la terminal.

Ambos aspectos son los que han justificado el empleo de la teoría del principal y del agente en general y del riesgo moral en particular (apartado 5.5).

Asimismo, hay un problema de información oculta surgido del hecho que el agente dispone de información relevante para la relación contractual que el principal no conoce con certeza, que sería básicamente la estructura de costes y el modo en que se organiza la explotación.

En definitiva, entre el concesionario de la terminal y la Autoridad Portuaria se establece un problema de riesgo moral con información oculta.

Una segunda relación contractual es entre la Autoridad Portuaria y la SED. Es muy parecida a la anterior en el sentido que este primero concede el servicio de estiba y desestiba a una empresa (SED). A partir de ello se desprenden las características de la relación contractual bajo el prisma de la teoría del principal y del agente, esto es:

- Los objetivos del principal y del agente entran en conflicto. La Autoridad Portuaria deseará un servicio de mano de obra portuaria que cobre las tarifas menores posibles, al tiempo que tenga las productividades máximas alcanzables; acciones que para el agente le suponen un coste.

- Una vez formalizada la relación contractual, el esfuerzo del agente en la reducción de tarifas e incrementos de productividad no podrán ser perfectamente verificados por el principal.
- Y la SED dispone de información no accesible por la Autoridad Portuaria (información oculta), que sería básicamente la estructura de costes y modo de operar del agente.

Por consiguiente, entre la Autoridad Portuaria y la SED se forma igualmente una relación contractual de riesgo moral con información oculta.

En cuanto al contrato entre la SED (agente) y el concesionario de la terminal (principal), si bien el primero forma parte del proceso productivo de este segundo (siendo uno de los factores de producción y desarrollado su trabajo en la propia terminal) hay una serie de acciones de la SED que no podrán ser enteramente verificables por el principal una vez establecido el contrato; la más importante de las cuales serían el esfuerzo por mejorar productividades y reducción de tarifas. Así, pues, hay un problema de riesgo moral.

Por otra parte, puesto que el principal no puede conocer con exactitud los costes reales que tiene el agente, hay un problema de información oculta, aunque con mucha menor intensidad que en las otras dos relaciones anteriores, básicamente por dos razones:

- Los costes del agente son básicamente por un solo concepto (mano de obra), por lo que la incertidumbre está más acotada.
- El agente desarrolla su actividad en la terminal, de modo que el principal puede conocer bien tanto la cantidad de mano de obra como el modo en que se organiza el trabajo.

Por otro lado, el modelo de organización de la concesión que finalmente se adoptará en la presente tesis será el representado en la figura 6.1 de un modo esquemático y en la figura 6.1 más extensamente, en consonancia con el modo más habitual de organizarse las concesiones de terminales de contenedores en Europa (capítulo 3). Además se asume, tal como se ha indicado en el capítulo introductorio, que la terminal no opera en un entorno de plena competencia, es decir, tiene poder de mercado.

No en vano destacar que en el modelo adoptado se supone que la estiba y desestiba (SED) es enteramente privada. En la actualidad en los puertos españoles este servicio se articula por medio de la Sociedad Estatal de Estiba y Destiba (SEED) la cual está participada en un cierto porcentaje por Puertos del Estado (del 25%), de modo que a efectos puramente legales no se trataría de una sociedad totalmente privada. No obstante, a pesar esta participación pública en esta sociedad, los trabajos de estiba y desestiba están fuertemente controlados por

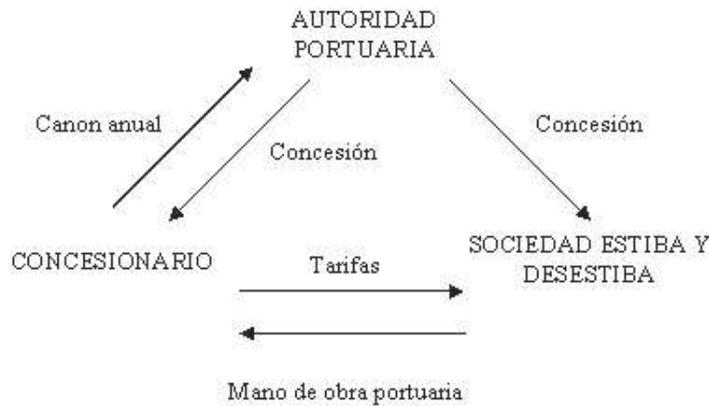


Figura 6.1: Actores considerados en la concesión de la terminal y vínculos básicos entre ellos.

los estibadores, prácticamente en régimen de monopolio (capítulo 2). Además, en muchos de los países del resto de Europa es un servicio prestado por empresas íntegramente privadas. Por consiguiente, a efectos de la presente tesis, se supondrá que la estiba y desestiba es realizada por una empresa privada y será denotada por sociedad de estiba y desestiba (SED).

Por otro lado, respecto a los flujos de ingresos y pagos entre los tres actores anteriores, éstos quedan indicados en la figura 6.1, para lo cual se ha partido del esquema básico de las actuales terminales españolas (capítulo 2 y 3), que pueden suponerse representativas del resto de las europeas. De este modo para cada uno de los actores involucrados se tiene que:

- La Autoridad Portuaria concede la explotación de la terminal a un operador. A cambio este último paga cada uno de los años de la concesión un cánon. En actual legislación española sobre la materia (*Ley 48 de 2003, de 26 de noviembre, de régimen económico y prestación de servicios de los puertos de interés general*) este tributo es básicamente por dos conceptos: por ocupación del dominio público y por actividad. Aquí no se supondrá esta segmentación y se va a adoptar una única formulación de cánon ( $C_{at}$ ), la cual será utilizada como mecanismo de incentivo.
- Asimismo, la Autoridad Portuaria concede el servicio de estiba y desestiba. En España en la actualidad la Sociedad Estatal de Estiba y Desestiba (SEED) no ha de pagar cánon alguno a la Autoridad Portuaria, lo cual se ha mantenido en el modelo supuesto en la tesis. Se ha empleado como único mecanismo de incentivo la regulación de las tarifas. Y es que, tal como se ha indicado antes, los objetivos de la Autoridad Portuaria y del concesionario de la terminal son los mismos respecto a la SED: incremento de productividades

y reducción de sus tarifas. Puesto que la SED actúa en régimen de monopolio, el concesionario de la terminal no tendría posibilidades prácticas de imponer a la mano de obra portuaria ninguna formulación sobre las tarifas que fuesen en perjuicio de la estiba; tan solo la Autoridad Portuaria, como organismo público, tendría potestad para ello. La Autoridad Portuaria también tendría capacidad para definir otro instrumento para incentivar al agente a realizar esfuerzos adicionales: el canon, el cual busca el mismo fin. Ahora bien, resulta más adecuado emplear tan solo uno de los mecanismos de incentivo posibles. Se optado por las tarifas por ser el más directo, puesto que incide en cómo se perciben los ingresos y en qué cantidad; mientras que el canon influye en uno de los componentes del coste de explotación y no se utiliza en la actualidad en las terminales españolas. Esta tarifa para un año  $t$  de la concesión se denotará por  $T_{et}$ . Los costes de la SED son fundamentalmente por el pago de la mano de obra ( $C_{et}$ ).

- El concesionario de la terminal contrata el servicio de la SED pagando para ello una tarifa ( $T_{et}$ ) a este segundo. El concesionario ha de hacer frente a los costes anuales de explotación ( $C_{ct}$ ) y a la inversión inicial de la terminal ( $I_0$ ). Dicho sea de paso que lo más usual es que parte de esta inversión inicial sea sufragada por la Autoridad Portuaria (comentado con mayor detalle en el apartado 3). Ahora bien, puesto que el modelo analizado se centra durante la explotación, se ha considerado como un parámetro del modelo la inversión, lo cual influirá en los costes fijos. La Autoridad Portuaria se hace cargo de una parte ( $I'_0$ ) de la inversión inicial necesaria.

## 6.2 Esquema básico del modelo

Definido el esquema esencial de los flujos de costes e ingresos entre los agentes y principales y los tipos de asimetría de información entre las relaciones contractuales entre éstos, el próximo paso es la determinación de los modelos de principal y de agente y la identificación de los componentes básicos de éstos, sin llegar a ninguna formulación matemática, que se desarrollará posteriormente.

De las tres modelos de principal y agente identificados anteriormente en una concesión de una terminal de contenedores, tan solo van a ser considerados dos, a saber: el definido por el vínculo entre el concesionario de la terminal y la Autoridad Portuaria y el establecido entre la Autoridad Portuaria y la SED; sin considerar el modelo entre la SED y el concesionario de la terminal. Los motivos por los cuales no se tiene en cuenta esto último son los mismos

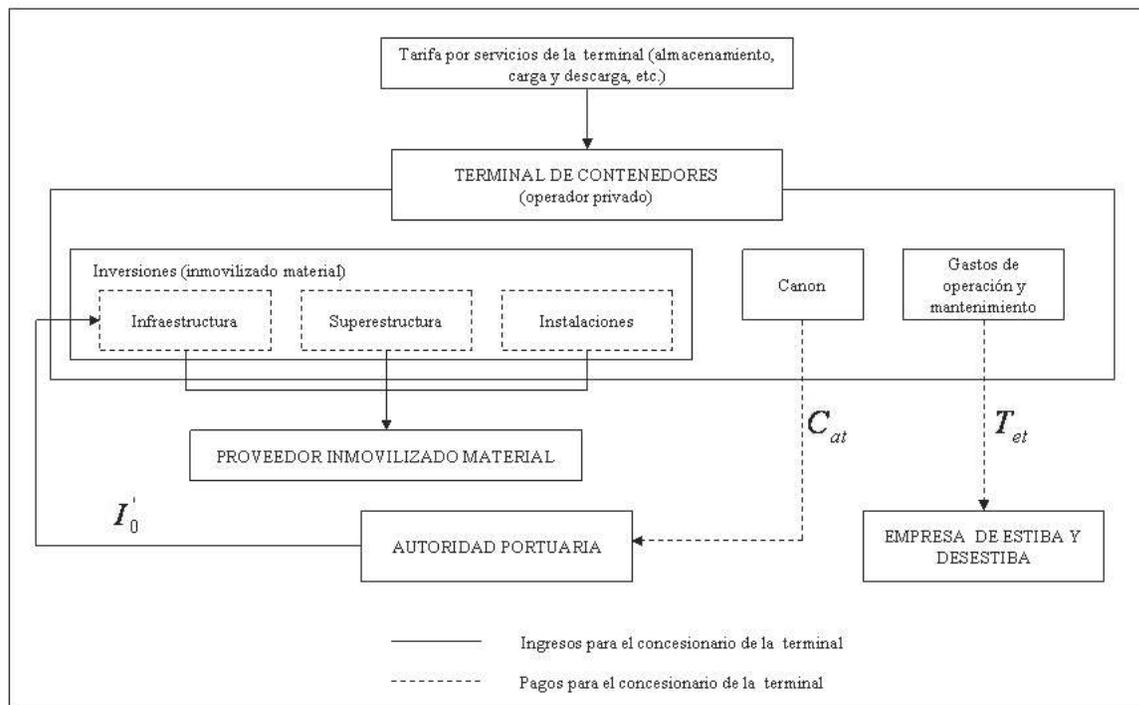


Figura 6.2: Partidas más importantes de ingresos y gastos consideradas en la modelización para el esquema de organización de una terminal de contenedores concesionada adoptado en la tesis.

por los cuales en los flujos de gastos e ingresos de los actores involucrados (figura 6.1) no se ha considerado cánones que la SED tenga que pagar a la Autoridad Portuaria: esencialmente porque en este caso la Autoridad Portuaria y el concesionario persiguen los mismos fines y este primero es quien tiene la potestad de imponer una formulación para las tarifas. Ello permite, pues, simplificar el análisis al centrarse en dos únicos modelos.

Uno de los primeros modelos es el definido entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal. Se trata de una relación en la que hay riesgo moral e información oculta, tal como se ha esgrimido en el apartado anterior. Las hipótesis que se adoptarán en este modelo de principal y agente serán:

- Principal: Autoridad Portaria
- Agente: Concesionario de la terminal.
- Objetivo del principal: máxima productividad de la terminal y con las tarifas más bajas posibles del conjunto de la terminal.
- Objetivo del agente: maximizar sus beneficios.

- Esfuerzos del agente: maximizar productividades y reducir las tarifas por los servicios de la terminal a los niveles propios de la competencia perfecta.

Respecto al modelo entre la Autoridad Portuaria y la SED, igualmente hay un problema de riesgo moral e información oculta. En este caso los parámetros fundamentales que definen el modelo del principal y del agente son:

- Principal: Autoridad Portuaria
- Agente: SED.
- Objetivo del principal: máxima productividad de la mano de obra portuaria y mantener las tarifas a los niveles propios a la plena competencia.
- Objetivo del agente: maximizar sus beneficios.
- Esfuerzos del agente: maximizar productividades.

Respecto a los mecanismos de incentivos a implementar, éstos serán el canon a satisfacer por el concesionario de la terminal a la Autoridad Portuaria, así como las tarifas cobradas por la mano de obra portuaria. Puesto que el organismo público, en ejercicio de su potestad como institución reguladora del puerto, define una formulación de las tarifas de la SED, el objetivo de reducción de estas últimas se "cumple" automáticamente, sin necesidad que el agente realice un esfuerzo adicional en este sentido. Ello explicaría como no se ha considerado un cierto esfuerzo por parte de la SED para reducir tarifas.

Dicho sea de paso que, dado que la mano de obra es un factor productivo esencial en las terminales de contenedores, si la Autoridad Portuaria quiere incrementar productividades de la terminal, necesariamente ello conllevará que también se plantee como objetivo que la SED realice un esfuerzo en el mismo sentido.

Así, pues, en virtud a las anteriores particularidades de cada uno de los dos modelos de principal y agente que se abordarán en la presente tesis, en el próximo capítulo se desarrollan las expresiones matemáticas de cada una de las partes de estos modelos.

En la figura 6.2 se representa de forma secuencial las decisiones tomadas por uno de los agentes en el juego establecido entre cada uno de éstos y el principal

Asimismo, para los anteriores modelos del principal y del agente ya se ha justificado que se pueden catalogar en general como riesgo moral con información oculta. Ahora bien, dentro



Figura 6.3: Secuencia de acciones que definen el "juego" entre el principal y el agente de la concesión considerada.

de esta clasificación se inscriben un conjunto amplio de familias de modelos cada una de las cuales es definida según si el modelo abarca varias acciones, diferentes agentes y/o principales y los períodos temporales del contrato. Para los modelos presentados en este apartado se pueden catalogar concretamente de:

- Multiagentes, por haber el concesionario de la terminal y la mano de obra portuaria.
- Multitareas, por tener lugar varios esfuerzos.
- De información oculta, por lo ya comentado.
- Y de intertemporales, puesto que la relación contractual tiene vigencia para diferentes periodos de tiempo.

En el siguiente apartado se presenta de un modo sucinto las principales características de estos modelos singulares de principal y agente.

### 6.3 Modelos multiagentes, multitareas, de información oculta e intertemporales

En virtud de los postulados básicos de la Teoría del Principial y del Agente, desarrollados en el capítulo 5, y del esquema cardinal de los modelos que se construyen en la presente tesis, en este apartado se indican las principales aportaciones en la esfera de la economía de la información de las singularidades más importantes de las relaciones entre el principal y el agente. De este modo, en caso que el contractante valore de los contratados la realización de varios esfuerzos, el modelo desarrollado se inscribir en las aportaciones sobre los modelos de principal y agente multitareas. Adicionalmente, habida cuenta de la existencia de dos agentes y un solo principal, es menester analizar las aportaciones fundamentales de los modelos multiagentes. Por otro lado, dado que las relaciones entre los agentes y el principal se perpetúan para todo el periodo concesional, es

menester partir de los referentes de los modelos de principal y de agente en que se estudian las relaciones que se repiten en el tiempo (modelos intertemporales). Y, finalmente, debido a la existencia de información privada por parte del agente, se describen los que contemplan la existencia de información privada.

### **6.3.1 Modelos multiagentes**

Un tipo particular de modelos de principal y de agente son aquellos que contemplan la existencia de varios agentes y un solo principal. Los primeros trabajos pioneros en este ámbito de la teoría de los incentivos fueron debidos a: Alchian y Demstz (1972), que se centraron en el análisis sobre el efecto de los presupuestos cerrados en los incentivos de los miembros (agentes) de un equipo; y de McAfee y McMillan (1988), que se focalizaron en el análisis de la selección adversa en los entornos multiagentes.

Los modelos se pueden segmentar en dos grandes categorías, esto es: los que consideran que todos los agentes se guían tan solo en el beneficio personal, no hay cooperación, de modo que la solución al juego planteado obedecerá a un equilibrio de Nash; y, por otro lado están aquel conjunto de modelos en los que admite cooperación entre los agentes participantes.

Esta primera clasificación, a su vez, contempla dos conjuntos de modelos: los que suponen información personalizada de los agentes y los de producción conjunta.

La teoría económica de incentivos se ha centrado mucho en las relaciones a corto plazo en las que los pagos de incentivos dependen de medidas del comportamiento individual e inducen a la competencia entre los agentes, ya sea mediante el mecanismo de pago tipo torneo (tipo de remuneración que lo único que considera es el orden en que quedan los agentes) o evaluación relativa del resultado (ERR). Ahora bien, las predicciones logradas mediante estos mecanismos de pagos quedan mermadas con el hecho que las remuneraciones para incentivar tiene poca efectividad. Así, la ERR desincentiva a la cooperación e incentiva al principal a adoptar reglas estrictas en las que los agentes desarrollan su trabajo (Baron y Kreps, 1999). Holmstrom y Milgrom (1990), Varian (1990), Itoh (1990) y Macho-Stadler y Pérez-Castrillo (1993), demostraron la necesidad de incentivar la cooperación entre los agentes. Más concretamente, y a título de ejemplo, Holmstrom y Milgrom (1990) y Itoh (1993) demostraron que, en caso de que los agentes coordinen sus esfuerzos y compartan riesgo en el modo de eficiencia de Pareto, el principal se beneficiará de ello mediante la utilización de una simple remuneración sobre el conjunto de los agentes.

Uno de los aspectos esenciales en la definición de la compensación de los agentes es si es de

tipo ERR, donde el torneo sería un caso particular, o de tipo evaluación conjunto del resultado (ECR). El primero de éstos penaliza al agente cuando el resto de los agentes del equipo actúan bien, mientras que el segundo sucede lo contrario, recompensa a este agente. Si la medida de las acciones de los agentes tiene una componente de ruido común, entonces el mecanismo de pago ERR resulta atractivo. Y es que, al existir ruido común entre los agentes, ello aísla a los agentes de los riesgos comunes, lo que da lugar a unos incentivos más sólidos que otros modos de remuneración, repercutiendo al principal en una reducción del coste para implementar un nivel concreto de esfuerzo.

No obstante, ERR es ineficiente en caso de que los agentes interactúan de un modo significativo unos con otros. Si mediante un mecanismo de remuneración del tipo ERR da lugar a una ingente competencia entre los mismos miembros de un equipo, ello no constituirá un incentivo para la cooperación entre estos agentes. En este sentido una remuneración del tipo ECR puede solventar este problema. Mohrman et al. (1995) sugirió que este modo de pago podría permitir la minimización de la competencia basada en actuaciones individuales de los agentes y aunar los esfuerzos de los agentes que tienen objetivos compartidos. Ichniowski et al. (1996), por su parte, indicó que los grupos de trabajo pueden tanto incentivar al trabajo duro como al bajo rendimiento si sus normas pasan de disuadir a realizar importantes esfuerzos a incentivarlos. Estos virages son más probables si el grupo es compensado por sus éxitos colectivos.

Otro tipo de modelos inscritos en el ámbito de los incentivos con varios agentes es el caso de la asignación óptima de tareas entre varios agentes. En los modelos presentados hasta el momento implícitamente se admitía que la producción en equipo no se generaban sinergias en el uso de las tecnologías. Una parte de los trabajos se han centrado en establecer las condiciones tecnológicas que permiten que la producción en equipo (asignación de tareas conjuntas a varios agentes) sea óptima.

Holmstrom y Milgrom (1990) siguieron que las tareas debían de ser asignadas por separado a varios agentes en función de las características de las señales de los esfuerzos realizados por cada uno de los agentes. Ello conlleva que no es óptimo asignar una sola tarea al cuidado del conjunto de varios agentes. Itoh (1990), por su parte, indicó que si el coste de los agentes para realizar una tarea es convexa con el esfuerzo, entonces asignar varios agentes a una única tarea puede suponer una reducción del coste total de la tarea y puede ser óptimo. Hemmer (1995) sugirió que, en caso de existir una sinergia directa en la realización de dos tareas, asignar a dos agentes estas dos tareas conjuntamente se pueden aprovechar mejor esta sinergia que en el caso de asignar estas tareas a los agentes por separado.

### **6.3.2 Modelos multitareas**

Un tipo particular de modelos de principal y agente son aquellos en que este último puede desempeñar varias tareas. Una primera diferencia fundamental entre los modelos en una dimensión, donde hay una sola tarea por agente, es que en estos casos la remuneración de incentivos sirve no solo para distribuir el riesgo entre el agente y el principal e incrementar el esfuerzo del agente, también sirve para distribuir el esfuerzo del agente entre las diferentes tareas asignadas. Otra diferencia con los modelos usuales estriba ahora en que hay un mecanismo adicional para controlar los incentivos: el diseño del desarrollo de las tareas.

Las aportaciones esenciales a este caso particular de relación de principal y agente son fundamentalmente debidas a Holsmotrom y Milgrom (1991), las cuales se pueden agrupar en cuatro aspectos, que se describen a continuación.

Un primer elemento es la distribución del esfuerzo del agente entre las actividades asignadas. Supongamos que tan solo son posibles dos tareas. La relación entre ambas puede ser bien de complementariedad (si el agente se esfuerza en una de ellas, el coste de realizar la segunda descende) o bien de sustitución (si el agente aumenta el esfuerzo en una de las tareas, el coste de la segunda asciende). Tal como sugirieron estos autores, en caso de complementariedad de tareas, si el principal desea incentivar que el agente dedique más esfuerzos a una de las tareas, tan solo es necesario implementar un mecanismo de pago que incentive a cualquiera de las dos esfuerzos, ya que al mismo tiempo se producirá un incremento de ambos. Si, por el contrario, las actividades son sustitutas, para incentivar que el agente realice una de las tareas es menester remunerar directamente el resultado de esta tarea y al propio tiempo reducir el coste de oportunidad de esta tarea (lo que conlleva reducir los incentivos de las otras tareas). Por consiguiente, en caso de que una de las tareas carezca de señales, es importante analizar la relación entre los esfuerzos para incentivar a esta primera.

Otros de los aspectos tratados en el seno de los modelos multitareas es cuando la acción a valorar por el principal es cómo el valor del rendimiento de los activos cambia con el tiempo. Cuando el principal es a quien pertenecen los resultados generados por los activos, el contrato óptimo no deberá de generar incentivos directos al agente para explotar el activo, a efectos de reducir cualquier abuso del activo o reducción del esfuerzo por parte del agente en su mantenimiento. No obstante, cuando los beneficios del activo son para el agente, el mecanismo óptimo de incentivos deberá potenciar la producción en aras de evitar que el agente utilice los activos de un modo muy cauteloso o que dedique muchos esfuerzos en mantenimiento y mejoras.

Adicionalmente, otro de los problemas tratados el este tipo de modelos, es la prohibición o

limitación de las tareas externas a la actividad que vincula el agente y el principal, como sería el caso, por ejemplo, de aquellos trabajadores que realizan otros trabajos fuera de su empresa. Según los resultados para este tipo de casos (Holmstrom y Milgroom, 1991), lo más corriente es que los individuos con grandes responsabilidades puedan usar su posición para extraer beneficios privados. Y es que en algunos casos es más fácil para el principal prohibir o impedir una actividad que controlarla y limitar al abuso. Supongamos que el agente puede realizar un conjunto de tareas potenciales que el principal tan solo puede controlar por exclusión. En este caso hay que considerar el coste para el agente del total de los esfuerzos y las ganancias que obtiene de realizar las externas. El beneficio del principal depende sólo del esfuerzo que realiza el agente para él. Si este primero deja que éste dedique tiempo y esfuerzo a las actividades externas, si bien quita dedicación del agente para el esfuerzo del principal, también posibilita que la remuneración de incentivos sea menor debido a que hay fuentes de ingresos adicionales. De un modo más generalista: el conjunto de tareas que el agente podrá realizar para su propio provecho dentro de su relación con el principal serán todas aquellas en las que el beneficio (ahorro en pago de incentivos) sea mayor que el coste de oportunidad (reducción de esfuerzo para el principal).

Por último, otro de los aspectos tratados dentro de los modelos multiteros es el desarrollo de la teoría del diseño óptimo del trabajo. Concretamente, se trata de asignar varias tareas de diferentes agentes y analizar los pagos adecuados por cada una de ellas. Para el caso de dos agentes Holmstrom y Milgrom (1991) obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Cada una de las tareas debe ser responsabilidad tan solo de uno de los agentes.
- Las tareas deben de ser agrupadas en trabajos de tal suerte que las tareas cuya realización puede ser medida más fácilmente son asignadas a uno de los agentes, mientras que el resto de las tareas serían responsabilidad del otro agente. El principal deberá de dar mayores incentivos y exigir más esfuerzo del agente que tiene asignadas las tareas más fáciles de medir.

Otros autores destacables que han tratado este tipo de modelos son Milgrom (1988) y Tirole (1986).

### **6.3.3 Modelos de riesgo moral intertemporales**

Otro conjunto de modelos referentes a la teoría del principal y del agente y que guardan relación con el modelo que se desarrolla en la presente tesis hacen referencia el riesgo moral repetido

(o intertemporal), a saber, situaciones en que los participantes van unidos contractualmente durante un cierto tiempo.

Dentro de esta temática las aportaciones de los diferentes autores gravitan entorno tres pilares: análisis de la eficiencia de los contratos a largo plazo; análisis de las situaciones en que los contrato a corto plazo pueden ser tener los mismos efectos que los de largo; y estudio de la renegociación. Este último caso no se tratará en el presente epígrafe pues no se utilizará en el posterior desarrollo de los modelos de principal y agente de la tesis.

Por lo que al estudio de las relaciones en que se puede establecer un contrato a largo plazo se refiere, supongamos un simple modelo de riesgo moral en que el agente puede realizar una acción  $a_t$  en cada periodo y el principal hace un pago al agente  $w_t(x^t)$ , basado en el histórico de los resultados,  $x^t \equiv \{x_1, \dots, x_t\}$ .

Hay dos modos usuales de modelizar las preferencias intertemporales:

- Media temporal:

$$U = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (u(w_t) - \psi(a_t)) \quad (6.1)$$

- Valor actualizado:

$$U = (1 - \delta) \sum_{t=1}^T \delta^{t-1} (u(w_t) - \psi(a_t)) \quad (6.2)$$

donde:  $u$  sería la utilidad del agente;  $\psi$  la desutilidad;  $T$  el tiempo duración de la relación entre principal y agente;  $U$  la utilidad representativa del conjunto del período; y  $\delta$  la tasa de actualización.

Radner (1985) demostró que con los contratos a largo plazo es posible obtener el *first best* cuando  $T$  tiende aproximadamente a infinito. Dicho de otro modo, a medida que el horizonte temporal sea mayor más cerca estremos de la solución óptima. Por otra parte, Fudenberg, Holsmtrom y Milgrom (1990) y Fudenberg, Levine y Maskin (1994) demostraron que cuando  $\delta \rightarrow 1$  la solución tiende al *first best*.

Otro modelo analizado dentro de las relaciones a largo plazo es aquel en el que el agente define sus estrategias a partir de los resultados pasados. Abreu, Milgrom y Pearce (1991) establecieron una serie de teoremas. Entre otras cosas, demostraron que hay diferencias fundamentales si la información se trata de noticias buenas (como ventas, por ejemplo) o de malas (como un accidente). Suponiendo que la información se suministra según un proceso tipo Pois-

son, una serie de sucesos desfavorables es mucho más informativa sobre la falta de esfuerzo que cuando las noticias son el número de malas noticias (como la cantidad de fallos) que cuando es el número de buenas noticias (descenso de cantidad de fallos, por ejemplo).

El otro grupo de aportaciones dentro de los concernientes al riesgo moral repetido son las relativas al análisis de los contratos a corto plazo (los que cubren una parte dentro del horizonte temporal de la relación). Gran parte de la literatura (Rey y Salanie, 1990, Malcomson y Spinnewyn, 1988, y Fudenberg et al., 1990) ha estudiado en qué términos la sucesión de contratos a corto plazo puede generar el mismo resultado óptimo que un contrato a largo plazo, esto es, que los equilibrios perfectos de contratos a corto plazo generen esfuerzos y consumos que coincidan con los conseguidos por medio de los contratos a largo plazo. Chiappari y Macho (1990) establecieron las siguientes condiciones para esto último:

- El contrato a largo plazo debe ser robusto a la renegociación, es decir, al inicio de cualquier periodo intermedio no existen un nuevo contrato o renegociación posible que sea preferida por todos los participantes.
- El contrato a largo plazo internaliza el reparto en el tiempo del consumo del agente, por lo que la sucesión óptima de contratos periodo a periodo debe tener memoria (el pago del contrato en  $t$  depende de los resultados en  $t - 1$ ).

#### **6.3.4 Modelos de riesgo moral con información privada**

Otra tipología de problema de asimetría de la información es cuando se produce riesgo moral con información privada. En este caso, la información entre el principal y el agente es simétrica al inicio de la relación, pero después es cuando se torna asimétrica. Desde la óptica del principal, el agente siempre es el mismo que al inicio de la relación, pero que, una vez iniciada la relación, posee información sobre el entorno la cual le determina cuál es el nivel más óptimo para él de esfuerzo y no es observable por el principal. Es decir, respecto al inicio de la relación, al disponer el agente de información no accesible por el principal (como, por ejemplo, sus costes de producción, en el caso de tratarse de una industria regulada) que influye en el esfuerzo, la decisión sobre qué nivel implementar de este último será función de esta información y será diferente de lo que podía suponer el principal al inicio del contrato. Se trata, pues, de un tipo de problema intrínsecamente relacionado con la selección adversa; de hecho, a este tipo de modelos se conocen también por selección adversa post-contractual.

La existencia de riesgo moral con información oculta genera ineficiencias importantes en

el contrato que el principal ofrece al agente. Y es que, por un lado, este primero distorsiona el contrato ofrecido al agente cuando la situación de la naturaleza -concepto genérico que a la práctica se concretaría, por ejemplo, en el mercado- es mala, provocando una elección ineficiente del esfuerzo en este caso. Por otro lado, el agente obtiene distinta utilidad en función del estado de la naturaleza.

Ahora bien, es más posible obtener unos beneficios más eficientes para este tipo de modelos que los procedentes de modelos con selección adversa puesto que la información es simétrica al principio de la relación, al firmar el contrato, por lo que el agente no dispone de información privada que le permita aporvecharse para obtener del principal un contrato que le reporte una renta adicional.

Al tratarse, de hecho, de un problema de selección adversa, conviene recuperar uno de los resultados de este último tipo de modelos que más tarde será utilizado.

Puesto que el principal no conoce con certeza la naturaleza del agente, parece razonable pensar que un posible diseño de contrato óptimo para el principal sería de uno tal que permitiese tener en cuenta las probabilidades que el agente sea de una naturaleza u otra y que fuese aceptado independientemente del tipo de agente - en nuestro caso sería la probabilidad que el agente tuviese unos determinados costes de explotación. Pues bien, el Principio de Revelación asegura que, para buscar el contrato óptimo, el principal puede restringirse a ofrecer menús de contratos en los que pide a cada agente que revele su verdadera característica. Este tipo de mecanismos se les suele llamar reveladores o directos. Este principio fue debido a Fudenberg (1990), Kreps (1990), Gibbard (1973), Green (1977) y Myerson (1979).

## **6.4 Criterio de rentabilidad**

Uno de los aspectos fundamentales del modelo es definir el criterio de valoración de la rentabilidad de los agentes, debido a la importancia que ésta tiene en la toma de decisiones.

Como premisa operativa indicar que uno de los criterios más ampliamente aceptados para la evaluación de rentabilidades de inversiones es el flujo actualizado neto, esto es, la suma neta actualizada (para un instante temporal concreto) del conjunto de rentas futuras generadas por una inversión determinada. Matemáticamente: si  $Q_t$  es el flujo monetario neto en  $t$ ,  $t \in \{0, 1, \dots, T\}$ , donde  $Q_0$  sería la inversión,  $T$  es la cantidad de periodos temporales y  $r$  es la tasa de actualización, el valor actualizado neto (VAN) vendrá dado por 6.3:

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{Q_t}{(1+r)^t} \quad (6.3)$$

Tal como se ha indicado en el apartado anterior, la literatura ha utilizado dos modos de evaluar la utilidad cuando la relación entre el agente y el principal tiene lugar en varios periodos de tiempo:

- Media temporal:

$$U = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (u(w_t) - \psi(a_t)) \quad (6.4)$$

- Valor actualizado:

$$U = (1 - \delta) \sum_{t=1}^T \delta^{t-1} (u(w_t) - \psi(a_t)) \quad (6.5)$$

donde el significado de las variables es el mismo que el indicado en el apartado 6.3.3.

El principal inconveniente de esta segunda formulación (que iría más en sintonía con el criterio del VAN) es la facilidad de obtener expresiones complejas de tratar analíticamente, aun cuando se parte de funciones de renta no muy elaboradas. Es por ello, junto con la necesidad de lograr un modelo lo más preciso posible, que se ha estimado más conveniente en el modelo de principal y agente elaborado en la presente tesis adoptar la fórmula dada por 6.4. Partiendo de ello, el objetivo del presente apartado es desarrollar este criterio de rentabilidad hasta obtener una expresión lo más sencilla posible.

En primer lugar, como criterio esencial de rentabilidad, se ha partido de la renta media anual sin actualizar ( $\bar{w}$ ) obtenida por un agente determinado del conjunto del horizonte temporal abarcado ( $T$ ). Si  $w_t$  es la renta para el año  $t$  sin actualizar, entonces la renta media anual vendrá dada por 6.6.

$$\bar{w} = \sum_{t=1}^T \frac{w_t}{T} \quad (6.6)$$

Esta última expresión presenta dos inconvenientes básicos: a) no tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo (no hay actualización de los valores); y b) se trata de una media, por lo que situaciones de gran variabilidad de las rentabilidades a lo largo de los diferentes años de la concesión, que van en detrimento de la viabilidad de la explotación, no serán recogidas por este criterio.

En concesiones de terminales donde las previsiones de evolución de los tráficos de contenedores se caracterizan por haber una primera etapa, que suele durar pocos años (a lo sumo un 20 por ciento del periodo concesional), en que hay un crecimiento constante del tráfico (ya sea exponencial, lineal o logarítmicamente), seguida de otra de prácticamente estabilización de la demanda para estar en el lado de la seguridad en las estimaciones, especialmente si el agente es averso al riesgo (suele emplearse una curva logística, que es lo más usual, o una asíntota horizontal, siendo bastante conservadores), tal como queda representado en el gráfico 6.4. Dada esta relativa estabilización a largo plazo los inconvenientes del criterio de rentabilidad adoptado quedan soslayados; totalmente en el caso de adoptar una asíntota horizontal y en gran parte si se trata de una curva logística, en la que los crecimientos son tenues.

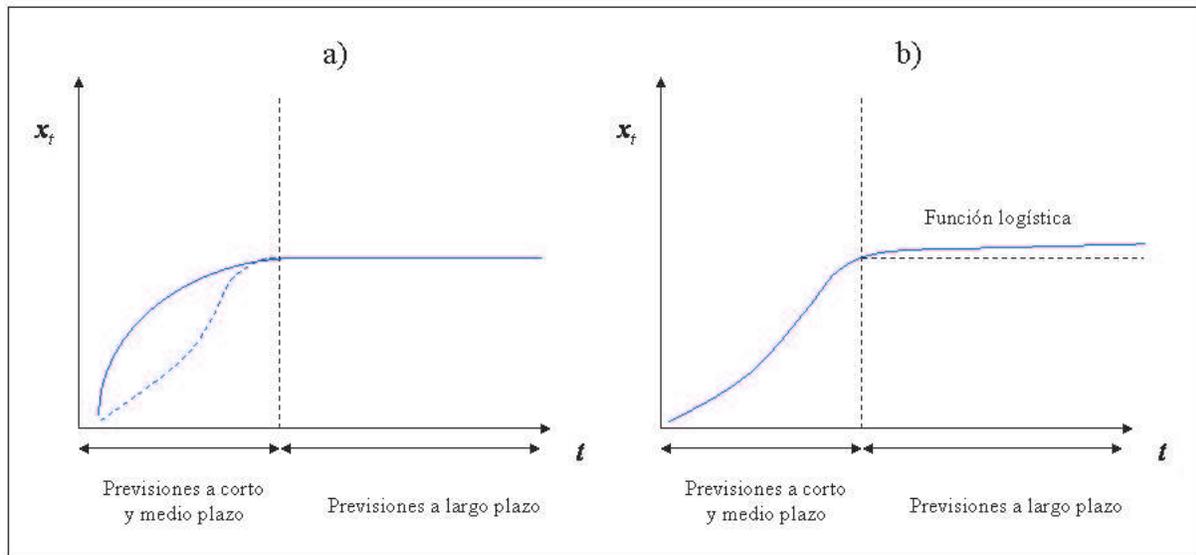


Figura 6.4: Forma de la curva de las previsiones de la demanda a largo plazo más usual en terminales (figura b) y la que mejor se adapta al criterio de rentabilidad supuesto (figura a).

En una segunda fase, bajo este criterio, se han desarrollado las expresiones para aplicar éste al modelo concreto de principal y agente del documento. En efecto:

Para los diversos años de la concesión, la renta ( $w_t$ ) de cada uno de los agentes (Sociedad de Estiba y Desestiba y operador de la terminal) vendrá dada por una función del tipo:

$$w_t(\vec{y}_t) = f(\vec{y}_t) \quad (6.7)$$

donde  $\vec{y}_t = (y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{nt})$ , siendo  $y_{it}$  el valor de las diferentes variables de la renta en  $t$  (como, por ejemplo, los costes medios o la productividad de la terminal). De este modo, el

criterio de rentabilidad vendrá dado por:

$$\bar{w} = \sum_{t=1}^{t=T} \frac{w_t(\vec{y}_t)}{T} \quad (6.8)$$

Para cada uno de los términos de las rentas en el año  $t$ ,  $w_t$ , se puede aplicar el polinomio de Taylor de orden  $m$  desarrollado entorno de la media de todos los años de la concesión de los valores de las variables  $(\bar{y})$ , esto es:

$$w_t(\vec{y}_t) = w_t(\bar{y}) + \sum_{k=1}^{m-1} \frac{D_{\Delta y}^k w_t(\bar{y})}{k!} + \frac{D_{\Delta y}^m w_t(\bar{\theta}_t)}{m!} \quad (6.9)$$

donde:

- $\bar{\theta}_t \in [\vec{y}_t, \vec{y}_t + \Delta \vec{y}_t]$ , donde  $\Delta \vec{y}_t = \bar{y} - \vec{y}_t$
- $\bar{y} = (\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_n)$  con  $\bar{y}_i = \sum_{t=1}^{t=T} \frac{y_{it}}{T}$  para  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ .
- $D_{\Delta y}^m w_t(\bar{y}) = \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2=1}^n \dots \sum_{i_m=1}^n \frac{\partial^m w_t(\bar{y})}{\partial y_{i_1} \partial y_{i_2} \dots \partial y_{i_m}} \Delta y_{1t} \Delta y_{2t} \dots \Delta y_{nt}$ .

Para el caso concreto de  $m = 2$ , se tiene que:

$$w_t(\vec{y}_t) = w_t(\bar{y}) + D_{\Delta \vec{y}_t} w_t(\bar{y}) + \frac{D_{\Delta \vec{y}_t}^2 w_t(\bar{\theta}_t)}{2} \quad (6.10)$$

Sustituyendo 6.10 en 6.8 se obtiene que el criterio de rentabilidad será:

$$\bar{w} = w_t(\bar{y}) + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T \frac{\frac{\partial w_t(\bar{y})}{\partial y_{it}} \Delta y_{it}}{T} + \sum_{t=1}^T \frac{\frac{D_{\Delta \vec{y}_t}^2 w_t(\bar{\theta}_t)}{2}}{T} \quad (6.11)$$

De 6.11 se puede hacer notar para todo  $i \in \{1, 2, \dots, n\}$  se tiene que:

$$\sum_{t=1}^T \frac{\partial w_t(\bar{y})}{\partial y_{it}} \Delta y_{it} = \frac{\partial w_t(\bar{y})}{\partial y_{it}} \sum_{t=1}^T (\bar{y}_i - y_{it}) = 0 \quad (6.12)$$

Por otro lado, se puede despreciar el término de segundo orden de 6.11 básicamente por dos motivos: se trata de un indicador; y, correlacionado con ello, la inmensa mayoría de las variables explicativas de la renta dependen de un modo lineal, especialmente la que tiene un mayor peso cuantitativo, de la demanda de contenedores, como se podrá comprobar en los posteriores desarrollos de los modelos del principal y agente.

Por consiguiente, en virtud de esto último y del resultado de 6.12, finalmente el criterio de rentabilidad adoptado para los modelos, dado por 6.11, queda como:

$$\bar{w} \simeq w_t(\bar{y}) \tag{6.13}$$

Es decir, la renta media de todos los años de la concesión será aproximadamente equivalente a la renta de uno de los años considerados cualesquiera valorada con las variables medias de todo el período.

## 6.5 Hipótesis fundamentales del modelo

Continuando con la línea de ir definiendo los principios básicos que posteriormente serán utilizados para desarrollar el modelo de principal y agente, en este apartado se presentan y justifica las hipótesis esenciales adoptadas, que se concretan en la demanda de tráfico marítimo de contenedores, en el grado de aversión al riesgo de los agentes implicados y en la información oculta.

### 6.5.1 Demanda de tráfico marítimo de la terminal

Una de las variables fundamentales en toda concesión de una infraestructura es la demanda, para el caso que nos ocupa sería la demanda de tráfico marítimos de contenedores, por dos motivos esenciales. Por un lado, es el parámetro que fundamentalmente define la rentabilidad de la concesión, lo que a su vez condiciona los niveles de tarifas y costes de explotación asumibles por el concesionario, incluyendo la inversión. Por otro lado, y correlacionado con esto último, se trata de una variable cuyas previsiones suelen tener asociado un nivel notorio de incertidumbre, que inciden de un modo directo, según el nivel de aversión al riesgo, en las decisiones adoptadas por los agentes.

Supongamos que en nivel de demanda de contenedores en número de TEU para un año  $t$  viene dada por  $x_t$ , donde  $t \in \{1, \dots, T\}$  siendo  $T$  el número de años de la concesión.

Vista la demanda desde el principio del periodo concesional, las previsiones de cada uno de los años puede ser concebida como una variable aleatoria con función de distribución de probabilidad de tipo normal con parámetros  $\bar{x}_t$  para la media y  $\sigma_t^2$  de varianza, esto es,  $x_t \sim N(\bar{x}_t, \sigma_t^2)$ . Las medias de cada uno de los años saldrían de las previsiones correspondientes, obtenidas por cualquier de los modelos de demanda usuales empleado en este tipo de estimaciones (por ejemplo, a través de modelos econométricos); en tanto que las desviaciones podrían interpretarse

como una medida directa de la incertidumbre inherente a cualquier previsión futura de tráfico, especialmente cuando se trata de períodos temporales considerables, como suele ser el caso de las concesiones portuarias. Para cada uno de los años del horizonte temporal considerado las previsiones de demanda definirían unos intervalos en que hay una cierta probabilidad de que la demanda se sitúe dentro de éstos. Puesto que las incertidumbres son mayores a medida que las previsiones se hacen a un horizonte temporal más dilatado, es perfectamente plausible suponer que el valor de la desviación aumentará a medida que crezca el tiempo. En la figura 6.5 se representa gráficamente las previsiones de los tráfico marítimos de una terminal en caso de asimilarlas a una distribución de probabilidad normal.

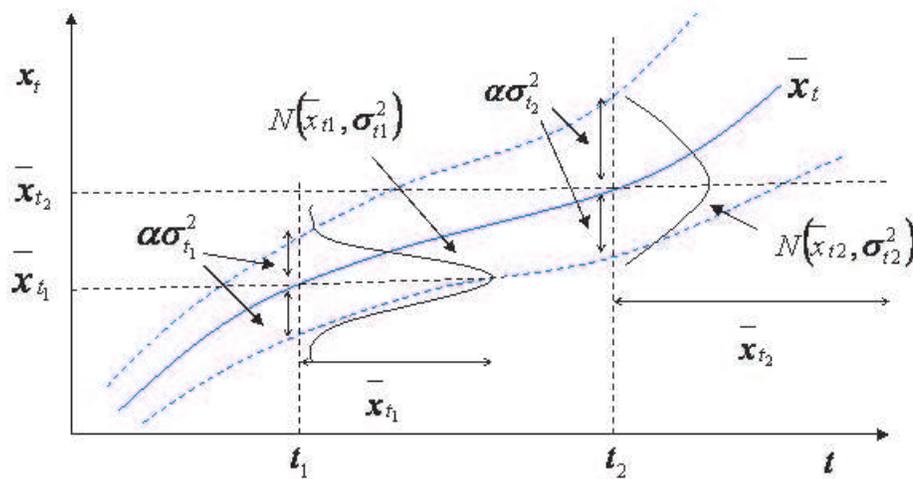


Figura 6.5: Previsiones de demanda para los diferentes años de la concesión. A medida que el horizonte es más amplio, la incertidumbre de la demanda aumenta ( $\sigma_t^2 > \sigma_\tau^2$  si  $t > \tau$ ).

Sin perder rigor en la modelización de la demanda, se puede suponer que cada una de estas variables aleatorias, definidas para cada uno de los años de la concesión, son independientes. En efecto, cuando la explotación de una terminal de contenedores está en una situación normal, en el sentido que ya tiene una demanda consolidada y está en unas condiciones más o menos estacionadas, la demanda de un año cualquiera viene en parte condicionada por el valor del año anterior, debido, por ejemplo, a la calidad del servicio prestado, posibles bonificaciones en las tarifas por operar en varios años, etc. Ahora bien, en muchos de los modelos de previsión de la demanda de tráfico en terminales de contenedores son modelos econométricos en los que el valor de las variables de un período concreto no influyen en las previsiones de los años anteriores, por lo que puede suponerse que, a efectos de simplificar los cálculos pero sin perder rigor en la modelización, las medias (previsiones) de cada uno de los años de la concesión son fenómenos estocásticos independientes. A título de ejemplo, las medias de cada uno de los años podrían

estar dadas por un modelo del tipo  $\bar{x}_t = kA^t$  donde  $k$  es una constante y  $A$  es una variable explicativa de la demanda de contenedores, como podrá ser el Producto Interior Bruto del ámbito de influencia de la terminal.

Asimismo, con vistas a simplificar la formulación y sin perder excesiva generalidad, se asumirá que las incertidumbres asociadas a la previsión de demanda de cada uno de los años de la concesión ( $\sigma_t^2$ ) son iguales, esto es,  $\sigma_t^2 = \sigma_x^2, \forall i \in \{1, \dots, T\}$ . De este modo, para cada uno de los períodos de la concesión se tiene que  $x_t \sim N(\bar{x}_t, \sigma_x^2)$ .

A efectos de aplicar el criterio de rentabilidad expuesto en el primer apartado del presente capítulo es menester obtener una valoración representativa de la demanda del conjunto de los años de la concesión acorde con el criterio de rentabilidad. En efecto:

Puesto que las previsiones de demanda de cada uno de los años de la concesión se distribuyen según una densidad de probabilidad normal, tal que  $x_t \sim N(\bar{x}_t, \sigma_x^2)$  y son independientes entre sí, la demanda media de contenedores de la terminal del período concesional será:

$$\bar{x} = \frac{\sum_t x_t}{T} \quad (6.14)$$

donde  $T$  son la cantidad de años de concesión será otra variable estocástica con una función de densidad de probabilidad según una normal tal que:

$$\bar{x} \sim N(\hat{x}, \hat{\sigma}_x^2) \quad (6.15)$$

donde:

$$\hat{x} = \sum_t \frac{\bar{x}_t}{T} \quad (6.16)$$

y

$$\hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{T^2} \sum_t \sigma_x^2 = \frac{\sigma_x^2}{T} \quad (6.17)$$

En definitiva, a partir de aquí la caracterización de la demanda vendrá dada por los valores de  $\hat{x}$  y  $\hat{\sigma}_x^2$ .

Del conjunto de factores que inciden en una terminal se van a considerar se van a segmentar en dos categorías: los que se van a considerar de un modo explícito en la formulación y los que

no. Entre los primeros estarán los esfuerzos considerados en los modelos: los relativos a la reducción de las tarifas (las de la terminal y las de la mano de obra portuaria) y al incremento de las productividades, tanto por parte del concesionario como de la SED. El resto de los factores (como por ejemplo la localización geográfica de la terminal o el *hinterland* del puerto) se van a considerar aparte, en forma de constante.

El modelo adoptado matemáticamente para representar la media de los tráficos de la terminal ( $\hat{x}$ ) sería el de una función multiplicativa, debido que es la relación funcional que suele adoptarse en la literatura científica (Tongzon, 1995). Si  $b_1$  es el esfuerzo del concesionario para reducir tarifas,  $b_2$  y  $b_3$  son los esfuerzos para aumentar las productividades del conjunto de la terminal y la mano de obra respectivamente y  $k$  es la constante que incluye el resto de las variables de la demanda de contenedores, la demanda media de una terminal, según los términos anteriores, vendrá dada pues por:

$$\hat{x} = kb_1^{\xi_1} b_2^{\xi_2} b_3^{\xi_3} \quad (6.18)$$

donde  $\xi_1$ ,  $\xi_2$  y  $\xi_3$  son las elasticidades demanda-tarifa terminal, demanda-productividad terminal y demanda-productividad-mano obra portuaria respectivamente.

Ahora bien, en caso de adoptar este modelo, daría lugar a una solución numéricamente inestable de los modelos de principal y de agente hasta al punto que el rigor logrado con la formulación de la demanda podría ser perdido con creces en la resolución numérica de los modelos.

Con vistas a adoptar una relación funcional entre los esfuerzos y la demanda media lo más precizada posible a los resultados obtenidos por la literatura a la vez que obtener una solución estable de los modelos, se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\hat{x} = k \left( b_1^{\xi_1} + b_2^{\xi_2} + b_3^{\xi_3} \right) \quad (6.19)$$

Se trata de un modelo que:

- Las curvas de nivel tienen la misma forma que el modelo 6.18, tal como puede apreciarse a título de ejemplo en la figura 6.6.
- La diferencia entre 6.18 y 6.19 a nivel conceptual es que en este segundo caso no supone interacción entre los esfuerzos en la variación de la demanda. Es decir, en la cuantificación de las modificaciones de la demanda ante una variación de un esfuerzo ( $b_i$ ) no se tiene en cuenta las variaciones que al propio tiempo puedan darse en el resto de los esfuerzos. Esto

puede dar lugar a que los cambios de la demanda por variaciones de algún esfuerzo sean menores que los que realmente pueden suceder; aunque ello puede subsanarse poniendo un valor adecuado de las elasticidades esfuerzo-demanda y/o de la constante.

Por consiguiente, es perfectamente asumible adoptar el modelo dado por 6.19 para obtener la media de la demanda en sustitución de la expresión 6.18.

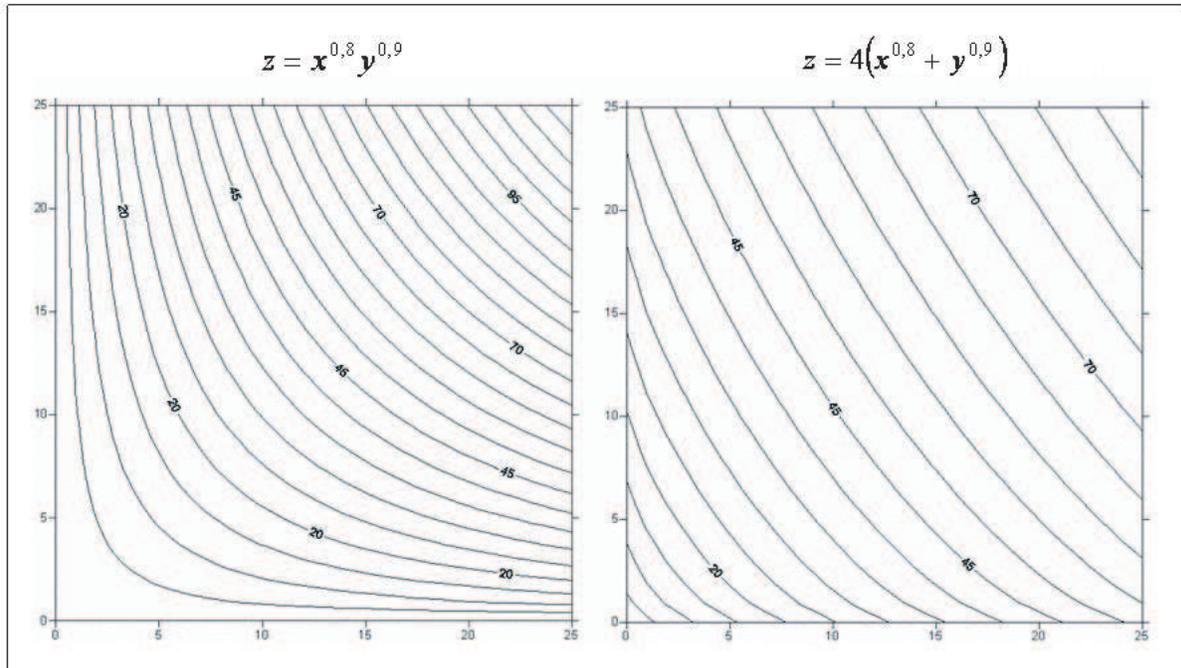


Figura 6.6: Comparación entre las curvas de nivel de una función de tipo multiplicativa con la adoptada en el modelo.

### 6.5.2 Grado de aversión al riesgo de los agentes implicados

Uno de los aspectos que tiene una relevancia significativa en las relaciones contractuales establecidas entre los tres actores analizados (Autoridad Portuaria, concesionario de la terminal y sociedad de estiba y desestiba) es el nivel de aversión al riesgo de cada uno de ellos.

A tenor de la idiosincrasia de cada uno de los agentes, se adoptará un nivel de aversión diferente para cada uno de éstos.

En el caso de la Autoridad Portuaria, al ser Administración Pública se ha adoptado como supuesto considerarla como neutral ante el riesgo, aunque ello no está exento de algunas matizaciones. Las Autoridades Portuarias, al ser organismos cada vez con mayor grado de autonomía en la mayoría de países de la Unión Europea (capítulo 2), como es el caso español, tiene cierto

nivel de aversión al riesgo, al menos algo mayor que cualquier otro organismo público completamente subordinado al aparato del Estado, en el sentido que cualquier disfuncionalidad en el funcionamiento de la concesión tal que reduzca las previsiones de ingresos previstas por el organismo en concepto de cánones o tasas o cualquier otro puede alterar la situación económica y financiera de éste, mermando su capacidad futura de inversiones. Por consiguiente, en la medida que las Autoridades Portuarias sean más autónomas desde el punto de vista económico, el nivel de aversión al riesgo crecerá. Ahora bien, a efectos de la modelización de las relaciones contractuales entre los agentes involucrados, puesto que el nivel de aversión, a pesar de lo anterior, es mucho inferior que el de los concesionarios de las terminales, se ha adoptado la hipótesis de neutralidad ante el riesgo.

Por lo que al concesionario de la terminal atañe, a efectos de evaluar su intensidad en la aversión al riesgo, hay que considerar los siguientes aspectos:

- El concesionario debe de hacer frente a un importante volumen de inversión inicial, tal como se ha comentado en el capítulo 3, gran parte de la cual es en obra civil, lo que implica un incremento del riesgo respecto a cualquier otra inversión en el sentido que un fallo en la infraestructura puede suponer una desviación de las previsiones de los costes iniciales importantes.
- Debido a este primer punto, son negocios que requieren de muchos años de explotación para que la inversión resulte rentable, circunstancia que, unida al incremento del riesgo de las previsiones de la demanda con los años, da lugar a una incertidumbre inicial substancial.
- Al ser una explotación que requiere de importantes inversiones iniciales, incluido la mayor parte de los equipos de manipulación de los contenedores, puede dificultar cualquier adaptación antes virages del sector de los contenedores que implique una necesidad de cambio de las instalaciones, mermando el nivel de competitividad de la terminal.

En consonancia con todo ello, el concesionario de la terminal se ha considerado averso al riesgo.

Por último, respecto al tercer agente, la sociedad de estiba y desestiba, parte de sus ingresos depende de la demanda de tráficos marítimos de la terminal, de modo que comparte riesgo con el concesionario, aunque su trabajo también depende de otras terminales del puerto, permitiéndole diversificar riesgo. Por consiguiente, se adoptará la hipótesis de aversión al riesgo, pero con una intensidad menor o igual que el concesionario de la terminal.

En definitiva, manteniendo la nomenclatura introducida en el capítulo 5 sobre el nivel de aversión al riesgo, para cada uno de los agentes participantes en la relación se tendría:

- Autoridad Portuaria. Neutral al riesgo, esto es:  $\rho_{AP} = 0$ .
- Concesionario de la terminal. Averso al riesgo, esto es:  $\rho_c > 0$ .
- Sociedad Estiba y Desestiba. Averso al riesgo, esto es:  $\rho_s > 0$  con  $\rho_c \geq \rho_s$ .

### 6.5.3 Problema de la información oculta

Tal como se ha indicado en el primer apartado del presente capítulo las relaciones contractuales entre los agentes implicados se caracterizan, aparte del problema del riesgo moral, por una falta de información por parte del principal sobre el agente una vez iniciada la relación.

Más concretamente, para cada uno de los contratos entre los agentes conviene hacer las siguientes consideraciones:

- Autoridad Portuaria-concesionario de la terminal. En este caso el problema de información oculta reside en el desconocimiento que tiene el organismo público respecto a la operativa y a la estructura de costes del concesionario. Si bien, a través de ciertas señales, tales como por ejemplo valores de otras terminales o indicadores generalmente aceptados, la Autoridad Portuaria puede saber de un modo aproximado cómo se explota la terminal, desconoce los términos exactos en que lo hace hasta al punto que ello supone un óbice para una regulación eficaz por parte del organismo público, tal como se ha comentado en el capítulo introductorio.
- Autoridad Portuaria-Sociedad de Estiba y Desestiba. Al igual que en la situación anterior, este primer agente desconoce tanto la operativa precisa como la estructura de costes del operador, por lo que la regulación de la actividad de este último siempre se fundamentará en apreciaciones aproximadas de la Autoridad Portuaria.
- Sociedad de Estiba y Desestiba-concesionario de la terminal. En este supuesto hay una particularidad respecto a los anteriores: el primer operador es uno de los factores productivos de la actividad del concesionario de la terminal. Por consiguiente, este último tiene un conocimiento certero sobre el modo de operar de la mano de obra portuaria, al tiempo que tiene incertidumbre sobre costes de explotación de éste último, aunque con un grado de desconocimiento menor que si la actividad de la estiba no estuviese inscrita en el ámbito de la terminal.

A tenor de las anteriores consideraciones, se ha definido el modo en que desde el punto de vista matemático va ser tratada la información oculta. En efecto:

En los tres casos el grado de desconocimiento de los costes de uno de los agentes de la relación se concretan en un intervalo concreto. Así, la Autoridad Portuaria tan solo puede conocer, por ejemplo, que los costes operativos de una terminal se sitúan dentro de un intervalo pero desconoce el valor exacto. Se ha supuesto que dentro de esta franja posible la probabilidad de que un determinado valor sea el coste exacto es idéntico en todo el intervalo, esto es, la Autoridad Portuaria, a título de ejemplo, tan solo sabe que los costes operativos ( $c$ ) de la terminal son una variable aleatoria uniformemente distribuida en un intervalo  $\Omega_c$ , es decir,  $c \sim U[\Omega_c]$ .

La longitud de este intervalo será directamente proporcional al nivel de desconocimiento de la información.

A efectos de reducir al mínimo posible la cantidad de variables estocásticas que determinan el grado de desconocimiento de los valores de las diversas componentes de costes involucradas en los modelos, el nivel de información de las variables cuyos valores son inciertos se han tratado del siguiente modo:

- Se ha adoptado como base de partida la variable estocástica  $\theta$  uniformemente distribuida en un intervalo  $\Omega_\theta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}] \subseteq [0, 1]$ , que sería común a todas las variables cuyo valor no fuese conocido con certeza por el principal.
- Supongamos que  $x_i$  es la variable cuyo valor el principal sabe que es una variable aleatoria uniformemente distribuida en un intervalo  $[\underline{x}_i, \bar{x}_i]$ . Pues bien, en el siguiente capítulo se definirá un parámetro,  $\delta_{x_i}$ , que posibilitará expresar el intervalo  $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$  como  $[\underline{\theta}(x_i), \bar{\theta}(x_i)]$ .

Ello permite tan solo tener en cuenta una variable estocástica,  $\theta$ , para todas las expresiones del problema que tengan información oculta, aunque cada una de éstas tendrá un valor diferente el parámetro  $\delta_{x_i}$ .

Otra posibilidad de analizar la información oculta para el principal hubiese sido considerar en lugar de una distribución de probabilidad uniformemente distribuida en un intervalo, una distribución normal. Si bien ello permitiría describir con mayor detalle el nivel de información, dificultaría de un modo significativo la resolución numérica de los modelos, hasta al punto de no "compensar" con el nivel de detalle obtenido de la descripción de la información oculta por el principal.

## **6.6 Metodología global**

Llegados en este punto conviene indicar en qué coordenadas de los trabajos nos hallamos. A partir del planteamiento del problema de partida, realizado en el primer apartado del capítulo, y expresándolo en términos de Teoría de Juegos, ha sido posible escindir el estudio en el análisis de dos modelos de principal y de agente (Autoridad Portuaria-concesionario y mano de obra portuaria-Autoridad Portuaria). Asimismo, se han establecido hipótesis acerca de algunos aspectos importantes de los modelos, esto es, criterio de rentabilidad y demanda, as como delimitar el tipo de modelo de principal y agente.

Definida la base de partida, los próximos trabajos se podrían definir de desarrollo de los modelos y se pueden escindir en tres fases:

- Determinación de las expresiones analíticas que conforman la modelización, que esencialmente se centraría en las funciones de utilidad, tanto del agente como del principal.
- Resolución del modelo planteado.
- Aplicación a un caso concreto.

Estas tres fases se desarrollan en los siguientes tres capítulos. .

## Capítulo 7

# Modelización de las relaciones contractuales entre la Autoridad Portuaria, el concesionario de la terminal y la mano de obra portuaria

En el anterior capítulo se ha definido el marco teórico básico del modelo de Teoría del Principal y del Agente que se presenta en la tesis. El objetivo del presente capítulo es el desarrollo matemático concreto de los modelos a partir de los cuales se determinarán los cánones para el concesionario de la terminal y tarifas para la estiba y desestiba acordes con los objetivos planteados en el primer capítulo.

A estos efectos el capítulo se estructura en cuatro apartados fundamentales. Así, en el primero y en el segundo de ellos se establecen las tarifas de la mano de obra portuaria y el canon a pagar por el concesionario respectivamente. Los subsiguientes dos apartados se desarrollan los dos programas matemáticos en que se puede escindir el desarrollo del modelo planteado (uno para la relación entre la Autoridad Portuaria y el concesionario y el otro entre el concesionario y la mano de obra portuaria).

### 7.1 Tarifas de la estiba y desestiba

Definido el esquema básico en que se estructurarán las relaciones agente-principal entre los tres actores principales de la concesión de una terminal, incluyendo los instrumentos que servirán al

principal (Autoridad Portuaria) para incentivar a los agentes a intensificar los esfuerzos en las direcciones que él prefiere, el próximo nivel de definición del problema es el establecimiento de la forma de las tarifas de la estiba y desestiba (SED).

Tal y como se ha indicado en el apartado 6.2, los incentivos al incremento en productividad y al establecimiento de los precios por los servicios a niveles propios de la plena competencia por parte de la SED vendrán impulsados por medio de la regulación de las tarifas definidas por el principal, que como organismo regulador tendrá la potestad de hacerlo.

El principio básico que se ha utilizado para compatibilizar reducción de tarifas con aumento de productividad es establecer estas primeras a los niveles más cercanos posibles a una situación hipotética de plena competencia en el mercado de la mano de obra portuaria. Con esta formulación de tarifas obligará a la SED a que los aumentos de beneficios tan solo puedan proceder de incrementos de productividad. La idea es reducir al máximo posible cualquier beneficio de la mano de obra portuaria obtenido de su posición de monopolio y que el único modo que tenga para incrementar su renta sea por la senda de la mejora de la productividad, tal como queda representado en la figura 7.1.

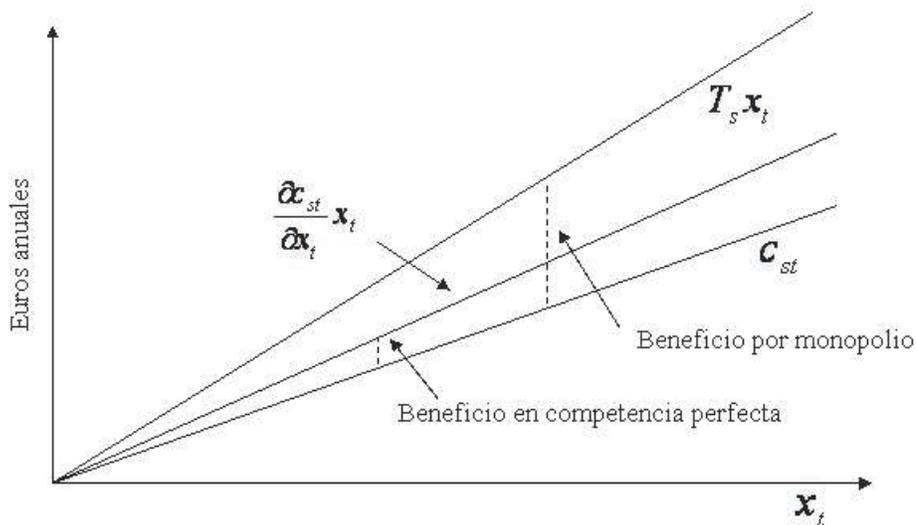


Figura 7.1: Gastos de explotación e ingresos tanto en caso de monopolio como en competencia perfecta

Desde un enfoque microeconómico, la mano de obra portuaria se puede concebir como un sistema productivo formado esencialmente por mano de obra, cuyas horas anuales de trabajo dependerán directamente de la cantidad de contenedores anuales movidos por la terminal,  $x_t$ . De este modo que se puede suponer que los costes para un año  $t$  de la SED,  $c_{st}$ , son proporcionales a  $x_t$ , por lo que  $c_{st} = kx_t$ , donde  $k$  es una constante de proporcionalidad. Los ingresos anuales, por

su parte, vendrán dados por  $T_s x_t$ , siendo  $T_s$  la media de las tarifas cobradas por contenedores movido (el total de los ingresos percibidos dividido por los contenedores manipulados).

Con este enfoque de precios medios se soslaya la imperfección de la proporcionalidad a la cantidad de contenedores movidos y se puede incorporar los "escalones" de la función de producción y los "colchones" (por exceso) de mano de obra en función de un nivel de producto.

Según la Teoría Económica, en una situación de plena competencia, los precios de los servicios de la SED vendrían dados de igualar los ingresos marginales con los costes marginales, por lo que, según la notación empleada y para el caso concreto que nos ocupa, se tendría que  $T_s = \frac{\partial c_{st}}{\partial x_t}$ . Por consiguiente, cualquier nivel tarifario medio de la SED por encima del coste marginal conllevará un beneficio extraordinario para la SED.

De este modo, en aras de formular una tarificación acorde con situaciones de plena competencia, ésta deberá de tomar como referencia el coste marginal de la mano de obra portuaria.

No obstante, en este punto es donde cobra importancia una de las características más importantes de las relaciones contractuales entre los actores implicados: que es el desconocimiento por parte de la Autoridad Portuaria (principal), quien regula las tarifas, sobre la estructura de costes exacta de la SED, es decir, desconoce el valor exacto de  $\frac{\partial c_{st}}{\partial x_t}$ . Tan solo podrá conocer que el coste marginal se sitúa en el interior de un intervalo.

Sea  $\theta$  una variable aleatoria uniforme tal que  $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ , donde  $0 \leq \underline{\theta}, \bar{\theta} \leq 1$ , y  $\delta$  una constante, la expresión:

$$\frac{\partial c_{st}}{\partial x_t} \delta \theta \quad \forall \theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}] \quad (7.1)$$

define posibles valores del coste marginal inscritos en el intervalo en que el principal sabe que éste se puede situar. La razón por la que se han empleado las variables  $\theta$  y  $\delta$  para definir la franja en la que se pueden ubicar los posibles valores del coste marginal se explicará con mayor detalle más adelante en el presente capítulo. Por consiguiente, el principal sabrá que la tarifa más adecuada, la de plena competencia, estará situada en un intervalo  $\left[ \frac{\partial c_{st}}{\partial x_t} \delta \underline{\theta}, \frac{\partial c_{st}}{\partial x_t} \delta \bar{\theta} \right]$ , donde todos sus puntos tienen la misma probabilidad de ser el coste marginal real.

Partiendo de este esquema de razonamiento, las tarifas de la SED vendrán dadas por:

$$T_{st} = \alpha_0 + \alpha_1 \frac{\partial c_{st}}{\partial x_t} \delta \theta x_t \quad \forall \theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}] \quad (7.2)$$

donde  $\alpha_0$  y  $\alpha_1$  son las incógnitas a determinar en el programa matemático surgido del

modelo del principal y del agente. Una expresión del coste marginal  $\frac{\partial c_{st}}{\partial x_t}$  será desarrollada más adelante (capítulo 7), cuando se concrete la función de costes de la SED. Ver la figura 7.1.

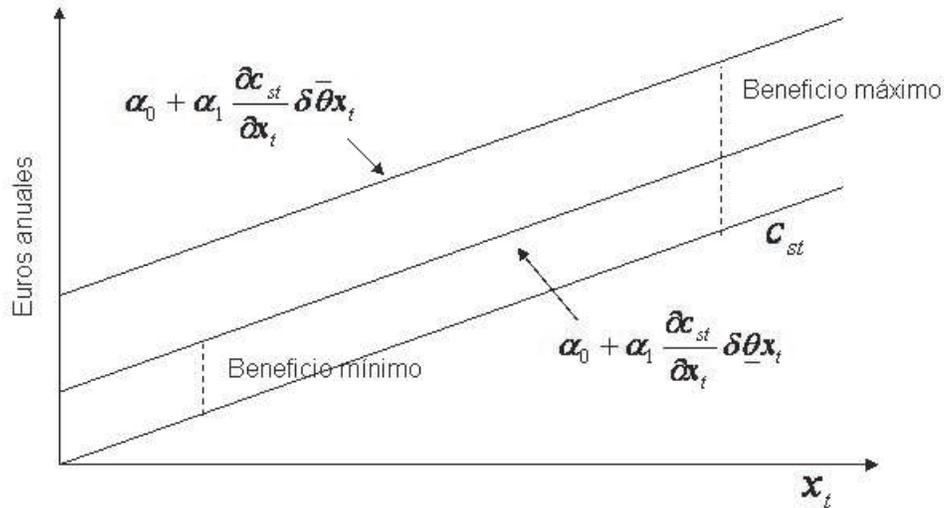


Figura 7.2: Ingresos y gastos de explotación de la mano de obra portuaria con la tarifa propuesta

## 7.2 Canon del concesionario de la terminal

Al igual que se ha definido el esquema básico de las tarifas para la SED, en este apartado se establecen la formulación de los cánones impuestos por la Autoridad Portuaria (principal) al concesionario de la terminal (agente), como instrumento para incentivar a este segundo a situar las tarifas por sus servicios a valores cercanos a situaciones de plena competencia y a realizar un esfuerzo para incrementar la productividad del conjunto de la terminal.

El principio rector para la definición de la formulación de los cánones es que éstos sean iguales a los beneficios extraordinarios del concesionario de la terminal (los derivados de la posición de dominio del mercado), de tal suerte que el único modo que tenga el concesionario de incrementar los beneficios sea por medio de mejorar la productividad, lo cual dará un doble efecto positivo al explotador:

- Producir a un menor coste.
- Aumentar la demanda, dando lugar a un incremento de los ingresos al tiempo que una reducción adicional de los costes debido a las economías de escala de la terminal. Tal como se describió en el capítulo 3, una de las variables de mayor relevancia en la función de demanda de una terminal de contenedores es la productividad de la misma.

Uno de los resultados de Holmstrom y Milgrom (1991), indicados en el capítulo 6, es que, en el caso de varias tareas asignadas a un mismo agente, como es el caso que nos ocupa, si éstas son complementarias (esto es, si el agente se esfuerza en una de ellas, el coste de la segunda descende), entonces tan solo habilitando un incentivo a una de las tareas es suficiente para que el agente se esfuerce en ambas. Pues bien, para el caso del concesionario de la terminal, si se incrementa el esfuerzo en una mejora de la productividad, ello posibilitará reducir costes al tiempo que aumentar los ingresos por ascensos de la demanda; todo lo cual reduce el coste que supone para el concesionario reducir sus tarifas. Por consiguiente, los esfuerzos del agente a incentivar por parte de la Autoridad Portuaria son complementarios.

Todo ello posibilita que el mecanismo de incentivo a implementar por el principal pueda concretarse en un sólo esfuerzo. Lo que se ha hecho es incentivar directamente a la reducción de tarifas a través de definir un canon equivalente a todos los beneficios obtenidos por el concesionario derivados de fijar precios por encima de los propios de la plena competencia, de modo que a medida que las tarifas sean más altas, mayor será el canon. Al desincentivar la subida de precios, el único modo que tendrá el concesionario de la terminal para mejorar sus márgenes será por medio de la mejora de la productividad y/o bajar costes e inversiones. Aunque esto último puede paliarse si la Autoridad Portuaria obliga al principio de la relación al operador privado a unas inversiones mínimas.

Para ello, es necesario el conocimiento tanto de los precios propios de la situaciones de plena competencia como los que realmente ofrece el concesionario (que *a priori* se han supuesto superiores que los primeros).

Para que el concesionario establezca los precios de la plena competencia esto conlleva el conocimiento por parte de la Autoridad Portuaria de la estructura de costes del operador de la terminal, para lo cual debería de, en base a la información disponible, realizar una estimación de costes, que podría dar lugar a importantes errores. Un modo alternativo de soslayar esta dificultad es mediante el empleo de los precios de otras terminales concesionadas que estén en una situación de competencia (que llamaremos  $p_t^*$ , para un año  $t$ ) como referente de los precios que debería de adoptar el concesionario estudiado.

Ahora bien, conviene realizar varias matizaciones importantes respecto al modo de obtener este precio:

- Una idiosincrasia de las terminales de contenedores es que tienen unas importantes economías de escala, consecuencia directa de la preeminencia de los costes fijos sobre los totales, lo cual implica que este precio óptimo (el de plena competencia) será equivalente al coste

medio (en caso de no existir economías de escala este precio sería igual al coste marginal). Por ende,  $p_t^*$  será función de las dimensiones de las terminales, en el sentido que a mayor capacidad, menor será este precio. Así, las terminales que deberán de ser tomadas en referencia para definir  $p_t^*$  deberán de cumplir, además de estas en un entorno de plena competencia (o lo más parecido a ella), que tengan unas capacidades parecidas a la terminal objeto del análisis.

- Por lo indicado en el primer punto, en caso de competencia, los precios de referencia,  $p_t^*$ , vendrán definidos a partir de los costes, de modo que sería necesario que las terminales de referencia estuviesen inscritas en un entorno económico asimilable al de la terminal a regular. En este punto es especialmente importante el tema del coste de la mano de obra portuaria.
- A fin de evitar posibles cooperaciones entre terminales para fijar precios, la muestra de operadores necesarios para establecer la tarifa de referencia deberá ser lo suficientemente amplia.
- Se trataría de una tarifa media, esto es, el resultado de decidir todos los ingresos por el número de contenedores manipulados por la terminal.
- Un modo de abordar la fijación de  $p_t^*$  es considerando la tarifa media de las terminales que sean competencia directa de la terminal estudiada (aunque no estén en plena competencia, pudiendo ser un modo de situar, como mínimo, los precios de las terminales a los de la competencia.

En cuanto a la estimación de las tarifas cobradas por el concesionario en caso de situarse éstas por encima de las óptimas, hay que tener en cuenta dos condicionantes. Por un lado, debe de ser una formulación inspirada en los costes medios, por ser las tarifas óptimas (plena competencia) en las terminales de contenedores. Y, por otro lado, es necesario recoger la incertidumbre por parte del principal sobre los costes y operativa del agente.

Habida cuenta de estas dos premisas, la fórmula propuesta para la estimación de las tarifas medias reales ( $p_{rt}$ ) vendría dada por la división entre la estimación (realizada por la Autoridad Portuaria) del coste total y el número de contenedores manipulados, esto es, la previsión del coste medio:

$$p_{rt} \simeq \frac{p_{t0}\theta}{x_t} \tag{7.3}$$

donde  $p_{t0}$  es el ingreso total a estimar por parte del principal en el año  $t$ ,  $x_t$  es la demanda de contenedores en la terminal para el año  $t$  y  $\theta$  es la variable tal que  $\theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$  de tal modo que  $\forall \theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$  tengamos que  $\frac{p_{t0}\theta}{x_t}$  se sitúe en el interior de la franja en que el principal considera que las tarifas medias se ubican.

Finalmente, recogiendo estas aproximaciones por parte del principal de  $p_{rt}$  y de las tarifas adecuadas  $p_t^*$ , se obtiene la expresión de canon ( $C_{at}$ ) adoptado:

$$C_{at} = \gamma_0 + \gamma_1 \left( \frac{p_0\theta}{x_t} - p_t^* \right) x_t \quad (7.4)$$

con

$$p_0 = \sum_t \frac{p_{t0}}{T} \quad (7.5)$$

donde:  $\gamma_0$  y  $\gamma_1$  son las incógnitas a determinar en el modelo del principal y del agente; y  $T$  es el periodo concesional.

Dicho sea de paso que en lugar de utilizar las tarifas de referencia  $p_{t0}$  se ha optado por emplear la media del conjunto de los años considerados,  $p_0$ , puesto que al final en los modelos desarrollados se trabajará con valores medios temporales, tal como se argumentará con mayor detalle en los dos próximos apartados.

Para analizar el potencial incentivador de esta formulación en el incremento de la productividad y reducción de tarifas por parte del agente, supongamos el caso más intuitivo en que  $\gamma_0 = 0$  y  $\gamma_1 = 1$ .

Sea una terminal de contenedores con unos costes medios dados por el nivel de contenedores manipulados ( $x_{t0}$ ) dado por  $CME(x_t)$ , tal como queda representado en la figura 7.2. Estos costes son decrecientes con el nivel de demanda, debidos a las importantes economías de escala de las terminales, hasta alcanzar la capacidad ( $C$ ) de la terminal, en que se disparan.

Sea  $p_{cme,0}$  la tarifa en caso de plena competencia (dada por los costes medios) cuando el nivel de demanda es  $x_{t0}$ , y  $p_{ro}$  la tarifa media realmente cobrada por el concesionario de la terminal.

Si  $p_{ro} > p_{cme,0}$ , esto implica utilización de la posición de dominio del agente. En este supuesto se generará un beneficio extraordinario para el concesionario dado por  $x_{t0}(p_{ro} - p_{cme,0})$ . Ver figura 7.2.

Del análisis de las tarifas de una muestra representativa de terminales de contenedores que

muevan un volumen de tráfico parecido al del concesionario y en situación de competencia (o al menos en un grado de competencia mejor que el de partida) se obtendría una estimación de la tarifa media óptima para un año  $t$ , esto es,  $p_t^*$ .

Paralelamente, el principal, por medio de diversas fuentes de información, podría obtener un intervalo en que las tarifas del agente se situarían, expresado como  $\frac{p_0\theta}{x_t} \quad \forall \theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ .

En estas circunstancias el valor del canon del agente para el año  $t$  sería:

$$C_{a0} = \left( \frac{p_0\theta}{x_t} - p_t^* \right) x_t \quad (7.6)$$

marcado por el área sombreada de la figura 7.2, por lo que una gran parte de los beneficios extraordinarios del agente serían extraídos por el principal por medio de este tributo. La recaudación lograda dependerá del valor de  $\theta$ . Tal como se ha expuestos en el subapartado 6.5.3, la solución del problema será un conjunto de mecanismos definidos todos ellos según el valor de  $\theta$ , entre los cuales el agente elegirá el que más le convenga. El beneficio del concesionario, esto es,

$$x_{t_0} \left( p_{r0} - \frac{p_0\theta}{x_{t_0}} \right) \quad (7.7)$$

será consecuencia directa del nivel de desinformación de la Autoridad Portuaria sobre los costes del operador de la terminal.

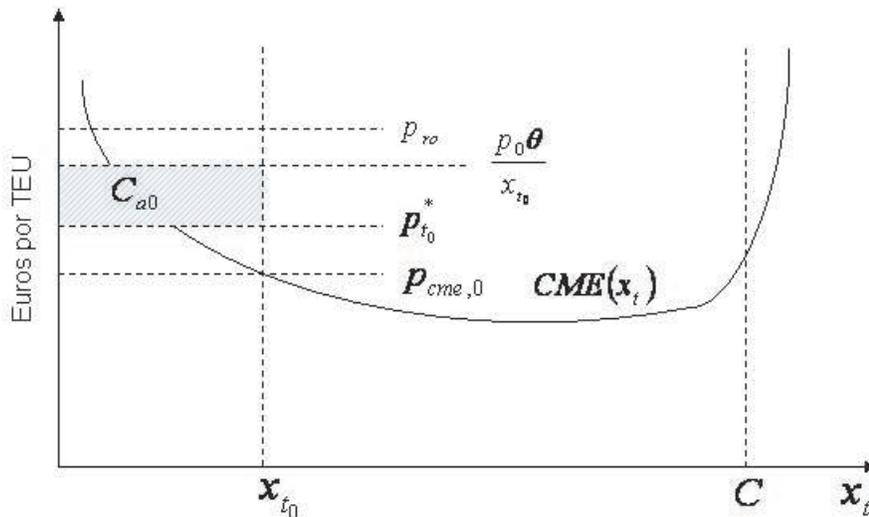


Figura 7.3: Beneficios del concesionario en caso de implementar la formulación del canon propuesta suponiendo  $\gamma_0 = 0$  y  $\gamma_1 = 1$ .

De la figura 7.2 se ha comprobado que en este caso la mayor parte del beneficio extraordinario será absorbido por el principal a través de los cánones. Ante esta situación, con vistas a mejorar los beneficios, puede optar por dos vías: bien por continuar incrementando precios, pero ello conllevará aumentar los cánones aún más, pues  $\frac{p_0\theta}{x_t}$  se ajustará a la nueva situación; o bien incrementar la demanda.

En este segundo caso, se pueden distinguir tres modos de aumentar tráficos de la terminal:

- Por crecimiento de la actividad económica de los actuales clientes del concesionario. No hay ninguna alteración de la situación preexistente, sino simplemente la evolución natural de ésta. En este caso el canon descenderá. Se produce, pues, una ineficiencia de la formulación del canon en el sentido que sin alterar precios ni mejorara nada de la oferta, hay un descenso del canon. Ahora bien, viene limitado en parte por el hecho que estos tipos de incrementos, cuando las terminales ya tienen una demanda consolidada, no suelen ser significativos. Asimismo, tal ineficiencia puede ser corregida en parte mediante el establecimiento de un valor para  $p_0\theta$  suficientemente alto.
- Otra vía es mediante la reducción de las tarifas ( $p_{rt}$ ). Ello repercute positivamente en los beneficios del agente por tres vías: a través del incremento de los ingresos, por la reducción del canon y por el aprovechamiento de las economías de escala. Ciertamente:

Si las tarifas de la terminal pasan de  $p_{r0}$  a  $p_{r1}$ , implicará un incremento de la demanda de  $x_{t0}$  a  $x_{t1}$ , cuya intensidad dependerá de la elasticidad precio-demanda, tal como queda representado en la figura 7.2. Asimismo, al aumentar la demanda el canon descenderá en una cantidad:

$$\left(\frac{p_0\theta}{x_{t0}} - p^*\right)x_{t0} - \left(\frac{p_0\theta}{x_{t1}} - p^*\right)x_{t1} = p^*\Delta x \quad (7.8)$$

Adicionalmente, al aumentar la demanda habrá una reducción del coste medio (de  $p_{cme0}$  a  $p_{cme1}$ ) por las economías de escala de la terminal. Las tarifas de las terminales de contenedores competencia no varían ( $p_{t0}^* = p_{t1}^* = p^*$ ).

Ahora los beneficios sin contar cánones para el agente serán el área definida por el área azul de la figura 7.2, mientras que los cánones vendrán dados por la zona roja. Los beneficios generados por el agente en esta nueva situación vendrán dados por:

- Reducción de cánones:  $p^*\Delta x$ .
- Aumento de los ingresos:  $p_{t0}x_{t0} - p_{t1}x_{t1}$

- Descenso de los costes medios:  $p_{cme,0}x_{t_0} - p_{cme,1}x_{t_1}$

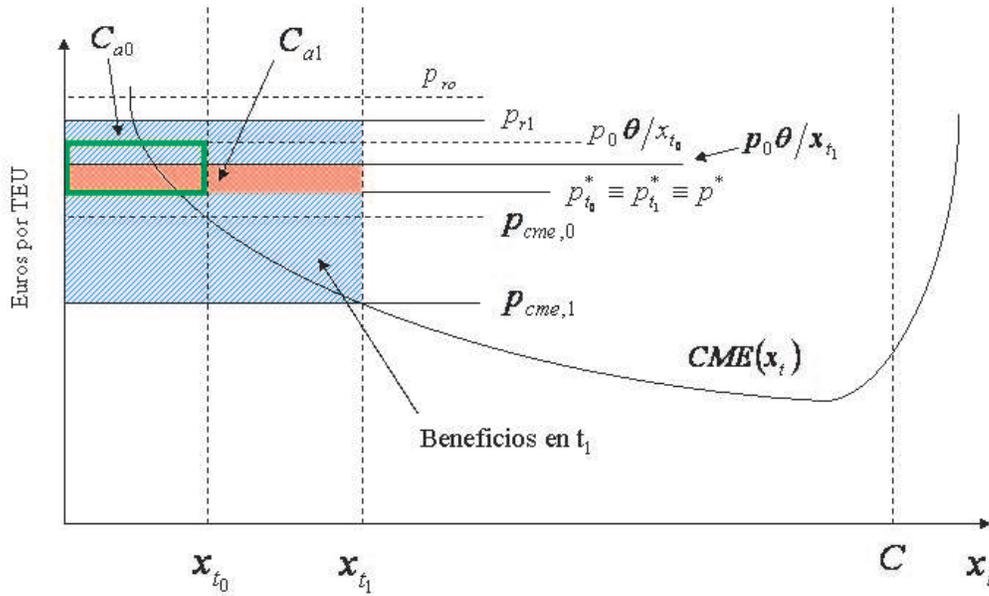


Figura 7.4: Beneficios y canon del concesionario en caso de una reducción de las tarifas de la terminal.

De hecho, lo que se está haciendo al reducir el cánon es incrementar el incentivo al agente a bajar precios o, dicho de otro modo, es está aumentando de un modo "artificial" la elasticidad precio-demanda.

- Un tercer modo de generar incrementos de la demanda es por medio de mejorar otros factores que influyen en ésta y que están por el lado de la oferta. Sería principalmente las mejoras en productividad y calidad del servicio de la terminal. Respecto a esto último, se limitaría aquellas medidas que conllevan a un aumento de demanda perceptibles.

En este caso el análisis de los beneficios para el agente sería muy parecido al supuesto anterior con la salvedad que las tarifas se mantendrían como al principio, esto es,  $p_{r0} = p_{r1}$ . Ver figura 7.2

Supongamos que la terminal hace un esfuerzo para mejorar la productividad de la terminal que le supone un coste, en términos de euros por contenedor,  $p'$  y que da lugar a que la demanda se sitúe en  $x_{t_1}$ , lo que conllevará a un descenso de los costes medios ( $p_{cme,1}$ ) por las economías de escala de la terminal.

Los beneficios sin contar los cánones vendrán dados por  $x_{t_1} (p_{r0} - p' - p_{cme,1})$ .

Los costes  $p'$  deberán de ser tales que den lugar a una mejora de los beneficios respecto a

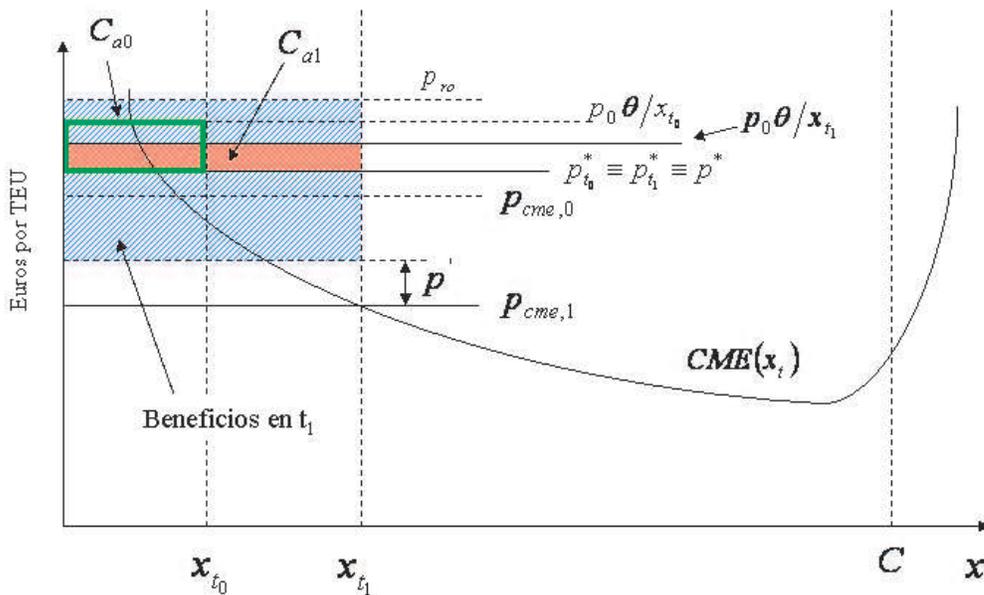


Figura 7.5: Beneficios y canon del concesionario en caso de una mejora de factores que influyen en la demanda de contenedores de la terminal sin contar las tarifas (mejores de la productividad y calidad del servicio, principalmente).

la situación de partida. Los cánones descenderán en  $\Delta xp^*$ . Y se producirá un aumento de los ingresos en  $\Delta xp_{t_0}$ .

La situación es la misma que la del punto anterior pero con la diferencia que antes había un menor ingreso, vía reducción de tarifas ( $p_{r1}$ ), y ahora hay un incremento de los costes unitarios ( $p'$ ) para mejorar la productividad y/o calidad del servicio de las terminales.

De hecho, estos dos últimos modos de incrementar la demanda, tal como se ha indicado al principio del apartado, son complementarios: el empleo de uno de ellos facilita (reduce coste) el otro. Por ende lo más coherente desde el punto de vista económico es que siempre que la terminal pueda empleará al mismo tiempo estas dos vías de mejora de la demanda.

Un modo alternativo de analizar la formulación del canon es partiendo del desarrollo de la expresión. Al igual que antes, se supone que  $\gamma_0 = 0$  y  $\gamma_1 = 1$ , por ser la situación más intuitiva. El canon para un año  $t$  se puede expresar como:

$$C_{at}(x_t) = p_0\theta - p^*x_t \quad (7.9)$$

La interpretación que se desprende de la anterior expresión es la siguiente: se parte de una cifra de canon fija ( $p_0\theta$ ), basada en las estimaciones del principal de las tarifas actuales del

concesionario (que se suponen que están por encima de los valores de la plena competencia), tal que sea disuasorio para continuar aplicando los mismos precios. El único modo que tiene el agente para reducir el canon y mejorar beneficios es por medio de aumentar la demanda, lo que conlleva a modificar las variables que influyen en ésta, que básicamente serían la reducción de tarifas, incrementos de productividad y mejora de la calidad del servicio.

En el caso en que  $\gamma_0 \neq 0$  y  $\gamma_1 \neq 1$ , el razonamiento seguido para demostrar el potencial incentivador del cánon propuesto sería el mismo que el expuesto en los anteriores párrafos. Como más adelante se indicará con más detalle, los valores de  $\gamma_0$  y  $\gamma_1$  serán las incógnitas a resolver de los modelos de principal y de agente y establecerán, en última instancia, aquellos valores en que los incentivos son mayores al tiempo que compatibilizan mejor los objetivos del agente y del principal. En el apartado 8.6, tras la resolver los modelos obtenidos, contiene una explicación del significado de  $\gamma_0$  y  $\gamma_1$  más pormenorizada y que englobaría a cualquier valor de estas variables.

Por último indicar que toda la argumentación expuesta en este apartado para demostrar el modo de funcionamiento del canon como mecanismo incentivador para las mejoras de productividad y de reducción de tarifas es válido en la medida que no se exceda de la capacidad de la terminal (punto *C* de la figura 7.2), pues a partir de este punto se producen sobrecostes importantes por congestión y la argumentación anterior pierde validez.

### **7.3 Modelo entre la Autoridad Portuaria y concesionario de la terminal**

Establecidas las hipótesis básicas adoptadas, el objetivo de este apartado es la definición y justificación de todos los aspectos del modelo de principal y agente construido para modelar las relación contractual entre el concesionario de la terminal y la Autoridad Portuaria, a partir de lo cual se obtendrá una expresión sobre la forma del canon a implementar a este primer agente.

En consonancia con el capítulo 6, en este primer modelo el agente será el concesionario, en tanto que la Autoridad Portuaria ejercerá de principal.

A efectos de sistematicidad en la argumentación, el modelo se construye en dos etapas: definición y descripción de cada uno de los parámetros fundamentales de cada participante del contrato; y la construcción del programa matemático a resolver. En los dos subapartados siguientes se desarrolla esta primera etapa, dejando la segunda para el último de los epígrafes.

### 7.3.1 Concesionario de la terminal

El concesionario de la terminal, con poder de mercado para fijar la tarifas, con vistas a maximizar sus beneficios durante todo el período de la concesión, tenderá a tener unas tarifas por encima de los niveles propios de un entorno de plena competencia, al tiempo que será resistente a mejoras de la productividad de la terminal que no conlleven unas sustanciales reducciones de costes.

Tal como se esgrimió en el capítulo 6, el objetivo básico del principal es que la terminal opere del modo más productivo posible y a unas tarifas propias de entorno de plena competencia. Y ello a través de definir un mecanismo (el canon) que incentive al agente a realizar esfuerzos en esas dos direcciones, esfuerzos que le conllevan un coste.

Para ello, el primer paso es definir la función de utilidad esperada del agente representativa para el conjunto del periodo concesional,  $UE_c$ . En la figura 7.6 se muestra la secuencia de los cálculos que se seguirán en el presente apartado para llegar a la expresión que finalmente adoptará en el modelo de la utilidad esperada del concesionario: en primer lugar se determinará una expresión de la renta del agente para un año  $t$  de la concesión; para seguidamente obtener la renta representativa del conjunto de los años, a partir del criterio de rentabilidad; y finalmente hallar la utilidad esperada.

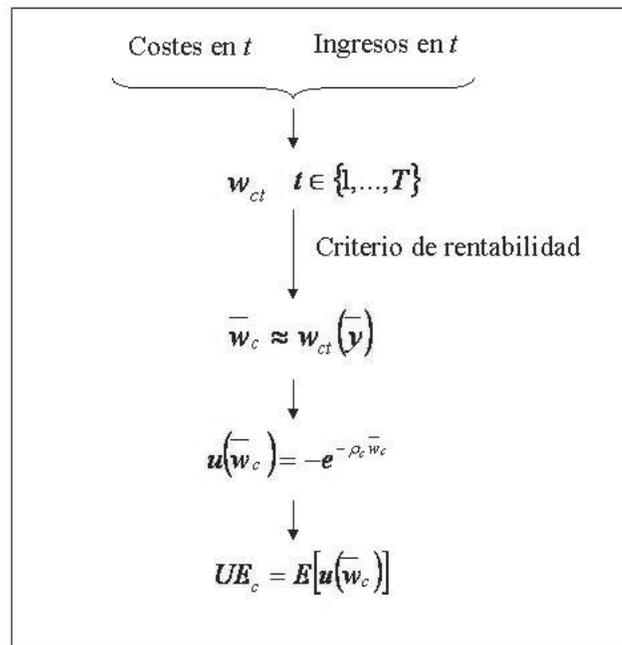


Figura 7.6: Cálculos seguidos para la obtención de la utilidad esperada del concesionario de la terminal.

Tal como se apuntó en el capítulo 6 cuando se explicó el concepto de la función de utilidad,

el objetivo no es encontrar la expresión exacta de función de beneficios del concesionario, sino establecer una relación funcional entre las variables fundamentales que interviene en el problema y la utilidad o desutilidad, según sea, que aporta cada una de estas al concesionario. Puesto que el objetivo esencial de cualquier operador es la obtención de beneficios, la expresión de la utilidad de cada uno de los años de la concesión se fundamenta en los resultados anuales; tan solo habrían algunas expresiones que tienen un tratamiento diferenciado respecto a lo que serían las componentes usuales de la función de beneficios, como, por ejemplo, la desutilidad asociada a los esfuerzos del agente por bajar las tarifas ( $b_1$ ) e incrementar inversiones en mejoras de productividad ( $b_2$ ), tal como más adelante se verá.

### **Renta representativa del periodo concesional**

Vamos a denotar por  $b_1$  es el esfuerzo que realiza el agente para reducir las tarifas de sus servicios y por  $b_2$  el esfuerzo para incrementar la productividad.

Además de estos costes derivados de los esfuerzos  $b_1$  y  $b_2$ , teniendo en cuenta el análisis microeconómico de las terminales de contenedores expuesto en el capítulo 3, se han de incluir las siguientes partidas de costes e ingresos de una terminal, a saber:

- Respecto a los costes:
  - . Costes fijos, donde que básicamente estarían las amortizaciones del inmovilizado material (maquinaria de manipulación de contenedores e inversiones en la obra civil) y todos los gastos de estructura (personal de administración, por ejemplo). Los gastos financieros derivados de las deudas contraídas por el concesionario para hacer frente a las inversiones también se incluyen dentro de este capítulo, aunque *in strictu sensu* se contabilizan a parte de los gastos fijos, pero que, a efectos de obtener la utilidad del agente, es indiferente hacerlo de un modo u otros.
  - . Costes de la mano de obra portuaria (sociedad de estiba y desestiba).
  - . Cánones cobrados por la Autoridad Portuaria (la incógnita a resolver).
  - . Costes operativos no incluidos en la mano de obra portuaria, como por ejemplo los consumos de energía (combustible y electricidad) y mantenimiento y reparaciones.
- Por lo que a los ingresos atañe, básicamente hay dos:
  - . Tarifas por la carga y descarga de los contenedores.
  - . Tarifas por el almacenamiento de los contenedores en la campa de la terminal habilitada para ello.

Por el lado de los ingresos, con vistas a evaluar el esfuerzo que el agente realiza para bajar las tarifas lo más cercanas posibles a los niveles de plena competencia, la utilidad del concesionario para cada uno de los años de la concesión por la parte de los ingresos vendrá dada por:

$$i_t = p_m x_t - \frac{1}{2} b_{1t}^2 \delta_4 \theta \quad (7.10)$$

donde:

$i_t$ : ingresos del concesionario en el año  $t$  de la concesión.

$p_m$ : tarifa media aplicada por el concesionario de la terminal en la situación de partida, es decir, sin la existencia de un incentivo del principal para reducir tarifas. Incluye tanto la tarifa por la carga y descarga como por el almacenaje de los contenedores. Se supone que están por encima de los valores propios de la plena competencia.

$x_t$ : tráfico de contenedores en el año  $t$  de la concesión.

$b_{1t}$ : esfuerzo del concesionario de la terminal en el año  $t$  por bajar tarifas.

$\delta_4$ : define el nivel de desconocimiento que tiene la Autoridad Portuaria sobre el esfuerzo del agente en reducir tarifas.

$\theta$ : variable aleatoria uniformemente distribuida en  $[\underline{\theta}, \bar{\theta}] \subseteq [0, 1]$  y que representa el nivel de información oculta.

Por consiguiente, el resultado de la resta de las dos expresiones anteriores es indicativo de la utilidad aportada al concesionario por el nivel tarifario que realmente aplica al final. La ventaja de hacerlo de este modo, sin considerar directamente las tarifas aplicadas, es que permite evaluar el nivel de esfuerzo del agente para reducir tarifas.

En la formulación anterior de la tarifa del concesionario ( $p_m$ ) no se ha tenido en cuenta de un modo directo la estructura tarifaria tanto de los servicios de almacenamiento de los contenedores como la carga y descarga. En los precios por estos servicios suele ser habitual la existencia de políticas de discriminación de precios de algún tipo (como las de primer orden), bonificaciones por volumen de carga movido, etc. de modo que la expresión considerada para las tarifas en la formulación es una tarifa media "ficticia", en el sentido que resultado de dividir el conjunto de los ingresos que se podrían obtener por la terminal durante un año por estos dos conceptos por el total de los contenedores; no es la tarifa aplicada a ninguno de los contenedores

movidos en particular. Ello permite simplificar las expresiones al tiempo que es un indicador igualmente válido del nivel tarifario de la terminal.

Asimismo, por lo que a la expresión funcional de los esfuerzos  $b_1$  se refiere, la mayor parte de la literatura asume, después de los trabajos de Feltham y Xie (1994), que los costes adicionales por los esfuerzos son separables por sus componentes y dados por  $\frac{1}{2}b_i^2$  ( $i=1,2$ ).

En cuanto a los costes fijos,  $C_f$ , de la función de utilidad del concesionario, se trata de unas partidas más importantes en el volumen que representan, tal como se ha indicado con detalle en el capítulo 3.

En este caso, al igual que sucedía con costes enteiros, el principal desconoce la función de costes exacta del agente, hay un problema de información oculta, por lo que no dispone de la información adecuada para fijar los cánones; tan solo puede saber el intervalo en que se pueden situar estos costes, ya sea a través de estimaciones o por la experiencia en otras terminales. Por consiguiente, los costes fijos vendrán dados por:

$$C_f = c_{mf}\delta_1\theta \quad (7.11)$$

El valor del coste fijo,  $c_{mf}$ , puede concebirse como el valor medio del intervalo en el que puede variar el coste fijo según el grado de información de que dispone el principal; sería el número a considerar en caso de tenerse que dar un único valor. Con la expresión de  $C_f$  se define la amplitud del intervalo en que se puede situar el valor verdadero, tal como se ha apuntado en el subapartado de información oculta al definir las hipótesis adoptadas (apartado 6.5.3).

Puesto que  $\theta$  se distribuye según una uniforme en  $[\underline{\theta}, \bar{\theta}] \subseteq [0, 1]$ ,  $C_f$  será una variable aleatoria uniformemente distribuida en el intervalo  $[\underline{\theta}c_{mf}, \bar{\theta}c_{mf}]$ .

Continuando con la exposición de los diversos componentes que forman la función de renta del agente para cada uno de los años de la concesión, por el lado de los costes hay que incluir los costes operativos variables, en los que no se incluye la mano de obra, que denotaremos por  $c_{vt}$ , referidos para el año  $t$ .

Estos costes, al ser dependientes del nivel de contenedores movidos por la terminal para un año  $t$  ( $x_t$ ), se pueden expresar como el producto de  $x_t$  por un coeficiente, que se podría suponer igual al producto de una constante  $c_{v0}$  por  $\delta_2\theta$  en base a:

- la constante  $c_{v0}$  indica la cantidad de coste variable de explotación asociado a cada uno de los contenedores movidos en la terminal en los que no se incluye la mano de obra portuaria.

- la expresión  $\delta_2\theta$  es la debida a la falta de información del principal sobre la estructura de costes del agente y se ha expresado del mismo modo que en los costes fijos.  $\delta_2\theta$ , pues, definiría la longitud del intervalo en que el principal considera que podrían estar los costes variables del agente. No en vano indicar que la variable  $\theta$ , a efectos de obtener las expresiones de las restricciones del programa matemático que modeliza la relación entre el concesionario y la terminal, debe de concebirse no como una variable aleatoria sino como un parámetro, tal como se indicó en el apartado 6.1.

Si las variaciones anuales de los contenedores no son muy elevadas, es de suponer que estos costes de explotación no van a tener variaciones significativas (si no se trabajan con magnitudes actualizadas), por lo que se pueden suponer constantes para cada uno de los aos, especialmente si se tiene en cuenta que los costes de la mano de obra no están incluidos en esta partida, que son los que suelen estar sujetos a más variaciones (por actualización de los sueldos, cambios en las condiciones de los convenios, etc.). Sin embargo, si el objetivo de la función de utilidad buscada es analizar las variaciones de utilidad del agente debido a modificaciones de los valores de las variables que intervienen en el problema, este coste variable debe de analizarse en relación no en la situación usual de una explotación en la que no se producen cambios significativos en la estructura de costes ni en las productividades (por lo que los costes variables, sin incluir la manor de obra portuaria, prácticamente son constantes), sino en situaciones de cambios de productividades que tienen una incidencia en la estructura de costes.

En estas situaciones el concesionario tan solo contemplará aquellos esfuerzos en incrementos de productividad ( $b_2$ ) que impliquen una reducción de los costes operativos tales que a través de estos ahorros en costes junto con el mecanismo de incentivo del principal sea posible amortizar los costes derivados de estos esfuerzos. En este sentido conviene indicar que al final, tras aplicar la criterior de rentabilidad, se obtendrá una única expresión en la que se evaluará la utilidad o desutilidad aportada al agente por cada una de las variables que intervienen en el problema en todo el período concesional. Por consiguiente, el última instancia, no se trata de contemplar expresiones de costes que tan solo contemplen cambios tenues del volumen de contenedores y una estructura de costes constante (como sería el caso de hacer los costes variables unitarios iguales a  $c_{v0}\delta_2\theta$ ), sino de expresiones de costes en los que tanto el volumen de demanda como las productividades pueden tener cambios destacables.

Por lo tanto, a efectos de analizar la función de utilidad del agente para todo el periodo concesional (que se obtendrá a partir de la expresión de la utilidad de cada uno de los años de la concesión) hay que incorporar el esfuerzo  $b_{2t}$  en la formulación, teniendo en cuenta que

el coste variable unitario será inversamente proporcional al esfuerzo realizado por el agente en productividad ( $b_2$ ). Aprovechando la expresión anterior de este coste, se tendría que la expresión de los costes variables vendría dada por:

$$\frac{c_{v0}\delta_2\theta}{b_{2t}}x_t \quad (7.12)$$

donde  $c_{v0}$  esta vez sería la constante de proporcionalidad (costes totales variables en la situación de partida) y  $\delta_2\theta$  es el término debido a la información oculta.

No obstante, en caso de adoptar la expresión anterior, el desarrollo posterior para obtener las restricciones del programa matemático entre el concesionario y la Autoridad Portuaria daría lugar a un polinomio de tercer grado como mínimo, con lo que no sería posible obtener expresiones analíticas tratables y se complicarían de un modo significativo la resolución numérica del problema.

Llegados a este punto, hay dos aspectos a tener en cuenta:

- Por un lado, puesto que, tal como se ha apuntado, la función de utilidad se ha de tratar en términos relativos en el sentido de que la información si es mayor o menor en relación a una magnitud de referencia, un modo de soslayar estas dificultades en los cálculos al tiempo que obtener una expresión de coste variables de explotación igualmente válida a los efectos de la utilidad del agente, es sustituir en la expresión 7.12  $b_{2t}$  por otra variable cuyos valores sean directamente proporcionales a  $b_{2t}$ .
- Por otro lado, a medida que aumenta el esfuerzo del agente en incrementos de productividades, ello repercute en un aumento de la demanda de los tráficos de contenedores, pues se tratan de dos factores importantes en la toma de decisión de los cargadores para pasar la carga por una terminal u otra (capítulo 3). De este modo, se puede suponer que la demanda de contenedores ( $x_t$ ) es creciente con aumentos de  $b_{2t}$ .

En virtud de estos puntos, en la expresión 7.12 se utilizará  $x_t$  en lugar de  $b_{2t}$ . Se trata de una sustitución más válida a medida que la relación entre estos dos variables se pueda ajustar más a una recta. Adoptando la expresión que relaciona la demanda de contenedores de una terminal con los esfuerzos (apartado 6.5.1), la relación entre esta primera variable y el esfuerzo  $b_{2t}$  se pueden ajustar a una recta en la mayor parte del dominio de  $b_{2t}$  (cuyo nivel de ajuste dependerá esencialmente de la elasticidad demanda-productividad), tal como queda indicado en la figura 7.7. Por consiguiente, en lugar de la formulación 7.12 se puede adoptar la siguiente

como expresión de los costes variables de explotación (no incluyen los de la mano de obra portuaria):

$$\frac{c_{v0}\delta_2\theta}{x_t}x_t \tag{7.13}$$

donde  $c_{v0}$  será ahora el coeficiente de proporcionalidad que relaciona el nivel de demanda dado un nivel de esfuerzo en productividad ( $b_{2t}$ ).

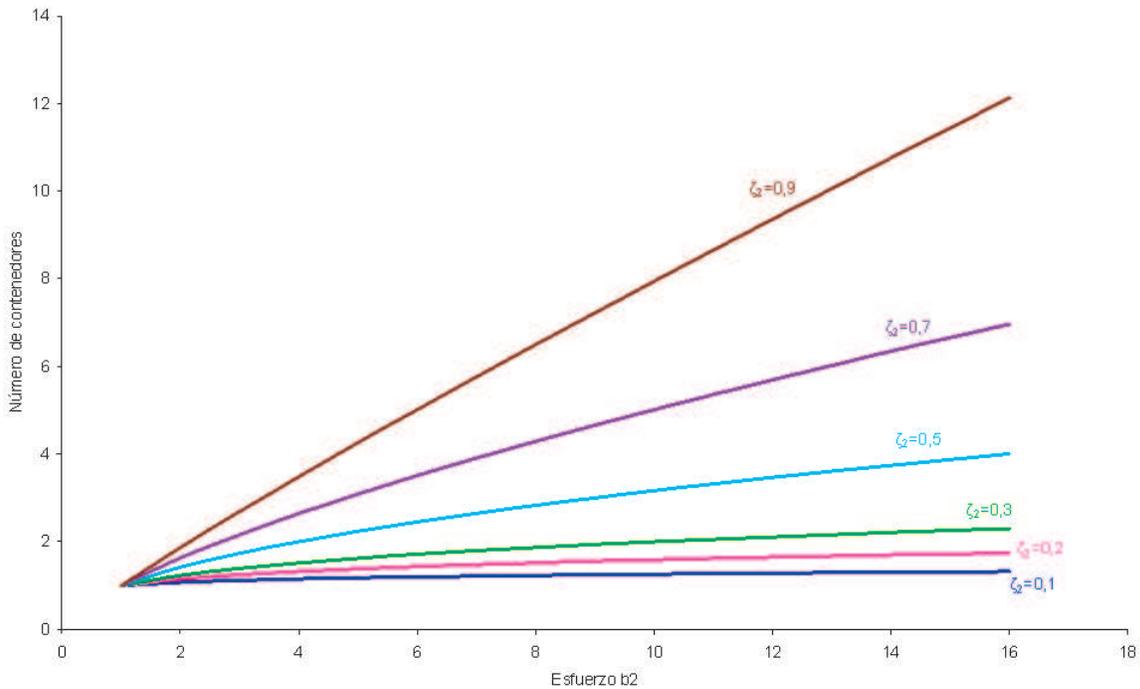


Figura 7.7: Relación entre el tráfico de contenedores de la terminal ( $x_t$ ) y el nivel de esfuerzo  $b_2$  para diferentes valores de la elasticidad  $\xi_2$ .

Por otro lado, el esfuerzo del concesionario de la terminal para aumentar la productividad,  $b_2$ , le representará un coste  $\frac{1}{2}b_{2t}^2\delta_2\theta$ , donde  $\delta_2$  define la longitud del intervalo en que puede situarse el valor de  $b_{2t}$  según el principal y  $\theta$  es una variable aleatoria uniformemente distribuida en  $[\theta, \bar{\theta} \subseteq [0, 1]$ . Los argumentos para emplear tal relación funcional son los mismos que los esgrimidos para  $b_{1t}$ .

Otro de los componentes de la renta de cada uno de los años de la concesión del concesionario ( $w_t$ ) es la mano de obra portuaria, las tarifas cobradas al agente por la estiba y desestiba ( $T_{et}$ ). En el apartado 7.1 hay una descripción y justificación de la formulación adoptada para este coste. Aquí nos limitaremos tan solo a mostrar la expresión:

$$T_{et} = \alpha_0 + \alpha_1 \frac{c_u \delta_6 \theta}{h_t} x_t = \alpha_0 + T_e x_t \quad (7.14)$$

donde:

$\alpha_1$  y  $\alpha_0$ : son las incógnitas a determinar en el programa matemático surgido del problema del principal y del agente.

$c_u$ : es el coste de la mano de obra portuaria, en términos de euros por mano de obra y hora.

$h_t$ : es la productividad total de la mano de obra portuaria, en TEU's/hora.

$\theta$ : es la variable que indica el nivel de desinformación para el principal sobre este coste, pero que para el agente actúa como un parámetro en la formulación.

$\delta_6$ : establece la longitud del intervalo en el cual el principal sabe que los costes del agente se sitúan en éste.

Finalmente, una última componente de la función de renta de cada uno de los años de la concesión son los cánones cobrados por el principal al concesionario de la terminal, que, en consonancia a lo expuesto en el apartado 7.2, tienen como objetivo servir de incentivo para: que el agente intensifique esfuerzos en reducir tarifas hasta acercarse al máximo posible a los valores propios de la plena competencia; y que además el agente incremente la productividad. A continuación tan solo se expone la formulación del canon propuesta para un año  $t$  de la concesión ( $C_{ap,t}$ ), remitiéndonos al citado apartado para una explicación pormenorizada de la expresión:

$$C_{ap,t} = \gamma_0 + \gamma_1 \left( \frac{p_0 \theta}{x_t} - p^* \right) x_t \quad (7.15)$$

donde:

$\gamma_0$  y  $\gamma_1$ : incógnitas a determinar en el programa matemático definido por el modelo del principal y del agente.

$p_0$ : es una estimación por parte de la Autoridad Portuaria de los ingresos totales percibidos por el concesionario de media en cada uno de los años de la concesión que, dividida por el tráfico de la terminal  $x_t$ , da un valor de la tarifa media aplicada por la terminal. Esto es:

$$p_0 = \sum_t \frac{p_{t0}}{T} \quad (7.16)$$

$p^*$ : tarifa media estimada de todos los años de la concesión de las terminales de referencia, a saber:

$$p^* = \sum_t \frac{p_t^*}{T} \quad (7.17)$$

Llegados a este punto se ha presentado los diferentes elementos que forman la renta del concesionario para cada uno de los años de la concesión, a partir de lo cual estamos en condiciones de obtener la rentabilidad del agente para el conjunto del periodo, empleando el criterio de rentabilidad (apartado 6.4).

De las expresiones 7.11, 7.10, 7.13, 7.14 y 7.15 se obtiene directamente la renta del agente,  $w_t(x_t)$ , para un año  $t$  de la concesión:

$$w_t(x_t, b_{1t}, b_{2t}) = p_m x_t - \frac{1}{2} b_{1t}^2 \delta_4 \theta - c_{mf} \delta_1 \theta - \frac{c_{v0} \delta_2 \theta}{x_t} x_t - C_{ap,t}(x_t) - T_e x_t - \frac{1}{2} b_{2t}^2 \delta_2 \theta - \alpha_0 \quad (7.18)$$

Por otro lado, del criterio de rentabilidad se tiene que:

$$\bar{w} \simeq w_t(\bar{x}, b_1, b_2) \quad (7.19)$$

donde  $\bar{x}$ ,  $b_1$  y  $b_2$  son las medias de los diferentes años de la concesión de las previsiones de tráfico, los esfuerzos en reducción de tarifas y los esfuerzos en incremento de productividad respectivamente.

A partir de ahora, pues, toda el análisis se focaliza en desarrollar la formulación de la utilidad media de cada una de las componentes de la utilidad de los diferentes años de la concesión.

Para ello previamente es menester realizar una serie de consideraciones:

- Tal como se han ido describiendo en los diversos elementos de la utilidad de cada uno de los años de la concesión, parte de los coeficientes que intervienen (los que no tienen el subíndice  $t$ ) permanecen prácticamente constantes durante el periodo. Se trata de una hipótesis válida, pues a la práctica las variaciones no son muy significativas una vez la

explotación ha superado los primeros años de arranque y está en su situación de "operativa estacionaria"; máxime si se tiene en cuenta que estamos evaluando una función de utilidad, no de beneficios.

- La variable  $\theta$ , indicadora del nivel de información de que dispone el principal, a efectos de desarrollar las restricciones del agente en el programa matemático entre la Autoridad Portuaria y el concesionario, ha de ser tratada como un parámetro en la formulación; no de variable aleatoria.

En virtud de ello, si  $T$  es el total del periodo concesional, los valores medios de cada una de las variables de la utilidad de cada año de la concesión ( $w_t$ ) que varían con el tiempo se representan en las formulaciones siguientes:

$$\bar{x} = \frac{\sum_t x_t}{T} \quad (7.20)$$

$$b_1^2 = \frac{\sum_t b_{1t}^2}{T} \quad (7.21)$$

$$b_2^2 = \frac{\sum_t b_{2t}^2}{T} \quad (7.22)$$

Sustituyendo las anteriores formulaciones en 7.18 se obtiene el argumento de la función de utilidad que finalmente es aplicada para decidir sobre los niveles de esfuerzo ( $b_1$  y  $b_2$ ) a aplicar por parte del agente, a saber:

$$\bar{w} \simeq p_m \bar{x} - \frac{1}{2} b_1^2 \delta_4 \theta - c_{mf} \delta_1 \theta - \frac{c_{v0} \delta_2 \theta}{\bar{x}} \bar{x} - C_{ap,t}(\bar{x}) - T_e \bar{x} - \frac{1}{2} b_2^2 \delta_2 \theta - \alpha_0 \quad (7.23)$$

### Utilidad esperada de la concesión para el agente

A partir de la expresión de la renta representativa de la concesión ( $\bar{w}$ ), el próximo paso es la obtención de la utilidad esperada del concesionario. Para ello, teniendo en cuenta que el agente es averso al riesgo, se toma como función utilidad la expresión 7.24, que son las habitualmente empleadas por la literatura cuando hay aversión al riesgo (Varian 1998 o Holmstrom y Milgrom 1991, por ejemplo):

$$u(\bar{w}) = -e^{-\rho_c \bar{w}} \quad (7.24)$$

donde  $\rho_c$  es el parámetro que mide el nivel de aversión al riesgo del concesionario de la terminal.

En consonancia con lo expuesto en el capítulo 5 el criterio que finalmente se adoptará para la toma de decisiones por parte del agente será el de la función de utilidad esperada, que es el más ampliamente utilizado en el ámbito de los modelos del principal y del agente (Varian, 1998) y que viene dada por la esperanza de la utilidad, que en el caso que nos ocupa sería la utilidad representativa del conjunto de los años de la concesión ( $\bar{w}$ ). Más concretamente sería:

$$E[u(\bar{w})] = - \int_{\Omega_{\bar{w}}} e^{-\rho_c \bar{w}} f(\bar{w}) d\bar{w} \quad (7.25)$$

donde  $f(\bar{w})$  es la función de densidad de probabilidad de  $\bar{w}$  e  $\Omega_{\bar{w}}$  es el dominio de  $\bar{w}$ .

Los términos de 7.23 se pueden segmentar en dos categorías: los que dependen de  $\bar{x}$  y los que no. Puesto que  $x_t$  es una variable aleatoria cuya distribución de probabilidad es una normal,  $x_t \sim N(\bar{x}_t, \sigma_t^2)$ , para  $t \in \{1, \dots, T\}$  y las  $x_t$  se pueden suponer independientes, la media del conjunto de los años,  $\bar{x}$ , se distribuirá según otra normal cuyos media vendrá dada por la suma de las medidas de las variables que se sumen y la varianza será igualmente la suma de las varianzas de las  $x_t$ , esto es:

$$\bar{x} \sim N(\hat{x}, \hat{\sigma}_x^2) \quad (7.26)$$

donde:

$$\hat{x} = \sum_t \frac{\bar{x}_t}{T} \quad (7.27)$$

y

$$\hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{T^2} \sum_t \sigma_t^2 \quad (7.28)$$

A partir de ello, los términos de  $\bar{w}$  en los que interviene la variable  $\bar{x}$  seguirán las funciones de distribución de probabilidad indicadas a continuación:

$$p_m \bar{x} \sim N(p_m \hat{x}, p_m^2 \hat{\sigma}_x^2) \quad (7.29)$$

$$\gamma_1 p^* \bar{x} \sim N \left( \gamma_1 p^* \hat{x}, \gamma_1^2 p^{*2} \hat{\sigma}_x^2 \right) \quad (7.30)$$

$$-T_e \bar{x} \sim N \left( -T_e \hat{x}, T_e^2 \hat{\sigma}_x^2 \right) \quad (7.31)$$

$$-\frac{1}{2} b_1^2 \delta_4 \theta \sim N \left( -\frac{1}{2} b_1^2 \delta_4 \theta, 0 \right) \quad (7.32)$$

$$-\frac{1}{2} b_2^2 \delta_3 \theta \sim N \left( -\frac{1}{2} b_2^2 \delta_3 \theta, 0 \right) \quad (7.33)$$

$$-c_{mf} \delta_1 \theta \sim N \left( -c_{mf} \delta_1 \theta, 0 \right) \quad (7.34)$$

$$-c_{v0} \delta_2 \theta \sim N \left( -c_{v0} \delta_2 \theta, 0 \right) \quad (7.35)$$

$$-\gamma_0 \sim N \left( -\gamma_0, 0 \right) \quad (7.36)$$

$$-\alpha_0 \sim N \left( -\alpha_0, 0 \right) \quad (7.37)$$

$$-\gamma_1 p_0 \theta \sim N \left( -\gamma_1 p_0 \theta, 0 \right) \quad (7.38)$$

El resto de las componentes de 7.23 son constantes o, dicho de otro modo, variables aleatorias que siguen una distribución de probabilidad normal con media el valor de la constante y desviación zero. Conviene indicar que  $\theta$  interviene como un parámetro en las restricciones del programa del principal y el agente, puesto que deben de cumplirse para cualquier valor de  $\theta$ ; de modo que, a efectos de obtener la distribución de probabilidad de  $\bar{w}$ , esta variable ha de tratarse como un parámetro. El hecho que el principal conozca que  $\theta$  es una variable aleatoria que se distribuye según una distribución uniforme es tenido en cuenta en la parte del programa matemático referente al principal.

Por consiguiente, la renta media del agente ( $\bar{w}$ ) es una variable aleatoria definida por la suma y resta de variables aleatorias que se distribuyen según una normal y que son independientes,

por lo que esta variable seguirá una distribución normal,  $\bar{w} \sim N(\hat{w}, \sigma_w^2)$ , cuya media es la suma y resta, según sea, de las medias de las variables que la definen y cuya variación es la suma de las variaciones de las componentes, esto es:

$$\hat{w} = (p_m + \gamma_1 p^* - T_e) \hat{x} - \frac{1}{2} b_1^2 \delta_4 \theta - c_{mf} \delta_1 \theta - c_{v0} \delta_2 \theta - \gamma_0 - \gamma_1 p_0 \theta - \alpha_0 - \frac{1}{2} b_2^2 \delta_3 \theta \quad (7.39)$$

$$\sigma_w^2 = (p_m^2 + \gamma_1^2 p^{*2} + T_e^2) \hat{\sigma}_x^2 \quad (7.40)$$

Con este resultado obtenido estamos en condiciones de calcular la utilidad esperada:

$$E[u(\bar{w})] = - \int_{\Omega_{\bar{w}}} e^{-\rho_c \bar{w}} f(\bar{w}) d\bar{w} \quad (7.41)$$

Para la resolución de esta interacción bien se puede desarrollar el cuadrado, bien se aprovecha que se trata del cálculo que se realiza para hallar la función generadora de momentos correspondientes a la distribución normal. Al final se llega al siguiente resultado:

$$E[u(\bar{w})] = -e^{-\rho_c(-\hat{w} + \frac{\rho_c^2 \sigma_w^2}{2})} \quad (7.42)$$

De 7.42 se observa que la función de utilidad esperada es creciente con  $\hat{w} - \rho_c^2 \frac{\sigma_w^2}{2}$ . Puesto que es posible considerar una transformación monótona de la utilidad esperada, ésta se puede evaluar por medio de función de utilidad (capítulo 5):

$$E[u(\bar{w})] \equiv u(\hat{w}, \sigma_w^2) = \hat{w} - \rho_c^2 \frac{\sigma_w^2}{2} \quad (7.43)$$

Finalmente, la función de utilidad esperada del agente ( $UE_c$ ) a partir de la cual éste escogerá los esfuerzos ( $b_1$  y  $b_2$ ) que le resulten más adecuados y que se empleará en las restricciones del programa matemático de la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal (desarrolladas en el capítulo 8), vendrá dada de sustituir 7.39 y 7.40 en 7.43, a saber:

$$UE_c(\hat{w}, \sigma_w^2) = \Gamma_x \hat{x} - \frac{1}{2} b_1^2 \delta_4 \theta - c_{mf} \delta_1 \theta - c_{v0} \delta_2 \theta - \gamma_0 - \gamma_1 p_0 \theta - \alpha_0 - \frac{1}{2} b_2^2 \delta_3 \theta - \frac{1}{2} \rho_c^2 \Gamma_\sigma \hat{\sigma}_x^2 \quad (7.44)$$

$$\text{con } \Gamma_x = p_m + \gamma_1 p^* - T_e \text{ y } \Gamma_\sigma = p_m^2 + \gamma_1^2 p^{*2} + T_e^2.$$

### **7.3.2 Autoridad Portuaria**

El principal, tal como se ha comentado, tiene dos objetivos fundamentales:

- Por un lado, que las tarifas cobradas por el concesionario de la terminal de contenedores estén lo más cerca posible de los niveles propios de la plena competencia; o, como mínimo, no muy alejadas de las terminales de los puertos competentes al puerto donde se ubique la terminal objeto del estudio.
- Por otro lado, alcanzar la máxima productividad posible en la terminal.

Para lograr estos objetivos el instrumento que se ha implementado ha sido el canon que paga el concesionario de la terminal a la Autoridad Portuaria. Se ha adoptado una estructura de tasa tal que conlleve al agente a tener las tarifas lo más alejadas posibles de las propias de situaciones de monopolio, al propio tiempo que las vías para maximizar beneficios se tengan que centrar en reducir costes por medio de las mejoras en las productividades.

El presente apartado se centrará en la obtención de una formulación de la utilidad esperada del principal.

Para ello, hay dos grandes enfoques: el de la Economía del Bienestar y el micro.

En este primero, habida cuenta de que la Autoridad Portuaria es un organismo público, se han de evaluar los beneficios desde el punto de vista del conjunto de la sociedad, no sólo limitarlos al ámbito estricto de las cuentas del organismo. Se deberían de incluir, pues, aspectos tales como: ahorros para los cargadores por reducciones en los tiempos de operativa; bienestar asociado a la zona de influencia del puerto por el aumento del tráfico de contenedores en la terminal; ahorros por la reducción de las tarifas; etc.

En enfoque micro, por su parte, se centraría en evaluar los beneficios generados por las medidas implementadas tan solo en el ámbito estricto de la Autoridad Portuaria, y concretamente en su situación económica y financiera; todo lo cual implicaría centrar el análisis básicamente en la cuantificación de los ingresos procedentes por los cánones cobrados al agente. El principal inconveniente de este análisis es que no se evaluaría ni la reducción de las tarifas ni incrementos de las productividades de la terminal, que son los objetivos directos del principal.

Debido a este último inconveniente, se ha optado por la definición de la función objetivo del principal desde la óptica de la Economía del Bienestar. Y más concretamente siguiendo las pautas descritas a continuación:

En la formulación se ha tenido en cuenta sólo los objetivos directos del principal: mejoras de productividad y reducción de las tarifas. Y es que incluir otras de las externalidades positivas causadas, como por ejemplo los beneficios generados por los aumentos de los tráficos, implicaría incrementar el número de parámetros y variables necesarias del problema, introduciendo en el análisis una complejidad que no estaría compensada por las ganancias en rigor, puesto que los beneficios derivados de estas otras externalidades siempre serán proporcionales a la reducción de tarifas y mejoras en la productividad. Así, el análisis puede centrarse en cuantificar de los efectos más directos que son, al fin y al cabo, los motores del resto.

Concretamente se ha obtenido el excedente de la Autoridad Portuaria en su relación con el concesionario, que estará básicamente constituido por el canon ( $C_a(\bar{x})$ ) y los ingresos resultado de restar los procedentes de aplicar el concesionario las tarifas en caso de no haber incentivos para bajarlas ( $p_m$ ) y los obtenidos de aplicar las tarifas que realmente utiliza cuando los incentivos están instaurados, esto es,  $(p_0\theta - p^*)\bar{x}$ .

Además del enfoque del excedente de la relación, la formulación adoptada se puede justificar desde otro prisma. En efecto:

- Los cánones han de concebirse como aquella parte de los beneficios que van a parar a la Autoridad Portuaria, por lo que a medida que éstos sean más grandes y sean proporcionales a las tarifas de la terminal menos posibilidades tendrá el agente para subir precios. Por consiguiente, la presencia de los cánones en la función de utilidad del principal puede de ser entendida como medida de los niveles tarifarios del agente, no como un instrumento para maximizar los ingresos del principal (enfoque micro).
- Para analizar el nivel de la productividad de la terminal, hay dos alternativas: definir un indicador *had hoc* para ello o emplear una variable que sea proporcional a este aspecto. Emplear esta primera alternativa requiere por parte del principal el acceso a información de la operativa de la terminal que puede llegar a ser muy difícil de obtener si no se ha obligado contractualmente al inicio de la concesión al operador de la terminal. Por ello, y para analizar un modelo que englobe al máximo de situaciones, se ha optado por la segunda vía; concretamente empleando el nivel de demanda de la terminal como indicador. A medida que sean mejores los niveles de productividad y más competitivas las tarifas, la demanda será mayor. Con mayor nivel de demanda, más crecerán los cánones y la parte de los ingresos por encima de los propios en situaciones de plena competencia.

Y si unido a todo ello se tiene en cuenta que el principal es neutro al riesgo (apartado 6.5.2), la utilidad de éste vendrá dada por:

$$u(\bar{x}) = C_a(\bar{x}) + (p_0\theta - p^*)\bar{x} \quad (7.45)$$

Con la expresión anterior se está en condiciones de obtener la formulación de la utilidad esperada del principal ( $UE_p$ ) que finalmente se empleará en la modelización. No obstante, previamente es menester realizar algunas consideraciones:

- La demanda ( $\bar{x}$ ) es una variable aleatoria cuya densidad de probabilidad es una normal y cuyos valores de la media y la desviación dependen de  $\theta$ , esto es,  $\bar{x} \sim N\left(\widehat{x}(\theta), \widehat{\sigma}_x^2(\theta)\right)$ , tal como se ha mostrado en el apartado anterior.
- La variable  $\theta$ , con la que se mide el nivel de información que el principal tiene de alguna de las variables del agente, es para este primero, tal como se ha apuntado en el apartado 6.5.3, una variable aleatoria uniformemente distribuida en un intervalo  $[\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ . No obstante, en las formulaciones del agente, esta variable actuaba como un parámetro; puesto que, al modelar el nivel de información del que dispone el principal del agente, las expresiones que hacen referencia a decisiones que toma el agente deben de cumplirse para todos los valores de  $\theta$  inscritos en su intervalo.

En virtud de todo ello, la utilidad esperada del principal vendrá dada por:

$$E[u(\bar{x})] = \int_{\Omega_x} \int_{\Omega_\theta} u(\bar{x}) f(\bar{x}; \theta) q(\theta) d\theta d\bar{x} \quad (7.46)$$

donde:

- $u(\bar{x})$  es la utilidad del principal dada por 7.45.
- $f(\bar{x}; \theta)$  es la función de densidad de probabilidad normal respecto a  $\bar{x}$  y que tiene como parámetro a  $\theta$ , esto es:

$$f(\bar{x}; \theta) = \frac{1}{\widehat{\sigma}_x^2(\theta)\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\bar{x} - \widehat{x}(\theta)}{\widehat{\sigma}_x(\theta)}\right)^2\right] \quad (7.47)$$

- $q(\theta)$  es la función de densidad de probabilidad de  $\theta$ , es decir:

$$q(\theta) = \frac{1}{\Omega_\theta} \quad \theta \in \Omega_\theta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}] \quad (7.48)$$

Ahora bien, la expresión 7.46 no incluye toda la utilidad del principal en su relación contractual con el agente. Y es que conviene tener en cuenta que en la consecución de los objetivos por parte de la Autoridad Portuaria se pueden distinguir tres niveles:

- En el primero de ellos tiene lugar cuando no hay problemas en la asimetría de la información, por lo que no hay ninguna de las imperfecciones propias de la falta de información (riesgo moral, selección adversa y señalización) y el principal puede alcanzar plenamente los objetivos marcados. Sería el *first best*.
- Otro nivel es cuando la asimetría de la información se centra en que el principal no puede comprobar el esfuerzo realizado por el agente una vez iniciada la relación (riesgo moral), con lo que el principal no podrá alcanzar plenamente sus objetivos, siempre existirá algún grado de ineficiencia en la implementación de las medidas para corregir los problemas del riesgo moral. Situación que se la podrá catalogar de *second best*.
- Un tercer eslabón es cuando, además del riesgo moral, el principal desconoce aspectos del agente (información oculta) que le dificultan implementar las medidas necesarias para corregir las imperfecciones de la información, por el hecho de la existencia de información oculta da lugar a la pérdida de utilidad por parte del principal (García, 2003). Se trataría de la situación desfavorable para el principal y beneficiosa para el agente.

Este tercer nivel es donde se ubicaría el problema de principal y agente analizado. La imposibilidad por parte del principal de no conocer toda la estructura de costes del agente posibilita que este último obtenga una utilidad adicional y el primero una desutilidad, que denotaremos por  $UE_p^*$ , alterando el resultado del *second best*, que sería el obtenido de la formulación 7.46.

En consecuencia, el hecho de existir riesgo moral junto con información oculta da lugar a que la utilidad esperada del principal ( $UE_p$ ) tenga dos componentes:

$$UE_p = UE_p^{sb} - UE_p^* \quad (7.49)$$

donde:

- $UE_p^{sb}$  es la utilidad en caso de sólo tener riesgo moral (*second best*) y viene dada por la expresión 7.46.
- $UE_p^*$  es la desutilidad surgida por la incertidumbre del principal sobre la estructura de costes del agente.

Respecto a la desutilidad  $UE_p^*$ , en la resolución del modelo (capítulo 8) se desarrollará con detalle la expresión de esta desutilidad, limitándonos en este apartado a la formulación genérica, esto es:

$$UE_p^* = \int_{\Omega_\theta} \left( \int_{\underline{\theta}}^z \frac{\partial UE_c}{\partial \theta} d\theta \right) q(z) dz \quad (7.50)$$

donde:

- $q(z)$  es la función de densidad de probabilidad (uniformemente distribuida) de  $\theta$ .
- $q(z) = \frac{1}{\Omega_\theta}$ .
- $\Omega_\theta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$  es el intervalo de  $\theta$ .
- $\frac{\partial UE_c}{\partial \theta}$  cumple con las ecuaciones  $\frac{\partial UE_c}{\partial b_i} = 0$  con  $i = 1, 2$  (ver el capítulo 8 para una justificación de ello).

Así, a título de conclusión del presente apartado, se ha obtenido una expresión de la utilidad esperada del principal ( $UE_p$ ) dada por 7.49, la cual se escinde en dos componentes: la utilidad en caso de haber tan solo riesgo moral ( $UE_p^{sb}$ ), que vendría definida por 7.46; y la desutilidad derivada por la falta de información ( $UE_p^*$ ), dada por 7.50. Concretamente:

$$UE_p = \int_{\Omega_x} \int_{\Omega_\theta} u(\bar{x}) f(\bar{x}; \theta) q(\theta) d\theta d\bar{x} - \int_{\Omega_\theta} \left( \int_{\underline{\theta}}^z \frac{\partial UE_c}{\partial \theta} d\theta \right) q(z) dz \quad (7.51)$$

### 7.3.3 Modelo final entre la Autoridad Portuaria y el concesionario

A partir del desarrollo en los dos subapartados anteriores de las utilidades esperadas tanto del agente como del principal, en el presente epígrafe se acaba de definir el programa del principal y agente entre el concesionario de la terminal y la Autoridad Portuaria indicando las expresiones de las restricciones y la función objetivo.

Las variables del problema son los coeficientes que define el cánon ( $\gamma_0$  y  $\gamma_1$ ) y los esfuerzos asociados al concesionario ( $b_1$  y  $b_2$ ). Los coeficientes que acompañan a las tarifas de la mano de obra portuaria ( $\alpha_0$  y  $\alpha_1$ ) y el esfuerzo asociado a ésta ( $b_3$ ) son parámetros del programa matemático. Luego, en el siguiente modelo entre la Autoridad Portuaria y la mano de obra portuaria, esta papel se invertirá: lo que ahora ejerce de variables de problema pasará a ser después los parámetros.

Por lo que a las restricciones del programa atae, se han establecido de un modo genérico en el apartado 6.2. Ahora, en base a la utilidad esperada del agente obtenida en 7.3.1, se mostrarán en detalle.

En el problema del principal y del agente, debido a la existencia de riesgo moral e información oculta, en el citado apartado se definieron tres tipos de restricciones, esto es:

- Restricción de participación. Recoge el hecho de que el agente siempre puede rechazar el contrato si la utilidad que obtiene de la relación es menor que la que puede obtener con otras inversiones.
- Restricción de incentivos. Intrínsecamente vinculada al riesgo moral, indica que una vez aceptado el contrato y puesto que el esfuerzo no es verificable, el agente elige aquel esfuerzo que maximiza su utilidad esperada.
- Restricción de autoselección. Con esta condición aseguran que el agente tendrá interés en aceptar la formulación de canon que, de hecho, va dirigida a éste. Se trata de la condición surgida por la existencia de información oculta.

Para el caso que nos ocupa las anteriores restricciones quedan como:

- Restricción de participación:

$$UE_c(b_1(\theta), b_2(\theta), \gamma_1(\theta), \gamma_0(\theta), \theta) \geq \overline{UE}_c \quad \forall \theta \in \Omega_\theta \quad (7.52)$$

- Restricción de incentivos.

$$b_1(\theta, \hat{\theta}) \in \arg \max_{b_1} UE_c(b_1, b_2(\theta), \gamma_1(\theta), \gamma_0(\theta), \theta) \quad \forall \theta \in \Omega_\theta \quad (7.53)$$

$$b_2(\theta, \hat{\theta}) \in \arg \max_{b_2} UE_c(b_1(\theta), b_2, \gamma_1(\theta), \gamma_0(\theta), \theta) \quad \forall \theta \in \Omega_\theta \quad (7.54)$$

- Restricción de autoselección:

$$UE_c(b_1(\theta, \theta), b_2(\theta), \gamma_1(\theta), \gamma_0(\theta), \theta) \geq UE_c(b_1(\theta, \hat{\theta}), b_2(\hat{\theta}), \gamma_1(\hat{\theta}), \gamma_0(\hat{\theta}), \theta) \quad \forall \theta, \hat{\theta} \in \Omega_\theta \quad (7.55)$$

$$UE_c(b_1(\theta), b_2(\theta, \theta), \gamma_1(\theta), \gamma_o(\theta), \theta) \geq UE_c(b_1(\hat{\theta}), b_2(\theta, \hat{\theta}), \gamma_1(\hat{\theta}), \gamma_o(\hat{\theta}), \theta) \quad \forall \theta, \hat{\theta} \in \Omega_\theta \quad (7.56)$$

donde  $UE_c$  viene dado por la expresión 7.44 y  $\Omega_\theta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ .

Por lo que a la función objetivo del programa matemático se refiere, ésta es directamente la utilidad esperada del principal, la cual viene dada por:

$$UE_p = UE_p^{sb} - UE_p^* \quad (7.57)$$

con

$$UE_p^{sb} = \int_{\Omega_x} \int_{\Omega_\theta} u(\bar{x}) f(\bar{x}; \theta) q(\theta) d\theta d\bar{x} \quad (7.58)$$

y

$$UE_p^* = \int_{\Omega_\theta} \left( \int_{\underline{\theta}}^z \frac{\partial UE_c}{\partial \theta} d\theta \right) q(z) dz \quad (7.59)$$

En el apartado anterior se indican las diferentes componentes de las anteriores utilidades.

Una expresión más desarrollada de  $UE_p$  será obtenida en el capítulo 8, donde se resuelve el programa matemático.

Finalmente, a partir de la definición de las condiciones del agente y la utilidad esperada del principal se llega a la construcción del modelo del principal y agente (Autoridad Portuaria y concesionario de la terminal), en forma de programa matemático, la resolución del cual permitirá obtener la formulación tanto de los cánones cobrados por el principal, tal como se verá en el siguiente capítulo. Esto es:

$$Max_{\{\gamma_0, \gamma_1, b_1, b_2\}} UE_p(\alpha_0, \gamma_0, \alpha_1, \gamma_1, b_1, b_2, b_3) \quad (7.60)$$

$$\text{Sujeto a } \{\gamma_0, \gamma_1, b_1, b_2\} \in R_p \quad (7.61)$$

$$(7.62)$$

donde  $R_p$  son el conjunto de valores de  $\{\gamma_0, \gamma_1, b_1, b_2\}$  que cumplen con las restricciones del

programa, esoto es, 7.52, 7.53, 7.54, 7.55 y 7.56.

El resultado del programa será  $\gamma_0^*$ ,  $\gamma_1^*$ ,  $b_1^*$  y  $b_2^*$  dependientes de  $\theta$ . Es decir, el principal definirá un conjunto de mecanismos de incentivo (cada uno de ellos caracterizado por un valor de  $\theta$ ) entre los cuales el agente deberá de elegir uno de ellos, en función de sus preferencias (función de utilidad esperada):

$$\{\gamma_0^*(\theta), \gamma_1^*(\theta), b_1^*(\theta), b_2^*(\theta)\} \quad \forall \theta \in \Omega_\theta \quad (7.63)$$

El Principio de Revelación (apartado 6.3.4) asegura que este mecanismo de incentivo de menú permitirá al principal obtener el contrato óptimo para él.

## 7.4 Modelo entre la Autoridad Portuaria y la sociedad de estiba y desestiba

En consonancia a lo expuesto en el capítulo 6, aparte de la relación contractual entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal, para optimizar las operaciones por medio de incentivos a los operadores es necesario incluir en el análisis la relación entre la sociedad de estiba y desestiba y la Autoridad Portuaria.

La finalidad del presente apartado de deducir el modelo de principal y agente con el que se puede modelar la relación contractual entre ambos actores, para en un capítulo posterior proceder a la resolución del modelo.

Para facilitar la exposición, se ha seguido la misma estructura que en el modelo de principal y agente anterior. En los dos primeros subapartados se definen las utilidades esperadas del agente y del principal respectivamente, para mostrar en el último subapartado el programa matemático final.

### 7.4.1 Estiba y desestiba

En la mismo sintonía seguida en la exposición del modelo entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal, en el presente apartado se expondrá la función de utilidad esperada de la mano de obra portuaria ( $UE_s$ ). En primer lugar se obtendrá la renta representativa de la concesión para el agente, y posteriormente se hallará la utilidad esperada, tal como se representa en la figura 7.8

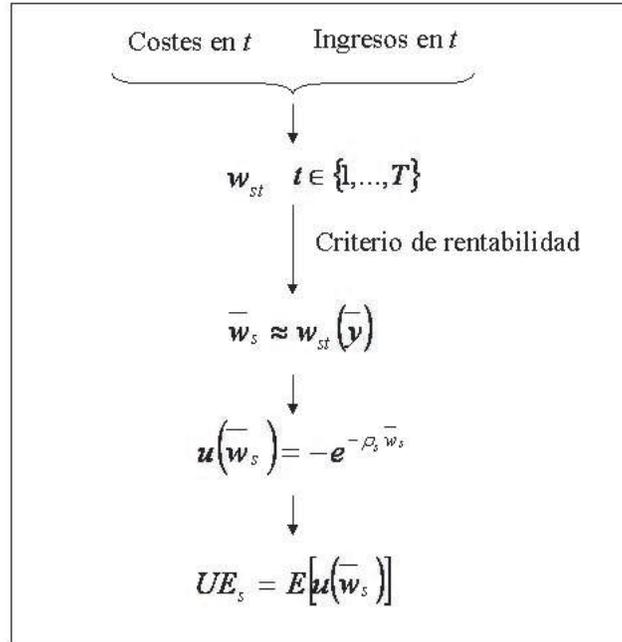


Figura 7.8: Secuencia de pasos la obtención de la utilidad esperada de la mano de obra portuaria (SED).

### Renta representativa de la concesión, $\bar{w}$

Dentro del término de la renta anual, hay de distinguir básicamente las siguientes partidas de gastos e ingresos:

- Respecto a los ingresos, tan solo hay que incluir las tarifas por los servicios de estiba y desestiba que son cobradas al concesionario de la terminal,  $I_{st}$ .
- Como gastos de explotación, esencialmente habrá la mano de obra portuaria,  $c_{st}$ . En este caso, a diferencia con lo que sucede con el operador de la terminal, el activo material a efectos prácticos es inexistente. Asimismo, hay que añadir los costes que representan para el agente tener que realizar un esfuerzo para incrementar la productividad en un año  $t$  ( $b_{3t}$ ), que denominaremos por  $c_{b3t}$ .

Por lo que al coste  $c_{b3t}$  se refiere, siguiendo al tratamiento usual en este tipo de modelos de principal y agente (Feltham y Xie, 1994) se ha supuesto que es de tipo cuadrático con el esfuerzo, esto es,  $\frac{1}{2}b_{3t}^2$ . Ahora bien, puesto que el principal desconoce la estructura de costes del agente, la expresión final de este coste vendrá dada por:

$$c_{b3t} = \frac{1}{2}b_{3t}^2\delta_5\theta \quad (7.64)$$

donde  $\delta_5\theta$  es el intervalo por donde el principal supone que se sitúa el coste de este esfuerzo del agente (información oculta). Desde la óptica del agente  $\theta$  es un parámetro, no una variable aleatoria, puesto que, a efectos de la utilidad del agente, éste conoce toda su estructura de costes y el modo de organizar su trabajo. No hay información oculta para el agente.

Respecto al coste variable de explotación anual ( $c_{st}$ ), es necesario recordar una de las principales características de la SED: se trata de uno de los factores de producción (junto con la maquinaria) esenciales para las operaciones de la terminal de contenedores; por lo que su productividad vendrá dada no sólo por los factores endógenos a la propia SED sino también a los rendimientos de las maquinarias y el modo de organizarse las operaciones en el conjunto de la terminal. Es por ello que para la estimación de este coste variable se ha de partir de una formulación que tenga en cuenta estos factores.

Concretamente, se ha utilizado la expresión de Al-Kaziliy (1982) mediante la cual es posible obtener la productividad total de las manos de obra portuaria en TEU's/hora según: el número de grúas; la productividad individual de cada grúa; un factor que tiene en cuenta las interferencias entre grúas; el ratio entre el tiempo entre asignación de las grúas; el tiempo total en el puerto; y la proporción de unidades de 40'. Matemáticamente:

$$h_t = n_c h_c k_c w_b (1 + P_{40}) \quad (7.65)$$

donde:

$h_t$ : es la productividad total de las manos en TEU's/hora.

$n_c$ : es el número de grúas o manos de obra portuaria utilizadas en un buque.

$h_c$ : es la productividad de una grúa en contenedores/hora.

$k_c$ : es el factor de interferencia entre grúas, que decrece con el número de grúas utilizadas.

$w_b$ : es el ratio de tiempo entre la asignación de las grúas y el tiempo total en el puerto.

$P_{40}$ : proporción de unidades de contenedores de 40'.

Otra posibilidad hubiese sido emplear la formulación de Pérez-Fiaño et al. (1997), que permite obtener una relación entre los contenedores a estibar y desestibar de un buque y la mano de obra portuaria asignada. Al final no se ha empleado esta expresión por entender que, aunque introduciría un nivel de detalle a la modelización de las operaciones sustancial,

complicaría de un modo importante los cálculos. La formulación de Al-Kaziliy es adecuada a los efectos del estudio, al tiempo que permite una formulación sencilla.

A partir de la productividad de la mano de obra y teniendo en cuenta la cantidad de contenedores movidos en un año  $t$  por la terminal,  $x_t$ , es posible tener la cantidad total de mano de obra portuaria empleada para los operaciones en al terminal, dividiendo  $x_t$  por  $h_t$ . Si  $c_u$  es el coste de la mano de obra portuaria, en términos de coste por hora y mano de obra, se obtiene finalmente el coste de explotación por la mano de obra portuaria empleada:

$$c_{st} = \frac{c_u x_t}{h_t} \quad (7.66)$$

Ahora bien, debido a la existencia de información oculta, la anterior expresión deberá de ser multiplicada por  $\delta_6\theta$  para definir el intervalo en que, según el principal, es posible que se sitúe el valor real de este coste. De este modo, se tiene finalmente que:

$$c_{st} = \frac{c_u x_t}{h_t} \delta_6\theta \quad (7.67)$$

Llegados a este punto conviene puntualizar lo siguiente: en la medida que la mano de obra portuaria dedique más esfuerzo a mejorar su productividad, ello repercutirá en la mejora de la eficiencia de las operaciones del conjunto de la mano de obra, es decir, aumentará  $h_t$ , por lo que los costes variables de mano de obra descenderán. No obstante, en la formulación no se ha tenido en cuenta esta dependencia entre el esfuerzo del agente  $b_{t3}$  y la productividad de la mano de obra  $h_t$ . Y ello en base a los siguientes argumentos:

- En caso de establecer una relación funcional entre estas dos variables daría lugar a que, al estar  $b_{t3}$  y  $x_t$  multiplicando o dividiendo, la resolución del problema se complicaría de un modo notorio, siendo imposible la obtención de cualquier resultado analítico, aunque sea parcial.
- Para soslayar esta dificultad un modo alternativo es incrementar la sensibilidad (elasticidad demanda-productividad) de la demanda de contenedores en la terminal con aumentos de las productividades de la mano de obra (apartado 6.5.1).
- Se trata de una simplificación que no introduce cambios significativos en la utilidad del agente, pues este incremento del esfuerzo  $b_{t3}$  da lugar a un aumento aproximadamente proporcional de  $h_t$  y de  $x_t$ . Esto último junto la consideración que con la utilidad se obtienen resultados relativos implica que la función de utilidad donde aparece esta productividad

de la mano de obra dependiente del esfuerzo del agente es la misma que una en que no haya tal dependencia, a efectos de representar la utilidad reportada al agente en cada año de la concesión.

Respecto a la componente anual de ingresos por tarifas ( $I_{st}$ ), se obtiene directamente de aplicar la formulación de las tarifas presentada en el apartado 7.1 y teniendo en cuenta la expresión de los costes variables anuales ( $c_{st}$ ) se tiene que:

$$T_{et} = \alpha_0 + \alpha_1 \frac{\partial c_{st}}{\partial x_t} \delta \theta x_t \quad \forall \theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}] \quad (7.68)$$

Aplicando la formulación de  $c_{st}$  se llega finalmente a que:

$$T_{et} = \alpha_0 + \alpha_1 \frac{c_u \delta_6 \theta}{h_t} x_t \quad \forall \theta \in [\underline{\theta}, \bar{\theta}] \quad (7.69)$$

Definidas las diferentes componentes de costes e ingresos anuales de la renta para un año  $t$  de la concesión se tiene como formulación final de  $w_{st}$ :

$$w_{st}(x_t, b_{t3}) = \alpha_0 + T_e x_t - \frac{1}{2} b_{t3}^2 \delta_5 \theta - \frac{c_u x_t}{h_t} \delta_6 \theta \quad (7.70)$$

donde  $T_e = \alpha_1 \frac{c_u \delta_6 \theta}{h_t}$ .

En aras de obtener un valor representativo de la renta del agente para el conjunto de los años de la concesión, al igual que se ha hecho para el anterior modelo del principal y del agente, se ha aplicado el criterio de rentabilidad (apartado 6.4) a partir de la fórmula de la renta para cada uno de los años de la concesión ( $w_{st}$ ), a saber:

$$\bar{w}_s \simeq w_{st}(\bar{x}, b_3) \quad (7.71)$$

donde:

$\bar{w}_s$  es la renta representativa del conjunto de los años de la concesión (criterio de rentabilidad).

$\bar{x}$  es:

$$\bar{x} = \frac{\sum_t x_t}{T} \quad (7.72)$$

$b_3$  viene dado por:

$$b_3^2 = \frac{\sum_t b_{t3}^2}{T} \quad (7.73)$$

Se supone que a excepción de  $x_t$  y  $b_{3t}$ , el resto de los factores que aparecen en 7.70 son constantes para todo el período considerado. Por tanto, como sustituto de la renta de cada uno de los años de la concesión y como instrumento de toma de decisiones por parte del agente se utilizará:

$$\bar{w}_s(\bar{x}, b_3) = \alpha_0 + T_s \bar{x} - \frac{1}{2} b_3^2 \delta_5 \theta - \frac{c_u \bar{x}}{h_t} \delta_6 \theta \quad (7.74)$$

### Utilidad esperada del agente

En base a la formulación de la renta que finalmente se empleará en la modelización ( $\bar{w}_s$ ) y al hecho que el agente es averso al riesgo (apartado ??), la función de utilidad será:

$$u_s(\bar{w}_s) = -e^{-\rho_s \bar{w}_s} \quad (7.75)$$

donde  $\rho_s$  es el coeficiente de aversión al riesgo de la SED.

Ahora bien, el criterio que finalmente el agente adoptará para evaluar la cantidad de esfuerzo  $b_3$  a implementar vendrá dado por la utilidad esperada ( $UE_s$ ), esto es:

$$UE_s = E[u_s(\bar{w}_s)] = - \int_{\Omega_{w_s}} e^{-\bar{w}_s} f(\bar{w}_s) d\bar{w}_s \quad (7.76)$$

donde:

$\Omega_{\bar{w}_s}$  es el dominio de  $\bar{w}_s$ .

$f(\bar{w}_s)$  es la función de distribución de probabilidad de  $\bar{w}_s$ , que, tal como se demuestra más adelante, se trata de una normal.

Por otro lado, analizando las diferentes variables de  $\bar{w}_s$  se observa que tan solo la demanda de los tráficos de contenedores de la terminal es una variables aleatoria. Habida cuenta que  $x_t \sim N(\bar{x}_t, \sigma_t^2)$  y las  $x_t$  son independientes, se sigue que  $\bar{x}$  tendrá una distribución de probabilidad normal, con parámetros  $\hat{x}(\theta)$ , para la media, y  $\hat{\sigma}_x^2(\theta)$ , para la varianza, a saber,  $\bar{x} \sim N(\hat{x}(\theta), \hat{\sigma}_x^2(\theta))$ .

La variable  $\theta$ , al igual que en el modelo del principal y agente anterior, actúa como parámetro en las restricciones del programa matemático, puesto que éstas se hacen desde el punto de vista del agente, que no tiene problemas de información oculta.

Por consiguiente, cada uno de los componentes de  $\bar{w}_s$  será una variable aleatoria con funciones de densidad de probabilidad de tipo normal. Concretamente, se tiene que:

$$\alpha_0 \sim N(\alpha_0, 0) \quad (7.77)$$

$$\frac{1}{2}b_3^2\delta_5\theta \sim N\left(-\frac{1}{2}b_3^2\delta_5\theta, 0\right) \quad (7.78)$$

$$T_s\bar{x} \sim N(T_s\hat{x}, T_s^2\hat{\sigma}^2) \quad (7.79)$$

$$-\frac{c_u\bar{x}}{h_t}\delta_6\theta \sim N\left(-\frac{c_u\hat{x}}{h_t}\delta_6\theta, \frac{c_u^2}{h_t^2}\delta_6^2\theta^2\hat{\sigma}^2\right) \quad (7.80)$$

Puesto que la suma de variables aleatorias que se distribuyen según una normal y son independientes es otra variable aleatoria con distribución normal cuya media y varianza es la suma de las medias y las varianzas respectivamente de los sumandos,  $\bar{w}_s$  se distribuye según otra normal, esto es,  $\bar{w}_s \sim N(\hat{w}, \sigma_w^2)$ , tal que:

$$\hat{w} = \alpha_0 + T_s\hat{x} - \frac{1}{2}b_3^2\delta_5\theta \quad (7.81)$$

y

$$\sigma_w^2 = \left(T_s^2 + \frac{c_u^2\delta_6^2\theta^2}{h_t^2}\right)\hat{\sigma}_x^2 \quad (7.82)$$

Volviendo a la función objetivo, la utilidad esperada del agente ( $UE_s$ ), puesto que  $\bar{w}_s$  es una variable estocástica que se distribuye según una normal, desarrollando 7.76 (ver epígrafe anterior, cuando se ha realizado para el concesionario de la terminal), se tiene que:

$$UE_s = E[u_s(\bar{w}_s)] = -\int_{\Omega_{w_s}} e^{-\bar{w}_s} f(\bar{w}_s) d\bar{w}_s = -e^{-\rho_s(-\bar{w}_s + \frac{1}{2}\rho_s^2\sigma_w^2)} \quad (7.83)$$

Dado que la utilidad esperada es creciente con  $\bar{w}_s - \frac{1}{2}\rho_s^2\sigma_w^2$ , existirá una transformación

monótona de la utilidad esperada que permitirá utilizar como función de utilidad esperada la expresión (apartado 5.2.2):

$$UE_s(\hat{w}, \sigma_w^2) = \hat{w} - \frac{1}{2}\rho_s^2\sigma_w^2 \quad (7.84)$$

donde  $\hat{w}$  y  $\sigma_w^2$  vendrán definidas en las expresiones 7.81 y 7.82 respectivamente. Así, pues, la utilidad esperada de la SED será:

$$UE_s = \alpha_0 + T_s\hat{x} - \frac{1}{2}b_3^2\delta_5\theta - \frac{1}{2}\rho_s^2\left(T_s^2 + \frac{c_u^2\delta_6^2\theta^2}{h_t^2}\right)\hat{\sigma}_x^2 \quad (7.85)$$

### 7.4.2 Autoridad Portuaria

En el capítulo anterior ya se ha apuntado que el objetivo fundamental de la Autoridad Portuaria, en cuanto a ente público responsable del funcionamiento del puerto, es que la terminal de contenedores sea lo más competitiva posible; concretamente que pueda ser lo más productiva posible y que tarifas por los servicios estén a niveles propios de un mercado en competencia perfecta, minimizando así los excedentes monopolísticos. La sociedad de estiba y desestiba puede contribuir con sus esfuerzos en estos dos objetivos.

Por parte del principal (Autoridad Portuaria) el mecanismo utilizado para ello es mediante la regulación de de las tarifas, fijándolas lo más cerca posible a la situación de plena competencia de tal suerte que evite los abusos de la posición monopolística de la mano de obra portuaria y acrecete los esfuerzos para la mejora de la productividad. Todo ello se ha expuesto y argumentado con mayor detalle en el capítulo anterior.

Bajo este enfoque, las prioridades de la Autoridad Portuaria respecto a la SED son las mismas que las del concesionario de la terminal, por lo que un modo de plantear la función objetivo del modelo del principal y del agente es asumiendo por parte del organismo público la situación del concesionario, es decir, formular la Autoridad Portuaria como función objetivo la misma que si el principal en lugar de ella misma fuese el concesionario de la terminal. En efecto:

Si se analiza el problema teniendo en cuenta el binomio SED-operador de la terminal, este último preseguirá con objetivos que las tarifas cobradas por la mano de obra portuaria sean las mínimas posibles, al tiempo las productividades alcanzadas sean las máximas.

Por tanto, el planteamiento de la Autoridad Portuaria es el de establecer la función objetivo de manera que el concesionario de la terminal obtenga el máximo beneficio posible. En caso que éste se muy elevado, el ente público, con posterioridad, en el cobro de los cánones, ya obtendrá

la renta que el operador extrae de la SED. De este modo, bajo este prisma, la función objetivo será la utilidad esperada del concesionario de la terminal.

Ahora bien, es necesario realizar dos puntualizaciones importantes:

- En la función objetivo tan solo se ha considerado la utilidad generada por las rentas obtenidas de la explotación sin contar con la parte del cánon, cobrado por la Autoridad Portuaria. En este punto conviene recordar que este tributo no es más que un criterio para el reparto de los beneficios entre el operador de la terminal y el organismo público.
- Puesto que se formula la función de utilidad esperada del operador de la terminal desde el punto de vista del principal, y puesto que además este último desconoce la estructura de costes y organización de la terminal (información oculta), la variable utilizada para cuantificar esta desinformación ( $\theta$ ) actúa como variable estocástica en las expresiones de la utilidad; no como parámetro, como sucedía cuando la formulación se expresaba desde el punto de vista del operador.

Más concretamente, en el apartado anterior se obtuvo la expresión de la utilidad esperada para el concesionario de la terminal, que quitándole la parte del canon quedaría como:

$$UE'_c = \left( p_m - \alpha_1 \frac{c_u \theta \delta_6}{h_t} \right) \hat{x} - \frac{1}{2} b_1^2 \delta_4 \theta - c_{mf} \delta_1 \theta - c_v \delta_2 \theta - \alpha_0 - \frac{1}{2} b_2^2 \delta_3 \theta - \frac{1}{2} \rho_c^2 \left( p_m^2 + \alpha_1^2 \frac{c_u^2 \delta_6^2 \theta^2}{h_t^2} \right) \hat{\sigma}_x^2 \quad (7.86)$$

Teniendo en cuenta que hay información oculta por parte del principal ( $\theta$  es variable estocástica), la función objetivo del modelo del principal y del agente, que es la utilidad esperada del agente vista desde la óptica de la Autoridad Portuaria y sin tener en cuenta los cánones, y que denotaremos por  $UE_c^a$ , queda como se indica a continuación:

$$UE_{c, sb}^a = \int_{\Omega_\theta} UE'_c q(\theta) d\theta \quad (7.87)$$

donde  $q(\theta) = \frac{1}{\Omega_\theta}$  y  $UE'_c$  viene dada por 7.86.

Ahora bien, esta expresión es referida a la situación de asimetría de la información en la que tan solo hay riesgo moral (el principal quiere que el agente realice un esfuerzo para incrementar su productividad pero, al no poder verificar si lo hace o no, no se puede incluir en la relación contractual entre ambos organismos, es decir, no puede ser objeto de la regulación). Es, pues, la parte de la función objetivo que cuando se ha presentado el anterior modelo se ha denominado

*second best* (y de ahí que en la formulación se incluya en subíndice *sb*). La *first best* sería en caso que el esfuerzo del agente fuese verificable por el principal.

Al haber información oculta (que el principal desconoce la estructura de costes y la forma de organizar la producción del agente, impidiendo al primer poder realizar una regulación eficiente), se generará otra pérdida de utilidad por parte del principal, que denotaremos por  $UE_s^{a*}$ . Ciertamente, dado que el organismo público no tiene un conocimiento entero sobre la actividad del agente, no dispondrá de la información suficiente para poder implementar una regulación que le permita lograr los objetivos. Por el contrario, el agente vendrá una renta adicional surgida de esta falta de eficacia de las medidas implementadas por el principal derivadas de la falta de información del mismo. Así, la utilidad esperada del principal vendrá dada por:

$$UE_c^a = UE_{c, sb}^a - UE_c^{a*} \quad (7.88)$$

Para hallar la expresión de  $UE_s^{a*}$  se parte de la utilidad esperada del agente,  $UE_s(\theta)$  (fórmula 7.85), y de la restricción de objetivos (según la cual el agente optará por aquel esfuerzo que maximice su utilidad). En primer lugar, imponiendo que se cumple esta última restricción, se halla la derivada parcial de la utilidad esperada del agente respecto a la variable de información ( $\theta$ ), esto es,  $\frac{\partial EU_s(\theta)}{\partial \theta}$ . Integrando después se obtiene:

$$UE_s = \bar{u} + \int_{\underline{s}}^{\bar{s}} \frac{\partial EU_s(\theta)}{\partial \theta} d\theta \quad (7.89)$$

Finalmente, la pérdida de utilidad espera para el principal por la falta de información oculta del agente será:

$$UE_c^{a*} = \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \left( \int_{\underline{\theta}}^z \frac{\partial EU_s(\theta)}{\partial \theta}(u) du \right) q(z) dz \quad (7.90)$$

Por consiguiente, la utilidad esperada del principal vendrá dada por 7.88, donde  $UE_{c, sb}^a$  se obtiene a partir de 7.87 y  $UE_c^{a*}$  a partir de 7.90. Esto es:

$$UE_c^a = \int_{\Omega_\theta} UE_c' q(\theta) d\theta - \int_{\underline{\theta}}^{\bar{\theta}} \left( \int_{\underline{\theta}}^z \frac{\partial EU_s(\theta)}{\partial \theta}(u) du \right) q(z) dz \quad (7.91)$$

### 7.4.3 Modelo final entre la Autoridad Portuaria y la mano de obra portuaria

Al igual que en el modelo entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal, a partir de las utilidades esperadas tanto del agente como del principal se construye el modelo final, en forma de programa matemático.

En este caso las variables del problema son  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  y  $b_3$ , actuando  $\gamma_0$ ,  $\gamma_1$ ,  $b_1$  y  $b_2$  como parámetros.

La objetivo del programa será la maximización de la utilidad esperada del principal ( $UE_c^a$ ), aunque sujeto al cumplimiento de las siguientes restricciones:

- De participación. El agente tan solo aceptará participar en el contrato (concesión) siempre que la utilidad esperada sea superior o igual a la que podría obtener en otras inversiones de igual o menor riesgo (utilidad esperada de reserva,  $\overline{UE}_s$ ). Para el modelo estudiado se tiene que:

$$UE_s(b_3(\theta), \alpha_1(\theta), \alpha_0(\theta), \theta) \geq \overline{UE}_s \quad \forall \theta \in \Omega_\theta \quad (7.92)$$

- De incentivos. Una vez aceptado el contrato, el agente elegirá el esfuerzo que maximice su utilidad esperada. Esta restricción tiene que ver con el riesgo moral. Para el caso particular que nos ocupa:

$$b_3(\theta, \hat{\theta}) \in \arg \max_{b_3} UE_s(b_3, \alpha_1(\theta), \alpha_0(\theta), \theta) \quad \forall \theta \in \Omega_\theta \quad (7.93)$$

- Restricción de autoselección. Se imponen las condiciones que aseguran que el agente tendrá interés en aquella formulación de sus tarifas (o sea, elegir el valor de  $\theta \in \Omega_\theta$ ) la cual ha estado pensada para éste.

$$UE_s(b_3(\theta, \theta), \alpha_1(\theta), \alpha_0(\theta), \theta) \geq UE_s(b_3(\theta, \hat{\theta}), \alpha_1(\hat{\theta}), \alpha_0(\hat{\theta}), \theta) \quad \forall \theta, \hat{\theta} \in \Omega_\theta \quad (7.94)$$

donde  $UE_s$  viene dado por la expresión 7.84 y  $\Omega_\theta = [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$ .

Finalmente, el modelo entre la Autoridad Portuaria y la mano de obra portuaria vendrá dado por el siguiente programa matemático:

$$\text{Max}_{\{\alpha_0, \alpha_1, b_3\}} \quad UE_c^a(\alpha_0, \alpha_1, \gamma_0, \gamma_1, b_1, b_2, b_3) \quad (7.95)$$

$$\text{Sujeto a } \quad \{\alpha_0, \alpha_1, b_3\} \in R_s \quad (7.96)$$

$$(7.97)$$

donde  $R_s$  son todos aquellos valores de  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  y  $b_3$  que cumplen con las restricciones 7.92, 7.93 y 7.94.

La solución del programa será un conjunto de mecanismos ofertados por la Autoridad Portuaria de incentivos definido cada uno de ellos por un valor de  $\theta$  perteneciente a  $\Omega_\theta$ , a partir de lo cual el agente deberá de elegir el que más le convenga. Concretamente, se tiene que:

$$\{\alpha_0^*(\theta), \alpha_1^*(\theta), b_3^*(\theta)\} \quad \forall \theta \in \Omega_\theta \quad (7.98)$$

No en vano indicar que el Principio de Revelación (definido en el apartado 6.3.4) asegura que con este mecanismo directo de menús será suficiente para el principal para obtener el contrato óptimo.

## Capítulo 8

# Resolución de los modelos

En el anterior capítulo se han definido y concretado las diversas formulaciones contenidas en los dos modelos del principal y del agente, tanto para las restricciones como para las funciones objetivo. El presente apartado pretende analizar la existencia de la solución al tiempo que establecer un método de resolución del programa matemático.

Para ello el capítulo se estructura en tres grandes bloques. El primero de ellos, donde se resuelve analíticamente los programas matemáticos, está formado por tres apartados: uno que consiste en una presentación sucinta de los métodos posibles de resolución; en el segundo apartado se describe y de demuestra la aplicabilidad del enfoque de primer orden; y finalmente este último es utilizado para la resolución de los modelos obtenidos en el anterior capítulo. En el segundo bloque del capítulo, se demuestra la existencia de una solución; en tanto que en el tercero, a partir de los resultados de los apartados anteriores, se realiza una interpretación pormenorizada del papel de las variables  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\gamma_0$  y  $\gamma_1$  en la formulación del canon y las tarifas de la mano de obra, completando así lo indicado en los apartados 7.1 y 7.2.

### 8.1 Análisis desde la óptica de la Teoría de juegos

En el capítulo anterior se han definido los dos modelos de principal y agente por separado. Las incógnitas de uno de ellos actuaban como parámetros del otro modelo, sin entrar en valoraciones de las posibles relaciones entre las soluciones de ambos programas matemáticos.

En aras de poder dar una visión unitaria de los dos modelos, es menester analizar los modelos bajo la óptica de la Teoría de Juegos, a partir de lo cual será posible realizar una interpretación de la solución y demostrar la existencia de la misma.

A título de recordatorio, en el capítulo anterior se han llegado a los siguientes modelos de principal y de agente:

$$\begin{aligned} \max_{\{\gamma_1, \gamma_0, b_1, b_2\}} \quad & UE_p(\gamma_1, \alpha_1, \gamma_0, \alpha_0, b_1, b_2, b_3) \\ \text{Sujeto a} \quad & \{\gamma_1, \gamma_0, b_1, b_2\} \in R_p \end{aligned} \quad (8.1)$$

y

$$\begin{aligned} \max_{\{\alpha_1, \alpha_0, b_3\}} \quad & UE_c^a(\alpha_1, \alpha_0, \gamma_0, \gamma_1, b_1, b_2, b_3) \\ \text{Sujeto a} \quad & \{\alpha_1, \alpha_0, b_3\} \in R_s \end{aligned} \quad (8.2)$$

donde  $R_p$  es el conjunto de  $\gamma_1, \gamma_0, b_1$  y  $b_2$  que cumplen las restricciones del programa entre la Autoridad Portuaria y el concesionario, esto es, las expresiones 7.52, 7.53, 7.54, 7.55 y 7.56. Mientras que  $R_s$  son los valores de  $\alpha_1, \alpha_0$  y  $b_3$  que cumplen con las restricciones relativas al otro programa, expresiones 7.92, 7.93 y 7.94.

Las dos funciones a optimizar dependen de todas las incógnitas de ambos programas, pero cada una de ellas se ha de maximizar según los valores de diferentes de las variables. Es decir, como condición necesaria de óptimo se deberá de igualar a zero las derivadas parciales de cada función respecto algunas de las variables.

Los modelos de principal y de agente expuestos se pueden analizar bajo el prisma de la teoría de juegos, como ya se ha apuntado en el capítulo 5, en el que los participantes son la Autoridad Portuaria, el concesionario de la terminal y la SED. El principal (Autoridad Portuaria) propone un juego al agente (concesionario) el cual decide aceptar o no en función de la utilidad mínima que le pueda aportar el negocio (condición de participación). En caso de hacerlo, estará sujeto al pago anual de un cánon a cambio de la explotación de la concesión. El agente dispondrá de varias estrategias posibles en este juego, definidas cada una de ellas por el modo en que explote la concesión.

En paralelo, el principal ofrece otro juego al otro agente (SED). Si ésta acepta por entender que puede obtener una utilidad esperada por encima del mínimo que obtendría en otras inversiones con menor riesgo (condición de participación) entonces aceptará el juego. Durante la explotación dispondrá también de diversas estrategias cada una de las cuales estará definida básicamente por las tarifas finales que adopte y el nivel de productividad.

Entre la SED y el concesionario de la terminal hay igualmente un juego, debido a que la relación entre ambos puede concebirse como un problema de decisión en el que las acciones de uno de los agentes tiene efectos sobre el otro y cada uno de ellos busca sus propios objetivos (no coincidentes). No obstante, este vínculo no ha sido modelizado directamente en los modelos de principal y del agente desarrollados por entender que, dado que la Autoridad Portuaria busca de la SED los mismos objetivos que el concesionario y que además tiene la potestad de reglar (las tarifas, por ejemplo), el análisis de la participación de la SED en la terminal se ha realizado por medio del modelo Autoridad Portuaria-SED.

En un nivel más pormenorizado la relación entre la Autoridad Portuaria y el concesionario, por un lado, y entre la Autoridad Portuaria y la SED, de otro, se pueden concebir como dos juegos no cooperativos estratégicos:

- No cooperativos puesto que cada agente actúa en su propio interés y los jugadores no se pueden unir para formar alianzas. Habida cuenta que hemos partido del supuesto que gran parte de la demanda de la terminal es cautiva, una posibilidad que podría plantearse es que la SED acordase con el concesionario de la terminal unas tarifas por sus servicios elevadas, a cambio de unos niveles de productividad adecuados, repercutiéndolas este segundo a los usuarios finales de la terminal. Ahora bien, puesto que las tarifas propuestas vienen fijadas por la Autoridad Portuaria, tal posibilidad de "alianza" o acuerdo es descartable *a priori*.
- Y el término estratégico hace referencia a la forma en que se describe el juego, esto es, a partir de las estrategias posibles de cada jugador.

Las estrategias pueden ser de dos tipos: mixtas y puras. Cuando cada uno de los jugadores no puede predecir de antemano qué estrategia escogerán los otros, la estrategia que adoptará será aleatoria, tendrá asociada una probabilidad en función de lo que hagan los otros jugadores. Las estrategias en las que se elige una opción con una probabilidad 1 se denomina estrategias puras, mientras que el resto son las mixtas.

Cada uno de estos dos juegos definidos mediante la teoría del principal y del agente se puede expresar como  $(s_1, s_2, u_1, u_2)$ , donde  $s_i$  es el conjunto de estrategias del jugador  $i$  y  $u_i(x_1, x_2)$  es la utilidad del jugador  $i$  cuando  $x_1 \in s_1$  y  $x_2 \in s_2$ . Más concretamente:

Para el modelo entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal estos componentes del juego serían:

- $S_{AP}^c$ . Estrategias del principal (Autoridad Portuaria), definidas cada una de ellas por los diferentes valores de las incógnitas  $\gamma_0$  y  $\gamma_1$ :  $S_{AP}^c = \{(\gamma_0, \gamma_1), \gamma_0 \leq \gamma_{0,max}, \gamma_1 \leq \gamma_{1,max}\}$ ,

donde  $\gamma_{0,max}$  y  $\gamma_{1,max}$  son los valores a partir de los cuales el concesionario de la terminal empieza a tener una utilidad esperada menor que la de participación, es decir, no aceptaría entrar en la concesión.

- $S_c$ . Conjunto de estrategias del concesionario de la terminal constituidas cada una de ellas por los diferentes valores de los esfuerzos del agente, esto es:  $S_c = \{(b_1, b_2), b_1 \leq b_{1,max} \text{ y } b_2 \leq b_{2,max}\}$ , donde  $b_{1,max}$  y  $b_{2,max}$  son los esfuerzos máximos del agente a partir de los cuales los costes son tan elevados que éstos no resultan rentables.
- $UE_p$ . Utilidad esperada de la Autoridad Portuaria, cuya expresión se ha desarrollado en el capítulo 7.
- $UE_c$ . Utilidad esperada del concesionario, establecida en el capítulo 7.

Por otro lado, respecto al modelo entre la Autoridad Portuaria y la SED, éste vendrá caracterizado en los términos de la teoría del principal y del agente por:

- $S_{AP}^S$ . Conjunto de estrategias del principal (Autoridad Portuaria) determinadas cada una de éstas por los diferentes valores de las incógnitas  $\alpha_0$  y  $\alpha_1$ , que definen las tarifas. De este modo:  $S_{AP}^S = \{(\alpha_0, \alpha_1), \alpha_0 \leq \alpha_{0,max} \text{ y } \alpha_1 \leq \alpha_{1,max}\}$ , siendo  $\alpha_{0,max}$  y  $\alpha_{1,max}$  los valores máximos de las incógnitas sin que la SED incurra en utilidades esperadas menores que las de participación.
- $S_s$ . Conjunto de estrategias del agente (la SED), formadas por la intensidad del esfuerzo  $b_3$ . Así:  $S_s = \{b_3, b_3 \leq b_{3,max}\}$  donde  $b_{3,max}$  es el esfuerzo máximo del agente, ya sea por imposibilidad tecnológica, ya sea por establecer el límite a partir del cual los costes por congestión son muy elevados (límite de capacidad).
- $UE_c^a$ . Utilidad esperada de la Autoridad Portuaria, pero que, de hecho, es del concesionario de la terminal. Tal como se ha expuesto con mayor detalle en el capítulo 7, se trata de una utilidad formulada por la Autoridad Portuaria pero pensada en los objetivos del concesionario.
- $UE_s$ . Utilidad esperada de la SED, desarrollado en el capítulo 7.

A tenor del tercer del punto de estos últimos, el modelo del principal-agente entre la Autoridad Portuaria y la SED se podría concebir, centrándonos en los objetivos que se persiguen, como un juego entre el concesionario de la terminal y la SED. Así, la utilidad esperada de la Autoridad Portuaria ( $UE_c^a$ ) podría ser entendida como la utilidad del concesionario.

Teniendo en cuenta esto último, se puede plantear el conjunto de ambos modelos del principal y agente en un único juego formado por  $(S_{Ap}^c, S_{Ap}^s, S_c, S_s, UE_p, UE_c, UE_c^a, UE_s)$ .

Llegados a este punto, estamos en condiciones de introducir el concepto de equilibrio de Nash. En efecto:

Dado un juego estratégico  $(S_1, S_2, \dots, S_n, u_1, u_2, \dots, u_n)$  y en caso de información incompleta diremos que un perfil estratégico  $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  es un equilibrio de Bayes-Nash si:

- $u_1(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \geq u_1(x_1, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad \forall x_1 \in S_1$
- $u_2(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \geq u_2(x_1^*, x_2, \dots, x_n^*) \quad \forall x_2 \in S_2$
- ...
- $u_n(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \geq u_n(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n) \quad \forall x_n \in S_n$

En este perfil estratégico ningún jugador tiene incentivos unilaterales para cambiar de estrategia; nadie puede ganar cambiando la estrategia él sólo.

Planteando el equilibrio en los términos del juego definido a partir de los modelos del principal y del agente se tiene que dado el juego estratégico  $(S_{Ap}^c, S_{Ap}^s, S_c, S_s, UE_p, UE_c, UE_c^a, UE_s)$ , el perfil estratégico  $\{(\gamma_0^*, \gamma_1^*), (\alpha_0^*, \alpha_1^*), (b_1^*, b_2^*), b_3^*\}$  es un equilibrio de Bayes-Nash si:

- $UE_p(\gamma_0^*, \gamma_1^*, \alpha_0^*, \alpha_1^*, b_1^*, b_2^*, b_3^*) \geq UE_p(\gamma_0, \gamma_1, \alpha_0^*, \alpha_1^*, b_1^*, b_2^*, b_3^*) \quad \forall (\gamma_0, \gamma_1) \in S_{AP}^c$
- $UE_c^a(\gamma_0^*, \gamma_1^*, \alpha_0^*, \alpha_1^*, b_1^*, b_2^*, b_3^*) \geq UE_c^a(\gamma_0^*, \gamma_1^*, \alpha_0, \alpha_1, b_1^*, b_2^*, b_3^*) \quad \forall (\alpha_0, \alpha_1) \in S_{AP}^s$
- $UE_c(\gamma_0^*, \gamma_1^*, \alpha_0^*, \alpha_1^*, b_1^*, b_2^*, b_3^*) \geq UE_c(\gamma_0^*, \gamma_1^*, \alpha_0^*, \alpha_1^*, b_1, b_2, b_3^*) \quad \forall (b_1, b_2) \in S^c$
- $UE_s(\gamma_0^*, \gamma_1^*, \alpha_0^*, \alpha_1^*, b_1^*, b_2^*, b_3^*) \geq UE_s(\gamma_0^*, \gamma_1^*, \alpha_0^*, \alpha_1^*, b_1^*, b_2^*, b_3) \quad \forall b_3 \in S^s$

El equilibrio será, pues, un conjunto de estrategias para cada jugador en que se maximiza la utilidad esperada de cada uno de ellos, dadas las estrategias seguidas por los demás.

En el supuesto de estar ante un juego con información completa, en el que el principal no tiene ninguna incertidumbre sobre alguno de los aspectos de los agentes, en lugar de tener un equilibrio de Bayes-Nash sería de Nash, siendo la definición exactamente la misma que la planteada para este primer equilibrio.

En caso de ser las funciones de utilidad continuas, como es el caso del modelo desarrollado, para hallar el equilibrio de Bayes-Nash sería necesario, en primer lugar, imponer las condiciones

necesarias de primer orden para posteriormente analizar la concavidad de las funciones en los puntos que cumplen estas primeras condiciones. Lo primero implica que:

$$1) \frac{\partial UE_p}{\partial \gamma_0} = 0 \text{ y } \frac{\partial UE_p}{\partial \gamma_1} = 0.$$

$$2) \frac{\partial UE_c^a}{\partial \alpha_0} = 0 \text{ y } \frac{\partial UE_c^a}{\partial \alpha_1} = 0.$$

$$3) \frac{\partial UE_c}{\partial b_1} = 0 \text{ y } \frac{\partial UE_c}{\partial b_2} = 0.$$

$$4) \frac{\partial UE_s}{\partial b_3} = 0.$$

Bajo el enfoque de primer orden, las condiciones de incentivos imponían precisamente que las condiciones 3) y 4) anteriores se cumplieren. Por su parte, la maximización de la utilidad de la Autoridad Portuaria ( $UE_p$ ) y del concesionario de la terminal ( $UE_c^a$ ) respecto a  $\gamma_0$  y  $\alpha_0$  respectivamente se obtienen directamente de aplicar la condición de participación y por el hecho que estas incógnitas están como constantes en las ecuaciones (por lo que las condiciones de primer orden se cumplen directamente). Y, finalmente,  $\frac{\partial UE_p}{\partial \gamma_1} = 0$  y  $\frac{\partial UE_c^a}{\partial \alpha_1} = 0$  son las condiciones de primer orden a aplicar a los programas matemáticos que se obtienen de aplicar el enfoque de primer orden (que se analizará en los próximos apartados).

Por ende, hallar la solución conjunta de los modelos del principal y agente es equivalente a buscar el equilibrio de Bayes-Nash del juego definido entre la Autoridad Portuaria, la SED y el concesionario.

Ello permite dar una interpretación a la solución hallada bajo el prisma de la Teoría de Juegos, al tiempo que aplicar las condiciones suficientes que garantizan la existencia de un equilibrio de Bayes-Nash, con lo que automáticamente se demostrará la existencia de la solución de los modelos de principal y agente planteados.

## 8.2 Enfoque de primer orden

Para la resolución de los programas matemáticos del anterior capítulo serían aplicables todos los métodos propios para resolver programación binivel. No obstante, la mayoría de los modelos de principal y agente suelen emplear el enfoque de primer orden (Macho-Stadler et al., 1994) por varios motivos:

- Se trata de un modo de resolución relativamente sencillo.
- Permite obtener expresiones analíticas.

- Si bien se trata de una aproximación a la solución óptima, bajo ciertos supuestos, tal como se verá en el próximo apartado, se obtiene una solución válida.

Es por ello que, para la resolución de los programas, se ha optado directamente por emplear el enfoque de primer orden.

### 8.2.1 Justificación del empleo del método

La aproximación de resolver los dos programas matemáticos hallados en el capítulo 7 por medio de la aplicación del enfoque de primer orden y después comprobar que la selección del agente de los esfuerzos óptimos maximizan las funciones objetivo del principal es en principio inválida sin supuestos adicionales. El problema estriba cuando las condiciones de segundo orden de optimización no son globalmente satisfechas, de tal suerte que sea posible que una solución de un programa matemático obtenida por medio del enfoque de primer orden satisfaga las condiciones de primer orden para el agente pero no la condición necesaria para el principal.

Han habido diversos trabajos sobre este tema, como los de Mirrleee (1976) y Rogerson (1985), que establecieron las condiciones suficientes que debían cumplirse para que fuese válido aplicar el enfoque de primer orden.

Previamente, es menester introducir dos conceptos que serán posteriormente utilizados:

- La monotonidad del cociente de verosimilitud (MCV), que es satisfecha por la distribución acumulada y su función de distribución de densidad si:

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{f_a(x; a)}{f(x; a)} \right) \geq 0 \quad (8.3)$$

donde  $f(x; a)$  es la función de densidad de probabilidad del resultado ( $x$ ) del esfuerzo del agente ( $a$ ) y  $f_a$  su derivada parcial respecto al esfuerzo.

Dicho sea de paso que el cumplimiento de esta condición implica que  $F_a(x; a) < 0 \quad \forall x \in \Omega_x$ , donde  $F(x; a)$  es la función acumulada de  $f(x; a)$ .

- Una función acumulada de distribución  $F(x; a)$  es convexa si y sólo si:

$$F(x, \eta a + (1 - \eta)a') \leq \eta F(x, a) + (1 - \eta)F(x, a') \quad \forall \eta \in [0, 1] \quad (8.4)$$

Asimismo, siempre que  $F(x; a)$  sea dos veces derivable, se puede sustituir la condición anterior por  $F_{aa}(x; a) \geq 0$ .

Partiendo de estos conceptos, Rogerson (1985) i Mirrlee (1976) definieron las condiciones suficientes para aplicar el enfoque de primer orden:

**Teorema 5** *El enfoque de primer orden es válido si  $F(x; a)$  satisface la monotonicidad del cociente de verosimilitud y la convexidad de la función de distribución acumulada.*

Una demostración detallada del teorema se encuentra en Rogerson (1985) i Mirrlees (1976).

Por ende, establecer la aplicabilidad del enfoque de primer orden en los modelos de principal y agente obtenidos conlleva demostrar que las condiciones del teorema se cumplen.

Analizando las funciones de la utilidad esperada del principal de cada problema, se tiene que todo el análisis se centra en demostrar el cumplimiento de las anteriores condiciones para la función de densidad de distribución dada por:

$$f(\bar{x}; \theta)q(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}_x}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\hat{\sigma}_x}\right)^2} \frac{1}{\Omega_\theta} \quad \forall \bar{x} \in \Omega_{\bar{x}}, \forall \theta \in \Omega_\theta \quad (8.5)$$

Puesto que la función de distribución de densidad de  $\theta$  es una constante ( $\frac{1}{\Omega_\theta}$ ), el análisis se centrará pues en  $f(\bar{x}; \theta)$ . El programa matemático entre la Autoridad Portuaria y la SED tiene como función de distribución de densidad a analizar la de  $\theta$ , que es una función uniformemente distribuida en el intervalo  $\Omega_\theta$ , esto es,  $q(\theta) = \frac{1}{\Omega_\theta}$ . Puesto que es una constante, las dos condiciones anteriores del teorema se cumplen automáticamente. De modo que el análisis se centrará en  $f(\bar{x}; \theta)$ , que es la función de densidad de distribución que aparece en el otro modelo de principal y agente, entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal.

Para la condición de monotonicidad del cociente de verosimilitud se tiene que:

$$\frac{\partial f_{b_1}(\bar{x}; \theta)}{\partial b_1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hat{\sigma}_x}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\hat{\sigma}_x}\right)^2} \left[ \frac{-1}{\hat{\sigma}_x} \frac{\partial \hat{x}}{\partial b_1} \left( \frac{\hat{x} - \bar{x}}{\hat{\sigma}_x} \right) \right] \quad (8.6)$$

De este modo,

$$\frac{d}{d\bar{x}} \left( \frac{f_{b_1}(\bar{x}; \theta)}{f(\bar{x}; \theta)} \right) = \frac{1}{\hat{\sigma}_x^3} \frac{\partial \hat{x}}{\partial b_1} \geq 0 \quad (8.7)$$

Si realizamos el mismo ejercicio pero respecto a  $b_2$ , obtenemos:

$$\frac{d}{d\bar{x}} \left( \frac{f_{b_2}(\bar{x}; \theta)}{f(\bar{x}; \theta)} \right) = \frac{1}{\hat{\sigma}_x^3} \frac{\partial \hat{x}}{\partial b_2} \geq 0 \quad (8.8)$$

Por tanto,  $f(\bar{x}; \theta)$  cumple con la condición de monotonicidad del cociente de verosimilitud

respecto a los esfuerzos  $b_1$ ,  $b_2$  y  $b_3$ .

En cuanto al cumplimiento de la condición de convexidad de la acumulada de  $f(\bar{x}; \theta)$ ,  $F(\bar{x}; \theta)$ , se empleará directamente el concepto de convexidad.

Esta función viene dada por:

$$F(\bar{x}; \theta) = \int_0^{\bar{x}} f(u; \theta) du \quad (8.9)$$

En esta expresión los esfuerzos influyen en la media a través de la función dada por  $\hat{x} = k(b_1^{\xi_1} + b_2^{\xi_2} + b_3^{\xi_3})$ , la cual es cóncava respecto a  $b_i$  ( $i=1,2,3$ ); luego la función  $e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma_x}\right)^2} \quad \forall \bar{x} \in \Omega_{\bar{x}}$  será igualmente cóncava con  $b_i$  ( $i=1,2,3$ ). Ahora bien, cuando se toma la inversa de esta última, esto es,  $e^{-1\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma_x}\right)^2} \quad \forall \bar{x} \in \Omega_{\bar{x}}$ , que es el integrando de  $F(\bar{x}; \theta)$ , el resultado es una función convexa con  $b_i$  ( $i=1,2,3$ ); de lo que finalmente se sigue que  $F(\bar{x}; \theta)$  es convexa.

Respecto a la acumulada de  $q(\theta)$ ,  $Q(\theta)$ , se demuestra que es convexa directamente de aplicar la condición de que la segunda derivada de  $Q(\theta)$  respecto a  $b_i$  sea positiva o zero. Puesto que  $q(\theta)$  es constante, este resultado es inmediato.

En definitiva, al cumplir  $f(\bar{x}; \theta)$  y  $q(\theta)$  las condiciones de monitividad del cociente de verosimilitud y convexidad de las acumuladas, impuestas por el teorema anterior, se demuestra la aplicabilidad del enfoque de primer orden en la resolución de los dos modelos de principal-agente.

## 8.2.2 Descripción del método

Justificado el empleo del método del enfoque del primer orden para la resolución del problema, el objetivo de este apartado es la descripción de este método (que originariamente ideado por Holmstrom, 1979) para posteriormente aplicarlo a cada uno de los modelos del principal y del agente obtenidos.

Para ello se supone un problema de partida genérico de riesgo moral con información oculta que tenga las mismas condiciones que los problemas de partida. Así, sea  $UE_p(\eta_1, \eta_2, e_1, e_2, \theta)$  la utilidad esperada del principal, siendo:  $\eta_1$  y  $\eta_2$  las incógnitas a determinar (que en los modelos a calcular se corresponden con la formulación del cánon y de la tarifa);  $e_1$  y  $e_2$  los esfuerzos del agente; y  $\theta$  la variable de las señales de que dispone el principal sobre la información privada del agente. Por otro lado, la utilidad esperada del agente vendrá dada por  $UE_a(e_1, e_2, \eta_1, \eta_2, \theta)$ .

En estas condiciones y suponiendo la existencia de riesgo moral e información oculta, el programa matemático del modelo del principal y del agente será:

$$Max_{\eta_1, \eta_2} UE_p(\eta_1, \eta_2, e_1, e_2, \theta) \quad (8.10)$$

Sujeto a :

$$UE_a(e_1, e_2, \eta_1, \eta_2, \theta) \geq \overline{UE}_a \quad \forall \theta \in \Omega_\theta \quad (8.11)$$

$$UE_a(e_1(\theta, \theta), e_2(\theta, \theta), \eta_1(\theta), \eta_2(\theta), \theta) \geq UE_a(e_1(\theta, \hat{\theta}), e_2(\theta, \hat{\theta}), \eta_1(\hat{\theta}), \eta_2(\hat{\theta}), \hat{\theta}) \quad \forall \theta, \hat{\theta} \in \Omega_\theta \quad (8.12)$$

$$UE_a(e_1(\theta, \theta), e_2(\theta, \theta), \eta_1(\theta), \eta_2(\theta), \theta) \geq UE_a(e_1(\hat{\theta}, \hat{\theta}), e_2(\theta, \hat{\theta}), \eta_1(\hat{\theta}), \eta_2(\hat{\theta}), \hat{\theta}) \quad \forall \theta, \hat{\theta} \in \Omega_\theta \quad (8.13)$$

$$e_1(\theta, \hat{\theta}) \in \arg \max_{e_1} UE_a(e_1, e_2(\hat{\theta}), \eta_1(\hat{\theta}), \eta_2(\hat{\theta}), \theta) \quad \forall \theta, \hat{\theta} \in \Omega_\theta \quad (8.14)$$

$$e_2(\theta, \hat{\theta}) \in \arg \max_{e_2} UE_a(e_1(\hat{\theta}), e_2, \eta_1(\hat{\theta}), \eta_2(\hat{\theta}), \theta) \quad \forall \theta, \hat{\theta} \in \Omega_\theta \quad (8.15)$$

Como consecuencia de la utilización del enfoque de primer orden, en lugar de considerar las restricciones de incentivos en los términos en que están en 8.14 y 8.15, se utilizará las condiciones respectivas de primer orden, a saber:

$$\frac{\partial UE_a}{\partial e_1} = 0 \quad (8.16)$$

y

$$\frac{\partial UE_a}{\partial e_2} = 0 \quad (8.17)$$

A partir de estas dos expresiones se obtienen los esfuerzos óptimos ( $e_1^*(\theta, \eta_1, \eta_2)$  y  $e_2^*(\theta, \eta_1, \eta_2)$ ), que dependerán de la variable que indica el nivel de información del principal sobre el agente ( $\theta$ ) y de las incógnitas  $\eta_1$  y  $\eta_2$ .

Por otro lado, de la condición de participación (8.11) y haciendo que  $\overline{UE}_a = 0$  (puesto que se está evaluando una función de utilidad se puede hacer una traslación de ésta de tal que la mínima utilidad esperada del mismo sea zero sin alterar el resultado alguno), se puede expresar  $\eta_1$  en función de  $\eta_2$ :

$$\eta_1(\theta) = f(\eta_2(\theta)) \quad (8.18)$$

donde  $f$  es la relación funcional hallada entre las dos incógnitas haciendo  $\overline{UE}_a = 0$ .

Por otro lado, respecto a la utilidad esperada del principal, tal como se indicó en el anterior capítulo, cuando se definieron las utilidades de los modelos, se puede escindir en dos, a saber:

$$UE_p = UE_p^{sb} - UE_p^* \quad (8.19)$$

siendo:  $UE_p^{sb}$  la utilidad esperada del principal en el caso de no haber información privada por parte del agente (*second best*); y  $UE_p^*$  la desutilidad esperada del principal como consecuencia de no poder disponer de toda la información necesaria del agente.

Sustituyendo  $\eta_1(\theta) = f(\eta_2(\theta))$  y  $e_1^*(\theta, \eta_1, \eta_2)$  y  $e_2^*(\theta, \eta_1, \eta_2)$  en  $UE_p^{sb}$  se obtiene una expresión de esta utilidad en función de  $\eta_2$  y  $\theta$ ; concretamente:

$$UE_p^{sb}(\eta_2, \theta). \quad (8.20)$$

Adicionalmente, partiendo de 8.16 y 8.17, de la relación funcional 8.18 y de la expresión genérica de  $UE_p^*$  (capítulo 7), la desutilidad derivada de la existencia de información oculta vendrá dada como función de  $\eta_2$ :

$$UE_p^*(\eta_2) = \int_{\Omega_\theta} \left( \int_{\underline{\theta}}^z \frac{\partial UE_a(\theta)}{\partial \theta} d\theta \right) q(z) dz \quad (8.21)$$

Con las formulaciones obtenidas en 8.21, 8.20 y 8.19, se llega inmediatamente a la utilidad esperada del principal  $UE_p(\eta_2)$  como función tan solo de una de las incógnitas del problema ( $\eta_2$ ) y de  $\theta$ . De este modo el programa matemático de partida ha quedado limitado a maximizar  $UE_p$  respecto de  $\eta_2$ :

$$Max_{\eta_2} \quad UE_p(\eta_2, \theta) \quad (8.22)$$

para lo cual se utilizarán las técnicas usuales de optimización con una variable. Con el resultado obtenido de este programa ( $\eta_2^*(\theta)$ ), se llegará de un modo inmediato a  $\eta_1^*(\theta)$  aplicando 8.18. De 8.16 y 8.17 se obtendrán las expresiones de  $e_1^*$  y  $e_2^*$ . Y la solución consistirá en las expresiones de  $\eta_1^*(\theta)$  y  $\eta_2^*(\theta)$  para  $\theta \in \Omega_\theta$ .

En la figura 8.1 se representa de modo esquemático los pasos seguidos en la resolución del programa matemático de partida mediante el empleo del enfoque del primer orden.

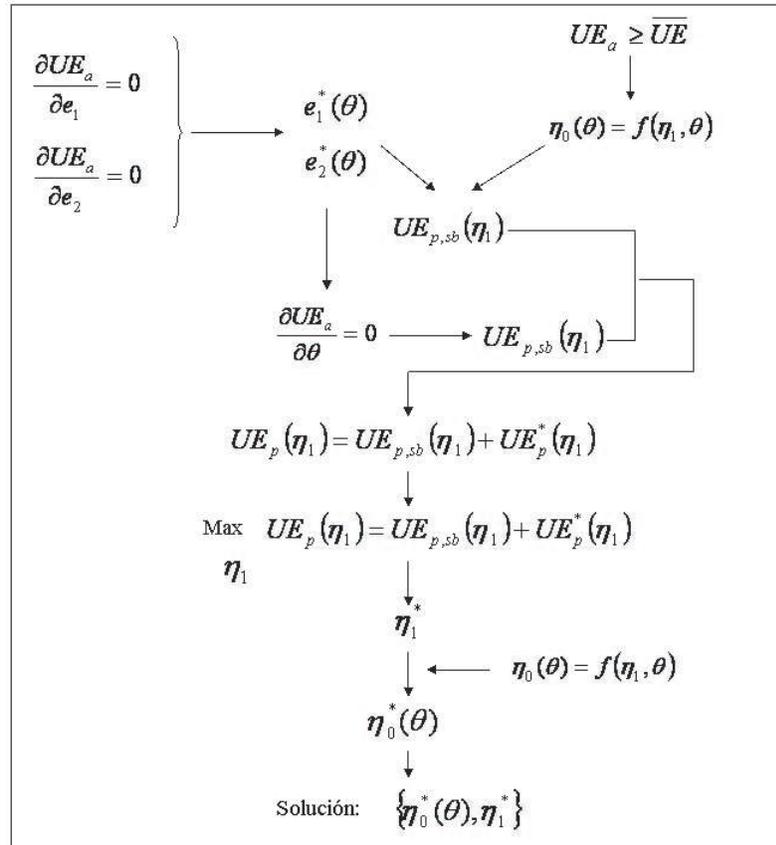


Figura 8.1: Algoritmo de los pasos fundamentales para la resolución de los modelos mediante el método del enfoque de primer orden

### 8.3 Resolución de los modelos a través del enfoque de primer orden

Definido el algoritmo básico (figura 8.1) para la resolución de los programas matemáticos surgidos de los dos modelos de principal y de agente mediante el empleo del enfoque de primer orden, el objetivo de este apartado es aplicar este último a cada uno de los modelos hallados en el capítulo anterior.

#### 8.3.1 Aplicación al modelo entre el concesionario y la Autoridad Portuaria

El modelo de partida es el definido mediante las expresiones que se obtuvieron en el apartado 7.3 del capítulo anterior, y que, a título de recordatorio, se recoge de un modo esquemático a continuación:

$$\max_{\{\gamma_1, \gamma_0, b_1, b_2\}} UE_p(\gamma_1, \alpha_1, \gamma_0, \alpha_0, b_1, b_2, b_3) \quad (8.23)$$

$$\text{Sujeto a } \{\gamma_1, \gamma_0, b_1, b_2\} \in R_p \quad (8.24)$$

donde  $R_p$  es el conjunto de  $\gamma_1, \gamma_0, b_1$  y  $b_2$  que cumplen las restricciones del programa entre la Autoridad Portuaria y el concesionario, esto es, las expresiones 7.52, 7.53, 7.54, 7.55 y 7.56.

Para la resolución del programa en primer lugar se sustituirá las expresiones de las restricciones de incentivos por las condiciones de primer orden:

$$\frac{\partial UE_c}{\partial b_1} = 0 \quad (8.25)$$

y

$$\frac{\partial UE_c}{\partial b_2} = 0 \quad (8.26)$$

Desarrollando la primera de estas expresiones teniendo en cuenta la formulación de  $UE_c$  (apartado 7.3) se tiene que:

$$\frac{\partial UE_c}{\partial b_1} = \Gamma(\gamma_1, \alpha_1, \theta) \frac{\partial \hat{x}}{\partial b_1} - b_1 \delta_4 \theta = 0 \quad (8.27)$$

donde  $\Gamma(\gamma_1, \alpha_1, \theta) = p_m + \gamma_1 p^* - \alpha_1 T_e(\theta)$ , con  $T_e(\theta) = \frac{c_u \delta_6 \theta}{h_t}$ , y  $\hat{x}$  vendrá dado por  $\hat{x} = k(b_1^{\xi_1} + b_2^{\xi_2} + b_3^{\xi_3})$  (apartado 6.5.1). Por otro lado:

$$\frac{\partial \hat{x}}{\partial b_1} = k \xi_1 b_1^{\xi_1 - 1} \quad (8.28)$$

Sustituyendo 8.28 en 8.27 y desarrollando se llega a la formulación del esfuerzo óptimo del agente en reducción de tarifas, esto es:

$$b_1^*(\theta) = \left( \frac{\Gamma(\gamma_1, \alpha_1, \theta) k \xi_1}{\delta_4 \theta} \right)^{\frac{1}{(2-\xi_1)}} \quad (8.29)$$

Adicionalmente, respecto al esfuerzo óptimo del agente en el incremento de productividades ( $b_2^*$ ), de un modo análogo que con  $b_1^*$ , desarrollando 8.26 y sustituyendo  $\frac{\partial \hat{x}}{\partial b_2} = k \xi_2 b_2^{\xi_2 - 1}$  se tiene:

$$\frac{\partial UE_c}{\partial b_2} = \Gamma(\gamma_1, \alpha_1, \theta) \frac{\partial \hat{x}}{\partial b_2} - b_2 \delta_3 \theta = 0 \quad (8.30)$$

y

$$b_2^*(\theta) = \left( \frac{\Gamma(\gamma_1, \alpha_1, \theta) k \xi_2}{\delta_3 \theta} \right)^{\frac{1}{(2-\xi_1)}} \quad (8.31)$$

Adicionalmente, partiendo de la restricción de participación y haciendo  $\overline{UE_c} = 0$  es posible aislar la variable  $\gamma_0$  en función de  $\gamma_1$ :

$$\gamma_0(\theta) = \Gamma(\gamma_1, \alpha_1) \hat{x} - \frac{1}{2} b_1^{*2} \delta_4 \theta - c_{mf} \delta_1 \theta - c_{v0} \delta_2 \theta - \gamma_1 p_0 \theta - \alpha_0 - \frac{1}{2} b_2^{*2} \delta_3 \theta - \frac{1}{2} \rho_c^2 \left[ p_m^2 + \gamma_1^2 p^{*2} + \alpha_1^2 \left( \frac{c_u \delta_6 \theta}{h_t} \right)^2 \right] \hat{\sigma}_x^2 \quad (8.32)$$

Posteriormente sustituyendo  $\gamma_0$  en aquella parte de la utilidad esperada del principal que supone sólo riesgo moral (*second best*),  $UE_p^{sb}$ , que viene dada en 7.3, se llega a que esta utilidad tan solo depende de  $\gamma_1$ :

$$UE_p^{sb}(\gamma_1) = \int_{\Omega_{\bar{x}}} \int_{\Omega_{\theta}} u(\bar{x}) f(\bar{x}; \theta) q(\theta) d\theta d\bar{x} \quad (8.33)$$

donde

- $\Omega_{\bar{x}}$  y  $\Omega_{\theta}$  son los intervalos de  $\bar{x}$  y  $\theta$  respectivamente.
- $f(\bar{x}; \theta)$  es la función de densidad de distribución de  $\bar{x}$ , que se distribuye según una normal de media  $\hat{x}$ , que depende de  $\theta$ , y de varianza  $\hat{\sigma}_x^2$ .
- $q(\theta)$  es la función de densidad de probabilidad de la variable  $\theta$ . Puesto que ésta se distribuye según una uniformemente distribuida en un interval  $\Omega_{\theta}$ , se tiene que  $q(\theta) = \frac{1}{\Omega_{\theta}}$ .
- $u(\bar{x})$  es la utilidad del principal, que viene dada por (apartado 7.3):

$$u(\bar{x}) = C_{ap}(\bar{x}) + (p_0 \theta - p^*) \bar{x} = \gamma_0 + (\gamma_1 + 1)(p_0 \theta - p^*) \bar{x} \quad (8.34)$$

Por lo que a la otra parte de la utilidad esperada del principal se refiere, a la relativa a la desutilidad generada por la existencia de información privada por parte del agente,  $UE_p^*$ , aplicando la formulación comentada en el anterior epígrafe, se tiene de partida la expresión de la derivada parcial de la utilidad esperada del agente respecto a la variable  $\theta$ , para lo cual se

supone que se cumplen las dos condiciones de primer orden de incentivos del agente ( $\frac{\partial UE_c}{\partial b_1} = 0$ ) y ( $\frac{\partial UE_c}{\partial b_2} = 0$ ), es decir:

$$\frac{\partial UE_c}{\partial \theta} = -\frac{1}{2}b_1^{*2} \delta_4 - c_{mf} \delta_1 - c_{v0} \delta_2 - \gamma_1 p_0 - \frac{1}{2}b_2^{*2} \delta_3 - \rho_c^2 \left( \frac{\alpha_1 c_u \delta_6}{h_t} \right)^2 \hat{\sigma}_x^2 \quad (8.35)$$

Finalmente, tal como se comentó con detalle en el apartado 7.3, la desutilidad esperada del principal por información oculta vendrá dada por sustituir la anterior expresión en  $EU_p^*$ :

$$UE_p^*(\gamma_1) = \int_{\Omega_\theta} \left( \int_{\underline{\theta}}^z \frac{\partial UE_c}{\partial \theta} d\theta \right) q(z) dz \quad (8.36)$$

Así, la utilidad esperada del principal será igual a la generada por la existencia de tan solo riesgo moral (8.33) menos la desutilidad esperada debida a la existencia de información oculta (8.36), obteniéndose una expresión que es función de la incógnita  $\gamma_1$ :

$$UE_p(\gamma_1) = UE_p^{sb}(\gamma_1) - UE_p^*(\gamma_1) \quad (8.37)$$

De este modo se llega a una expresión que tan solo depende de una de las incógnitas del problema. Por consiguiente, el programa matemático de partida queda limitado a la optimización de una función,  $UE_p$ , de una variable,  $\gamma_1$  y con  $b_1^*$  y  $b_2^*$  dados por 8.29 y 8.31 respectivamente. Es decir:

$$\max_{\gamma_1} \quad UE_p(\gamma_1) = UE_p^{sb}(\gamma_1) - UE_p^*(\gamma_1) \quad (8.38)$$

Una vez hallado el valor óptimo de  $\gamma_1$ ,  $\gamma_1^*$ , a partir de la expresión 8.32 se obtiene  $\gamma_0^*$ . El resultado final será un conjunto de soluciones definidas para los diversos valores posibles de  $\theta$ , a saber,  $\{\gamma_0^*(\theta), \gamma_1^*(\theta), b_1^*(\theta), b_2^*(\theta)\} \quad \forall \theta \in \Omega_\theta$

### 8.3.2 Aplicación al modelo entre la SED y la Autoridad Portuaria

Para la resolución del programa entre la Autoridad Portuaria (principal) y la SED (agente) se van a seguir la misma secuencia de operaciones que en el modelo anterior.

En primer lugar, tal como se definió en el capítulo 7, el modelo del principal y de agente entre estos dos actores se puede modelizar a través del siguiente programa matemático:

$$\max_{\{\alpha_1, \alpha_0, b_3\}} UE_c^a(\alpha_1, \alpha_0, \gamma_0, \gamma_1, b_1, b_2, b_3) \quad (8.39)$$

$$\text{Sujeto a } \{\alpha_1, \alpha_0, b_3\} \in R_s \quad (8.40)$$

donde  $R_s$  son los valores de  $\alpha_1$ ,  $\alpha_0$  y  $b_3$  que cumplen con las restricciones relativas al programa, expresiones 7.92, 7.93 y 7.94.

Siguiendo con el algoritmo del enfoque de primer orden indicado en el tercer apartado del presente capítulo, en primer lugar, mediante la aplicación de las restricciones de incentivos, se obtiene el esfuerzo óptimo del agente ( $b_3^*$ ):

$$\frac{\partial UE_s}{\partial b_3} = 0 \quad (8.41)$$

Desarrollando esta expresión a partir de la formulación de  $UE_s$ , contenida en detalle en el apartado 7.4, se llega a que:

$$\frac{\partial UE_s}{\partial b_3} = \left( \alpha_1 T_e(\theta) - \frac{c_u \delta_6 \theta}{h_t} \right) \frac{\partial \hat{x}}{\partial b_3} - b_3 \delta_5 \theta = 0 \quad (8.42)$$

Por otro lado, puesto que  $\hat{x} = k \left( b_1^{\xi_1} + b_2^{\xi_2} + b_3^{\xi_3} \right)$ ,

$$\frac{\partial \hat{x}}{\partial b_3} = k \xi_3 b_3^{\xi_3 - 1} \quad (8.43)$$

por lo que, sustituyendo esta última expresión en 8.42 y desarrollando, se llega al esfuerzo óptimo del agente:

$$b_3^*(\theta) = \left[ \frac{k \xi_3 c_u \delta_6}{h_t \delta_5} (\alpha_1 - 1) \right]^{\frac{1}{2 - \xi_2}} \quad (8.44)$$

En un segundo paso, a partir de la condición de participación ( $UE_s = 0$ ), se puede aislar una de las incógnitas en función de la otra:

$$-\alpha_0 = \left( \alpha_1 T_e(\theta) - \frac{c_u \delta_6 \theta}{h_t} \right) \hat{x} - \frac{1}{2} b_3^2 \delta_5 \theta - \frac{1}{2} \rho_s^2 \left( \alpha_1^2 T_e^2 + \frac{c_u^2 \delta_6^2 \theta^2}{h_t^2} \right) \hat{\sigma}_x^2 \quad (8.45)$$

De un modo sintético se podría reformular como:  $\alpha_0 = g(\alpha_1)$ .

Por lo que a la utilidad esperada del principal ( $UE_c^a$ ) atañe, ésta se puede segmentar en dos: la obtenida en caso que tan solo la asimetría de la información fuese un problema de riesgo moral ( $UE_{c, sb}^a$ ); y la desutilidad esperada ( $UE_c^{a*}$ ) derivada de la existencia de información oculta por parte del agente. De modo que:

$$UE_c^a = UE_{c, sb}^a - UE_c^{a*} \quad (8.46)$$

Para obtener la primera de ellas, se parte tanto del esfuerzo óptimo del agente ( $b_3^*$ ) como de la relación funcional hallada entre  $\alpha_0$  y  $\alpha_1$  mediante la condición de participación del agente. Así, sustituyendo 8.44 y 8.45 en la expresión de  $UE_{s, sb}$  se tiene que:

$$UE_{c, sb}^a(\alpha_1) = \int_{\Omega_\theta} UE_c'(\alpha_1)q(\theta)d\theta \quad (8.47)$$

donde  $UE_c'(\alpha_1, \theta)$  es la utilidad esperada del agente sin el canon (apartado 7.4). Al final se obtiene un resultado en función de una de las incógnitas.

Respecto a la otra componente de la utilidad esperada del principal,  $EU_c^{a*}$ , imponiendo que se cumple la condición de incentivos en su expresión propio del enfoque de primer orden ( $\frac{\partial UE_s}{\partial b_3}$ ), se parte de la derivada parcial de la utilidad esperada del agente respecto a la variable de la señales ( $\theta$ ):

$$\frac{\partial UE_s}{\partial \theta} = \alpha_1 \frac{c_u \delta_6}{h_t} \hat{x} - \frac{1}{2} b_3^{*2} \delta_5 - \rho_s^2 \left[ \left( \frac{\alpha_1 c_u \delta_6}{h_t} \right)^2 + \left( \frac{c_u \delta_6}{h_t} \right)^2 \right] \theta \hat{\sigma}_x^2 \quad (8.48)$$

Finalmente, la desutilidad esperada del principal por información oculta vendrá definido sustituyendo esta última expresión en:

$$UE_c^{a*}(\alpha_1) = \int_{\Omega_\theta} \left( \int_{\underline{\theta}}^z \frac{\partial UE_s(\theta)}{\partial \theta} d\theta \right) q(z) dz \quad (8.49)$$

Finalmente, empleando 8.49 y 8.47 en 8.46 se obtiene la utilidad esperada del principal como función de una de las incógnitas, a saber:

$$UE_c^a(\alpha_1) = UE_{c, sb}^a(\alpha_1) - UE_c^{a*}(\alpha_1) \quad (8.50)$$

De este modo el programa matemático del principal queda reducido a la optimización de una función de una sola variable, esto es:

$$\max_{\alpha_1} UE_c^a(\alpha_1) \quad (8.51)$$

Resolviendo 8.51 se llega al valor óptimo de  $\alpha_1$ ,  $\alpha_1^*$ . Adicionalmente, sustituyendo este resultado en 8.45 se obtiene  $\alpha_0^*(\theta)$ . La solución del programa es un conjunto de soluciones de la forma  $\{\alpha_0^*(\theta), \alpha_1^*(\theta), b_3^*(\theta)\} \quad \forall \theta \in \Omega_\theta$ .

## 8.4 Obtención de una solución para el conjunto de los modelos

Analizado el conjunto de los dos modelos desde la óptica de la Teoría de Juegos, en el primero de los apartados del presente capítulo, y definida y aplicada la metodología para la resolución de cada uno de los modelos por separado, mediante el enfoque de primer orden, el objetivo del epígrafe es el establecimiento, a partir de todo lo anterior, de una metodología para la obtención de la solución conjunta de los dos modelos.

A título de recordatorio, aplicando el enfoque de primer orden se llega a las siguientes formulaciones:

$$\max_{\gamma_1} UE_p(\gamma_1, \alpha_1) \quad (8.52)$$

y

$$\max_{\alpha_1} UE_c^a(\alpha_1, \gamma_1) \quad (8.53)$$

Ahora se trata de indicar cómo llegar a una solución común a ambos modelos.

En la figura 8.2 se muestra de un modo esquemático las fases en que se pueden escindir la resolución de los modelos. Así, a partir de los programas matemáticos de partida, donde las variables de una de ellos son los parámetros del otros y viceversa, aplicando el enfoque de primer orden, los modelos se han reducido a dos programas matemáticos con una sola variable ( $\gamma_1$  para el modelo entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal y  $\alpha_1$  en el caso de la Autoridad Portuaria y la mano de obra portuaria), dejando el resto de las variables de los programas originales en función de  $\gamma_1$  y  $\alpha_1$ . Finalmente, puesto que la solución conjunta a ambos programas será el equilibrio de Bayes-Nash del juego definido por la Autoridad Portuaria, el concesionario de la terminal y la mano de obra portuaria, se aplicará el algoritmo mostrado en la figura 8.3, surgido directamente del concepto de equilibrio de Bayes-Nash (apartado 8.1), para la obtención de la solución conjunta de los modelos.

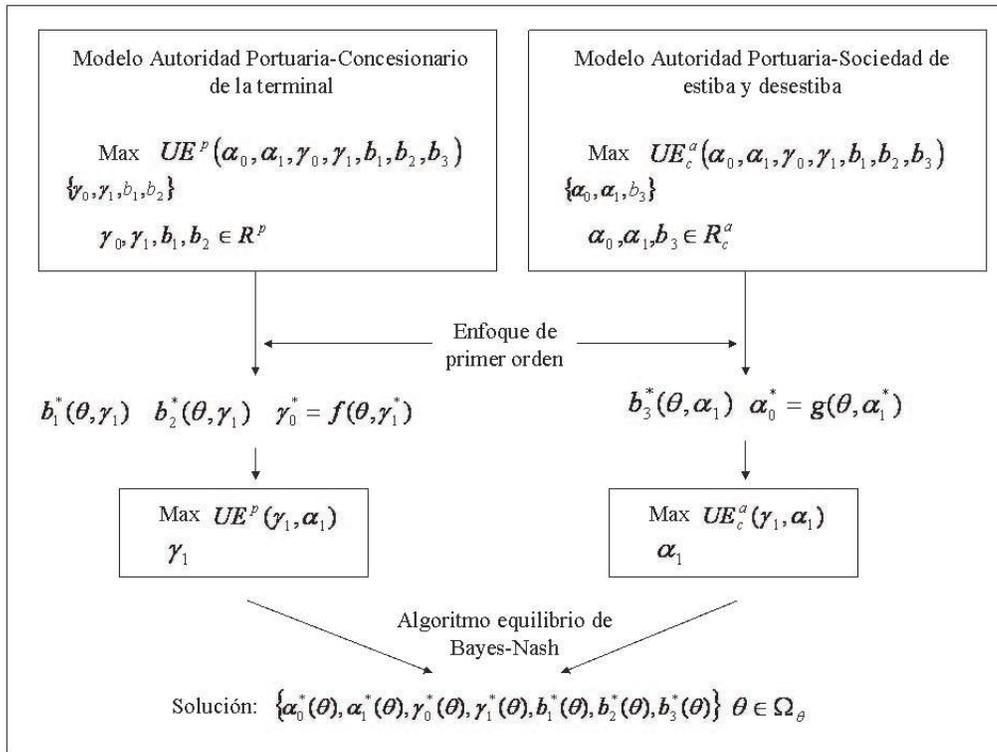


Figura 8.2: Fases para la obtención de la solución general de los modelos.

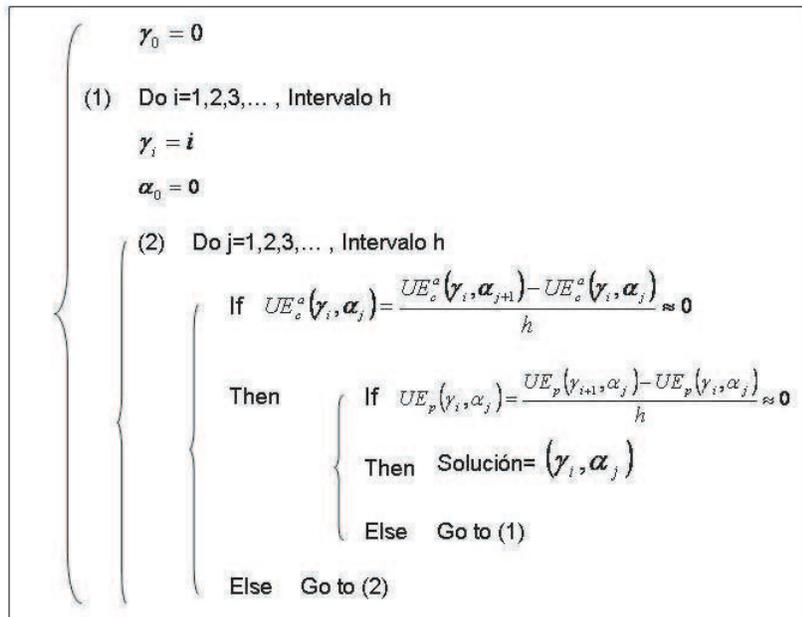


Figura 8.3: Algoritmo para la obtención del equilibrio de Bayes-Nash del juego definido por los dos modelos de principal y agente.

Un modo gráfico de ver la resolución de los modelos plantada en la figura 8.2 es a través de la caja de Edgeworth. En efecto:

Supongamos en primer lugar el modelo entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal y un valor concreto de  $\theta$ ,  $\theta^*$ , perteneciente a  $\Omega_\theta$ . Consideremos una caja de Edgeworth donde los ejes son los esfuerzos máximos posibles  $b_1^{max}$  y  $b_2^{max}$  y en uno de los orígenes estaría el principal ( $O_p$ ) y en el otro el agente ( $O_c$ ), tal como se aprecia en la figura 8.4. En este modelo las variables son  $\gamma_0$ ,  $\gamma_1$ ,  $b_1$  y  $b_2$ , actuando como parámetros  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  y  $b_3$ . Del enfoque de primer orden y concremente aplicando la restricción de participación, se ha obtenido que  $\gamma_0$  puede expresarse como función de  $\gamma_1$ , por lo que  $\gamma_0$  puede eliminarse como variable de ahora en adelante; lo mismo es extensible para  $\alpha_0$  respecto a  $\alpha_1$ .

Consideremos unos valores concretos de  $\alpha_1$  y  $b_3$ ,  $\alpha_1^0$  y  $b_3^0$ , de modo que las utilidades del principal y del agente vendrán dadas por  $UE_p^0(\gamma_1, b_1, b_2, \alpha_1^0, b_3^0, \theta^*)$  y  $UE_c^0(\gamma_1, b_1, b_2, \alpha_1^0, b_3^0, \theta^*)$  respectivamente. Los valores de  $\gamma_1$ ,  $b_1$  y  $b_2$  deberán de ser tales que cumplan con las restricciones del programa, es decir, que pertenezcan al conjunto  $R_p$ .

De la aplicación directa del enfoque de primer orden se tiene que  $b_1$  y  $b_2$  deberán de cumplir que:

$$\frac{\partial UE_c^0(\gamma_1, b_1, b_2, \alpha_1^0, b_3^0, \theta^*)}{\partial b_1} = 0 \quad (8.54)$$

y

$$\frac{\partial UE_c^0(\gamma_1, b_1, b_2, \alpha_1^0, b_3^0, \theta^*)}{\partial b_2} = 0 \quad (8.55)$$

y además que  $UE_c^0(\gamma_1, b_1, b_2, \alpha_1^0, b_3^0, \theta^*) \geq \bar{U}_c$ . Esto implica que los  $b_1$  y  $b_2$  que pertenezcan a  $R_p$  serán los situados en la senda de expansión del concesionario (los puntos en que el gradiente de  $UE_c^0$  respecto a los esfuerzos es cero) y por encima del punto de intersección de esta línea con  $\bar{U}_c$ . Para cada valor de  $\gamma_1$  tendremos una curva de isoutilidad diferente. Todo ello está representado en la figura 8.4.

De este modo, la solución del programa entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal, asumiendo unos valores predeterminados de  $\alpha_1$  y  $b_3$  ( $\alpha_1^0$  y  $b_3^0$ ), vendrá dada por el punto  $S_0$ , donde la utilidad esperada del principal,  $UE_p^0$ , es máxima, al propio tiempo que  $\gamma_1$ ,  $b_1$  y  $b_2$  cumplen con las restricciones del programa. Para cada valor de  $\alpha_1$  y  $b_3$  ( $\alpha_1^i$  y  $b_3^i$ ), tendremos una solución diferente, representada por  $S_i$  en la figura 8.4.

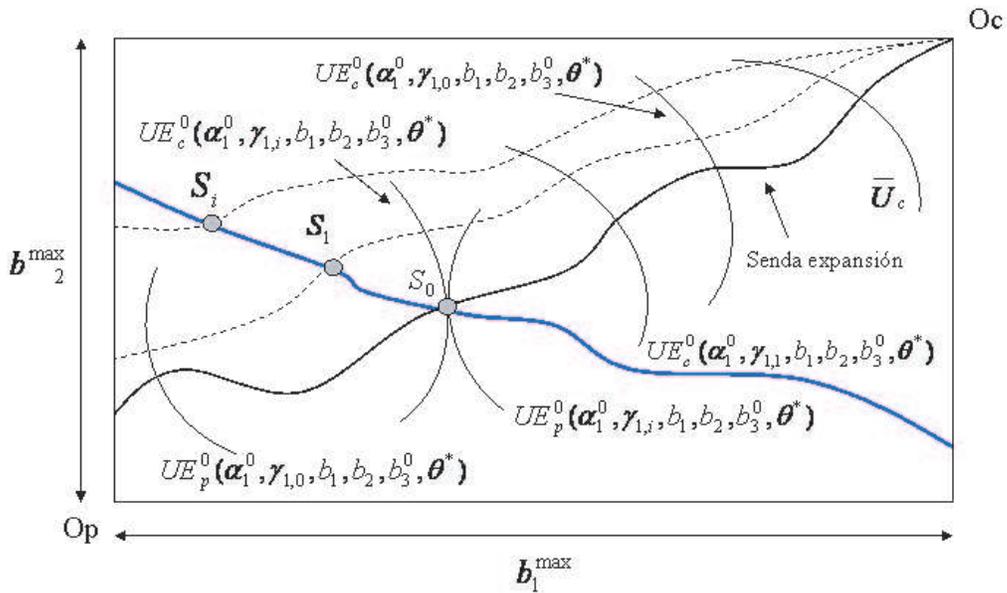


Figura 8.4: Caja de Edgeworth para la obtención de los soluciones para el modelos entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal.

El mismo razonamiento es extensible al modelo entre la Autoridad Portuaria y la sociedad de estiba y desestiba. En este caso las variables son  $\alpha_1$  y  $b_3$  y  $\gamma_1$ ,  $b_1$  y  $b_2$  actúa como parámetros del programa. En la figura 8.5 se representan las utilidades del principal y del agente en función del nivel de esfuerzo  $b_3$ .

Dados unos valores predeterminados de  $\gamma_1$ ,  $b_1$  y  $b_2$ , esto es,  $\gamma_1^0$ ,  $b_1^0$  y  $b_2^0$ , las utilidades del principal y del agente serán  $UE_c^{a,0}(\gamma_1^0, b_1^0, b_2^0, \alpha_1, b^0, \theta^*)$  y  $UE_s^0(\gamma_1^0, b_1^0, b_2^0, \alpha_1, b^0, \theta^*)$  respectivamente. La solución del programa deberá de cumplir con las restricciones del mismo, que, siguiendo con el enfoque de primer orden, serán equivalentes a:

$$\frac{\partial UE_s^0(\gamma_1^0, b_1^0, b_2^0, \alpha_1, b^0, \theta^*)}{\partial b_3} = 0 \quad (8.56)$$

y

$$UE_s^0(\gamma_1^0, b_1^0, b_2^0, \alpha_1, b^0, \theta^*) \geq \bar{U}_s \quad (8.57)$$

Para cada  $\alpha_1$  habrá una curva de isoutilidad diferente (ver la figura 8.5). La solución del programa será el punto  $R_0$ , punto en el que se cumplen las restricciones y la utilidad del principal ( $UE_c^{a,0}$ ) es máxima. Al igual que antes, para valores distintos de  $\gamma_1$ ,  $b_1$  y  $b_2$  ( $\gamma_1^i$ ,  $b_1^i$  y  $b_2^i$ ), la solución del programa será diferente,  $R_i$ .

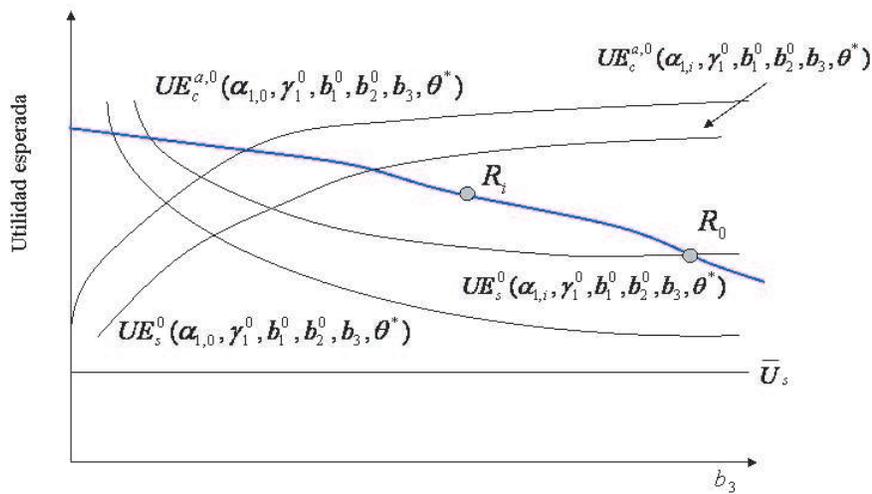


Figura 8.5: Soluciones del modelo entre la Autoridad Portuaria y la mano de obra portuaria.

Llegados a este punto, en cada modelo de principal y de agente tenemos un par de puntos  $(\gamma_1, \alpha_1)$  que son solución de al menos uno de los programas. En la figura 8.6 se representan tanto el conjunto de las soluciones del primero de los modelos ( $S_i, i = 1, 2, \dots$ ) como las del segundo ( $R_i, i = 1, 2, \dots$ ). La solución de los dos modelos, el equilibrio de Bayes-Nash, será la intersección de las líneas definidas por ambos conjuntos de soluciones, tal como viene representado en la figura indicada.

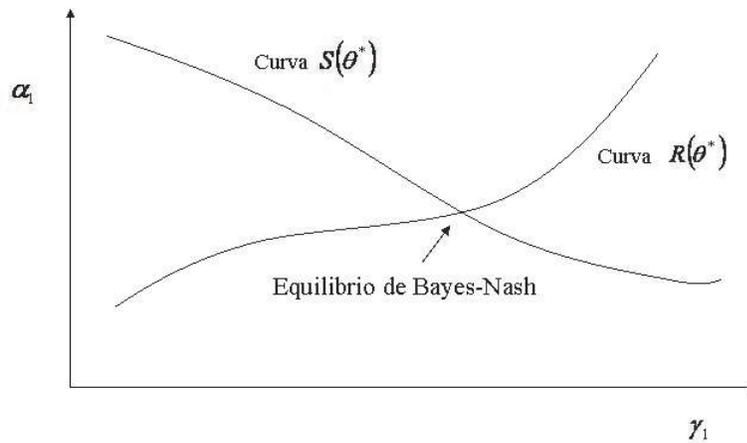


Figura 8.6: Dado un valor de  $\theta, \theta^*$ , soluciones para el modelo entre la Autoridad Portuaria,  $S(\theta)$ , y para el modelo entre la Autoridad Portuaria y la SED,  $R(\theta)$ . El equilibrio de Bayes-Nash será la intersección de ambos conjuntos de soluciones.

Ahora bien, esta solución ha sido hallada partiendo de un valor concreto de  $\theta$  ( $\theta^*$ ). De modo que para cada  $\theta \in \Omega_\theta$  tendremos una equilibrio de Bayes-Nash, con lo que finalmente se

obtendrá la solución de los modelos de principal y de agente en los mismos términos de la figura 8.2, esto es, como un conjunto de soluciones, equilibrios de Bayes-Nash, diferenciadas cada una de ellas por un valor distinto de  $\theta$  perteneciente al  $\Omega_\theta$ .

## 8.5 Existencia de la solución. Equilibrio de Bayes-Nash

Definido el modo de alcanzar una solución para el conjunto de los modelos de principal y de agente, en el presente epígrafe se demuestra la existencia de una solución de este tipo. Y ello se hará bajo la óptica de la Teoría de Juegos.

Siguiendo con la notación utilizada en el apartado 8.1 para definir los juegos no cooperativos en forma estratégica, en el siguiente teorema de Nash (1950) se asientan las bases a partir de las cuales poder demostrar la existencia de solución al juego planteado con los dos modelos de principal y agente.

**Teorema 6 (Nash).** *Dado un juego no cooperativo en forma estratégica  $(S_1, S_2, S_3, S_4, u_1, u_2, u_3, u_4)$  se tiene que si:*

- $S_i \quad i = 1 \div 4$  son cerrados, acotados y convexos.
- $u_i(x_1, x_2, x_3, x_4) \quad i = 1 \div 4, x_i \in S_i$  es continua en  $S_1 \times S_2 \times S_3 \times S_4$ .
- $u_i(x_1, x_2, x_3, x_4)$  cóncava en  $x_i \in S_i$ .

*Entonces existe un equilibrio de Nash.*

Por lo que a la primera de las condiciones del teorema se refiere, todas las estrategias se sitúan en  $\mathbb{R}^{+2}$  o  $\mathbb{R}^+$  según corresponda, pero son acotados y cerrados por definición: las estrategias de los agentes tendrán como cota superior a unos esfuerzos que generen unos elevados costes por congestión que conviertan en inviable la explotación; en tanto que los estrategias para la Autoridad Portuaria ( $S_{AP}^c$ ) y el concesionario de la terminal ( $S_{AP}^s$ ) tendrán como cota superior la inviabilidad económica y financiera del concesionario de la terminal y la SED respectivamente.

Y, finalmente, la convexidad vendrá dada según cada jugador. Así, tanto para  $S_{AP}^c$  como para  $S_{AP}^s$ , tal como se ha indicado en la descripción del algoritmo del enfoque de primer orden, una vez hallado  $\gamma_1$  y  $\alpha_1$  mediante la optimización de una función de una variable,  $\gamma_0$  y  $\alpha_0$  se determinan por medio de sendas relaciones funcionales lineales entre  $\gamma_1$  y  $\gamma_0$ , por un lado, y

entre  $\alpha_1$  y  $\alpha_0$  de otro, que vienen dadas por la condición de participación. Por consiguiente, los puntos  $(\gamma_0, \gamma_1)$  y  $(\alpha_0, \alpha_1)$  definirán un conjunto convexo. Respecto a  $S^s$  y  $S^c$ , puesto que cada uno de los esfuerzos vendrán limitados por aquellos que conlleven unos costes que conviertan en viable la explotación, esto es,  $b_i \leq b_{i,max}$  con  $i = 1, 2, 3$  y cada esfuerzo se define de un modo independiente el uno del otro,  $S^c$  y  $S^s$  formarán un conjunto convexo. En  $\mathbb{R}^{+3}$  el conjunto de los  $b_i$  ( $i=1,2,3$ ) posibles definiría un prisma rectangular.

Por otro lado, de las expresiones de las utilidades esperadas de los jugadores ( $UE_s$ ,  $UE_c$ ,  $UE_c^a$  y  $UE_p$ ), se desprende que estas funciones son continuas en  $S^s$ ,  $S^c$ ,  $S_{AP}^s$  y  $S_{AP}^c$  respectivamente.

Por lo que a la concavidad de las utilidades esperadas atañe, se trata de demostrar en cada caso la concavidad de las funciones respecto a las estrategias de cada uno de los jugadores. Para ello, se partirá de las expresiones de cada función, obtenidas en el capítulo 7. Así, para cada jugador se tiene que:

- Concesionario de la terminal como agente:  $UE_c$ .

$$\frac{\partial^2 UE_c}{\partial b_1^2} = \Gamma(\bar{x}, \theta) k \xi_1 (\xi_1 - 1) b_1^{\xi_1 - 2} - \delta_4 \theta \quad (8.58)$$

Si  $\xi_1 \leq 1$ , entonces  $\frac{\partial^2 UE_c}{\partial b_1^2} \leq 0$  (función cóncava). También podría darse que  $\xi_1 > 1$  si  $\delta_4 \theta \geq \Gamma(\bar{x}, \theta) k \xi_1 b_1^{\xi_1 - 2}$ , pero debido las magnitudes económicas y físicas que representan cada una de las variables, a la práctica será muy difícil que se pueda producir esta situación.

Asimismo,

$$\frac{\partial^2 UE_c}{\partial b_2^2} = \Gamma(\bar{x}, \theta) k \xi_2 (\xi_2 - 1) b_2^{\xi_2 - 2} - \delta_3 \theta \quad (8.59)$$

En el supuesto en que  $\xi_2 \leq 1$ , entonces  $\frac{\partial^2 UE_c}{\partial b_2^2} \leq 0$  (función cóncava). Igualmente podría suceder que  $\xi_2 > 1$  y  $\delta_3 \theta \geq \Gamma(\bar{x}, \theta) k \xi_2 b_2^{\xi_2 - 2}$ , pero a la práctica es muy improbable que se dé, al igual que el caso anterior.

- SED:  $UE_s$

$$\frac{\partial^2 UE_s}{\partial b_3^2} = \Gamma(\bar{x}, \theta) k \xi_3 (\xi_3 - 1) b_3^{\xi_3 - 2} - \delta_5 \theta \quad (8.60)$$

Si  $\xi_3 \leq 1$ ,  $\frac{\partial^2 UE_s}{\partial b_3^2} \leq 0$  (función cóncava). Esto último puede igualmente cumplirse con

$\xi_3 > 1$  y  $\delta_5\theta \geq \Gamma(\bar{x}, \theta)k\xi_3(\xi_3 - 1)b_3^{\xi_3-2}$ ,  $\frac{\partial^2 UE_s}{\partial b_3^2} \leq 0$ , pero es muy difícil que tenga lugar en la práctica, por lo apuntado en el caso de  $b_1$ .

- Respecto al concesionario de la terminal "como principal":  $UE_c^a$ . Es decir, el programa en que el principal es, de hecho, la Autoridad Portuaria pero pensando en los intereses del concesionario.

La expresión de la utilidad esperada se puede segmentar en:  $UE_c^a = UE_{c, sb}^a - EU_c^{a*}$  donde el primer término hace referencia a la situación de sólo riesgo y el segundo cuando hay información privada del agente (aparatado 7.4). A partir de las expresiones para cada caso tenemos directamente que:

$$\frac{\partial^2 UE_{c, sb}^a}{\partial \alpha_0^2} = 0 \quad (8.61)$$

$$\frac{\partial^2 UE_c^{a*}}{\partial \alpha_0^2} = 0 \quad (8.62)$$

Así,  $\frac{\partial^2 UE_c^a}{\partial \alpha_0^2} = 0$ .

$$\frac{\partial^2 UE_{c, sb}^a}{\partial \alpha_1^2} = - \int_{\Omega_\theta} \left( \rho_s^2 T_e^2(\theta) \hat{\sigma}_x^2 + \frac{1}{2} \rho_c^2 T_e^2(\theta) \hat{\sigma}_x^2 \right) q(\theta) d\theta \leq 0 \quad (8.63)$$

$$\frac{\partial^2 UE_c^{a*}}{\partial \alpha_1^2} = \int_{\Omega_\theta} \left( \int_{\underline{\theta}}^u -\rho_s^2 2\theta \frac{c_u^2 \delta_6^2}{H t^2} du \right) d\theta \leq 0 \quad (8.64)$$

Por consiguiente,  $\frac{\partial^2 UE_c^a}{\partial \alpha_1^2} \leq 0$

- Por lo que a la Autoridad Portuaria como principal atañe,  $UE_p$ . Tenemos que  $UE_p = UE_p^{sb} - UE_p^*$ , donde el primer elemento del segundo término tiene lugar cuando tan solo hay riesgo moral, mientras que el segundo es originado por la existencia de información oculta. Para cada uno de ellos teniendo en cuenta las expresiones de los mismos se tiene que:

$$\frac{\partial^2 UE_{AP, sb}^c}{\partial \gamma_0^2} = 0 \quad (8.65)$$

$$\frac{\partial^2 UE_{AP}^{c*}}{\partial \gamma_0^2} = 0 \quad (8.66)$$

De este modo,  $\frac{\partial^2 UE_{AP}^a}{\partial \gamma_0^2} = 0$ .

$$\frac{\partial^2 UE_{AP, sb}^c}{\partial \gamma_1^2} = \int_{\Omega_{\bar{x}}} \int_{\Omega_{\theta}} -\rho_c p^{*2} \hat{\sigma}_x^2 f(\bar{x}; \theta) q(\theta) d\bar{x} d\theta \leq 0 \quad (8.67)$$

$$\frac{\partial^2 UE_{AP}^{c*}}{\partial \gamma_1^2} = 0 \quad (8.68)$$

Así,  $\frac{\partial^2 UE_{AP}^c}{\partial \gamma_1^2} \leq 0$ .

Por tanto, queda demostrada la tercera y última condición del teorema de Bayes-Nash, por lo que existirá solución de los dos modelos de principal y agente desarrollados.

## 8.6 Análisis del significado de la formulación propuesta de cánones y tarifas

Determinadas las expresiones de las utilidades esperadas de los dos agentes se está en condiciones de realizar una interpretación económica más pormenorizada del papel de las variables  $(\alpha_0, \alpha_1, \gamma_0$  y  $\gamma_1)$ , complementando lo indicado en los apartados 7.1 y 7.2, donde se presentaron las expresiones de los cánones y las tarifas de la mano de obra portuaria y que, en el caso de los cánones, el análisis se centró más para el caso particular en que  $\alpha_0 = 0$  y  $\alpha_1 = 1$ .

Supongamos, en primer lugar, el concesionario de la terminal, con posición dominante de mercado, que tiene que satisfacer a al Autoridad Portuaria anualmente un canon con la formulación presentada en la tesis. El operador sabe que, si las previsiones realizadas por el principal sobre sus costes totales son próximos a los reales, deberá de plantearse si le sale a cuenta realizar esfuerzos adicionales para reducir tarifas e incrementar la productividad de la terminal, lo que permitiría reducir costes (por aumento de la productividad) y cánones e incrementar la demanda.

Esta decisión sobre incrementar estos esfuerzos y en qué medida dependerá fundamentalmente de tres factores: expectativas de mejorar beneficios, riesgo de la demanda de contenedores (que condicionará este primer factor) y la aversión al riesgo del concesionario. Si tan solo interviniese este primer elemento en la decisión del agente, sin incertidumbre alguna en las previsiones de demanda, en un escenario completamente determinista, y con un agente no averso al riesgo, la formulación de los cánones necesaria para lograr los incentivos deseados por el principal sería la indicada en el apartado 7.2 pero con  $\alpha_1 = 1$  y  $\alpha_0$  tal que permita garantizar al agente su

rentabilidad de reserva.

En la medida que las previsiones de la demanda tiene cierto nivel de incertidumbre ( $\hat{\sigma}_x^2 \neq 0$ ) y el agente tiene cierta aversión el riesgo ( $\rho_c \neq 0$ ), el planteamiento del concesionario ya es diferente que en el caso determinista: ahora se trata de establecer los esfuerzos adicionales a realizar para reducir las tarifas de la terminal e incrementar la productividad y en qué medida lo hace teniendo en cuenta que los posibles beneficios obtenidos están asociados a cierto nivel de incertidumbre (el de la demanda). Según el nivel de aversión al riesgo del concesionario, éste optará por aquellas intensidades de esfuerzo que den lugar a unas expectativas de beneficios que compensen el riesgo incurrido en esta decisión. En última instancia se trata del habitual dilema de todo negocio sobre el nivel de rentabilidad exigido por cada inversor según el riesgo inherente a la inversión, pero aplicado al caso concreto, el de tener que decidir sobre realizar unos esfuerzos determinados en una concesión de una terminal de contenedores.

Al principio resulta rentable (aumento de la utilidad esperada) incrementar los esfuerzos hasta cierto punto, a partir del cual la utilidad esperada del agente descendiendo con el aumento de  $b_1$  y  $b_2$ . Este punto de inflexión dependerá, entre otros factores, del nivel de riesgo de la demanda y la aversión al riesgo del concesionario.

En este escenario, el objetivo del principal (Autoridad Portuaria) es influir en esta decisión del agente para que adopta los valores máximos posibles de estos esfuerzos; y para ello utilizará como instrumento el valor de la variable  $\gamma_1$ . En efecto, supongamos la utilidad esperada del concesionario,  $UE_c$ , como función de los esfuerzos  $b_1$  y  $b_2$ , actuando  $\gamma_1$  como parámetro y el resto de variables como constantes, esto es:

$$UE_c(b_1, b_2; \gamma_1) = (c_1 + \gamma_1 c_2 - c_3)(b_1^{\xi_1} + b_1^{\xi_3} + c_4) - c_5 - \gamma_1 c_6 - \frac{1}{2} c_7 b_1^2 - \frac{1}{2} c_8 b_2^2 - \frac{1}{2} \rho_c^2 (c_9 + c_{10} \gamma_1^2 + c_{11}) \hat{\sigma}_x^2 \quad (8.69)$$

donde  $c_i$  para  $i = 1 \div 11$  son las variables que intervienen en la expresión de  $UE_c$  que se han considerado constantes, aunque se ha explicitado la aversión al riesgo del agente ( $\rho_c^2$ ) y el riesgo de la demanda ( $\hat{\sigma}_x^2$ ) para mostrar el modo en que estos dos aspectos influyen en la utilidad esperada del concesionario. En la apartado 7.3 se muestra con detalle las variables que intervienen en esta utilidad, permitiendo obtener las equivalencias de cada una de las constantes  $c_i$  de un modo inmediato -aquí no se han puesto para facilitar mostrar la idea que se quiere transmitir.

Tal como se aprecia en la figura 8.7, para cada valor de  $\gamma_1$  tendremos unos esfuerzos concretos

$(b_1^*$  y  $b_2^*$ ) para los que la función  $UE_c$  es máxima, esto es, el concesionario, teniendo en cuenta el riesgo de la demanda, su disposición a adoptar riesgo y las expectativas de beneficio, obtendrá en estos esfuerzos su máxima utilidad esperada.

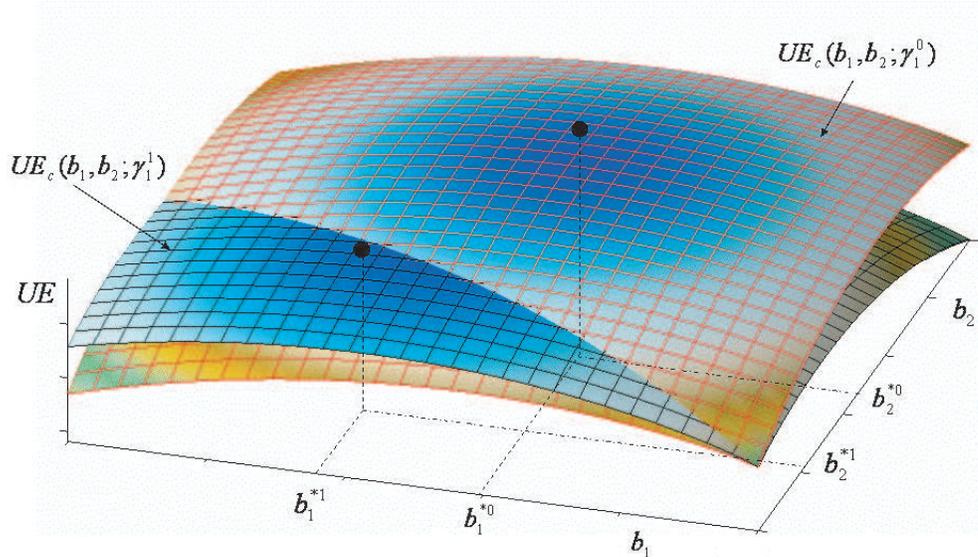


Figura 8.7: Esfuerzos  $b_1$  y  $b_2$  que maximizan la utilidad esperada del concesionario dado un valor concreto de  $\gamma_1$ .

El objetivo de la variable  $\gamma_0$ , por su parte, es tan solo asegurar que el concesionario puede obtener su rentabilidad mínima a partir de la cual considera más oportuno estar en la concesión que no en otro negocio alternativo (utilidad de reserva). En la figura 8.7  $\gamma_0$  vendría representada por la utilidad esperada mínima, la cual dependerá, a su vez, de  $\gamma_1$  - se verá con mayor detalle en el capítulo de aplicación de los programas matemáticos a un caso concreto de concesión de terminal.

En el caso del otro agente, la mano de obra portuaria, el razonamiento para argumentar la función de  $\alpha_0$  y  $\alpha_1$  en los incentivos de este agente para hacer esfuerzos adicionales es exactamente el mismo que el seguido para el concesionario de la terminal, con la diferencia que si para este último se ha actuado en los costes (cánones) para la SED se influye por medio de los ingresos (tarifas). Por ende, para cada valor de  $\alpha_1$  se obtendrá un nivel de esfuerzo  $b_3$  ( $b_3^*$ ) que maximiza la utilidad esperada de la mano de obra portuaria ( $UE_s$ ), así como un valor de  $\alpha_0$  que garantiza la utilidad de reserva de este agente.

Llegados a este punto, tenemos que para cada par de valores cualesquiera de  $\gamma_1$  y  $\alpha_1$  que hay unos esfuerzos máximos asociados ( $b_1^*$ ,  $b_2^*$  y  $b_3^*$ ). Ahora bien: cuáles son los valores de  $\gamma_1$  y  $\alpha_1$  que deberán finalmente adoptarse? todos son posibles o tan solo hay uno o varios?. Para

responder a todo ello es necesario volver a la concepción de los modelos como un problema de Teoría de Juegos.

Dada la formulación de los cánones y las tarifas de la mano de obra, el concesionario de la terminal le interesará que estas últimas sean lo más reducidas posibles, a pesar de disponer de poder de mercado, que le permitiría trasladar el mayor parte de los incrementos tarifarios a los usuarios finales de la terminal; mientras que la SED deseará todo lo contrario. Lo mismo sucederá con las productividades entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal, por un lado, y entre este último y la mano de obra portuaria, de otro. Al existir intereses contrapuestos entre los agentes y el principal, se deberán de adoptar aquellos valores de  $\gamma_1$  y  $\alpha_1$  que permitan a todos los participantes del juego obtener la máxima utilidad esperada de tal suerte que nadie de éstos tenga incentivos por variar el nivel de los esfuerzos que cada uno controla; lo cual tan solo es posible en el equilibrio de Bayes-Nash.

## Capítulo 9

# Aplicación a una terminal de contenedores concesionada

### 9.1 Introducción

A partir de los resultados teóricos obtenidos en los anteriores capítulos, queda por analizar las implicaciones que éstos conllevan en un caso particular de una concesión de una terminal de contenedores. Más concretamente, el objetivo del presente capítulo es la aplicación y posterior análisis de los resultados logrados en los anteriores capítulos.

Por ello, el presente capítulo se estructura en tres grandes bloques. En el primero de ellos, que abarcaría los tres primeros apartados, se plantea el caso particular considerado, al tiempo que se muestran los resultados obtenidos de aplicar el modelo de principal y agente (equilibrio de Bayes-Nash), tanto en términos de utilidad como en unidades monetarias. En el segundo bloque, formado por el cuarto apartado, se analiza de un modo pormenorizado la influencia de los diferentes parámetros y variables que intervienen en la formulación de los resultados finales (análisis de sensibilidad). Y, por último, se recogen las principales conclusiones obtenidas de la aplicación.

### 9.2 Planteamiento del problema

Para analizar de un modo cuantitativo el modelo propuesto de tarifas y cánones se han empleado los datos de una terminal de contenedores situada en el sur de España que lleva dos años operando y tiene un periodo concesional de 26 años. No se revela el nombre de la terminal a efectos de

mantener la confidencialidad de los datos.

Según las previsiones del operador, el tráfico de contenedores, en términos de TEU, seguirá la evolución mostrada en el gráfico 9.1, esto es, un sustancial crecimiento en los primeros cuatro años de la concesión, hasta estabilizarse a partir del año 2012 a los 750.000 TEU.

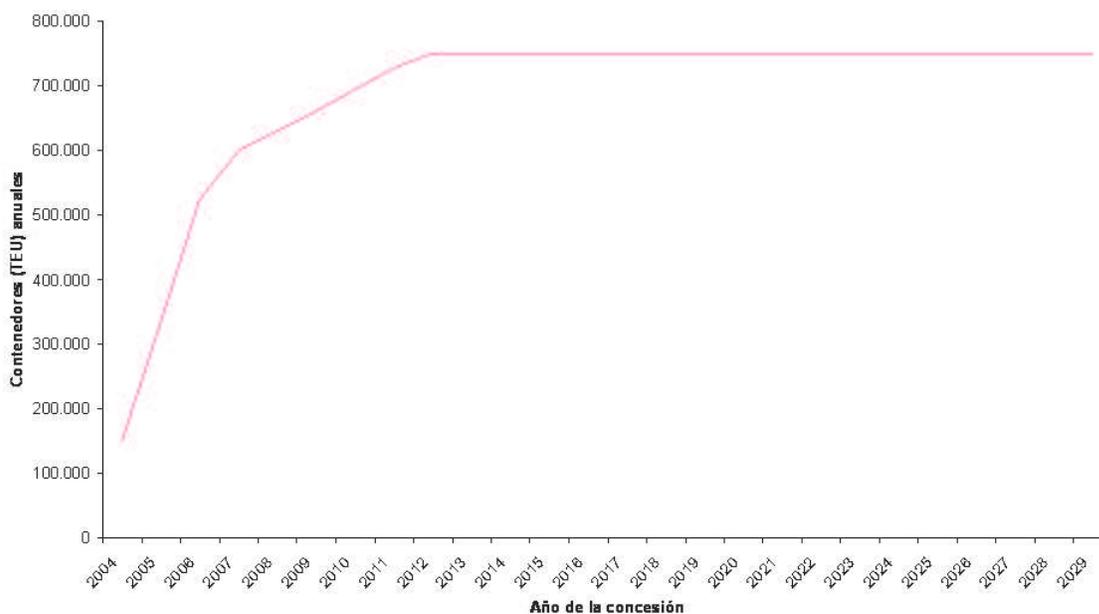


Figura 9.1: Previsiones de demanda de contenedores (TEU) con la formulación de cánones y tarifas de la mano de obra portuaria actuales.

En aplicación del criterio de rentabilidad (apartado 6.4) y teniendo en cuenta la figura 9.1, se ha adoptado como tráfico representativo la cifra de 750.000 TEU.

Por lo que a los costes del operador atañe, los fijos representativos serán equivalentes a las amortizaciones anuales tanto en inmovilizado material como al fondo de reversión del operador de la terminal, que en el caso que nos ocupa la cifra será de 4,8 millones de euros anuales. Los costes de explotación variables, que no incluyen los relativos a la mano de obra portuaria,  $c_v$ , se han obtenido a partir de dividir todos los costes operativos menos estos últimos por el tráfico en TEUs para cada uno de los años de la concesión. La mayor parte del período concesional el valor del coste variable unitario se situaba en un entorno próximo a los 40 euros/TEU, por lo que, multiplicando este último valor por 750.000 TEUs anuales, se ha obtenido un coste variable anual ( $c_v$ ) de 30 millones de euros anuales.

Respecto a la productividad portuaria  $h_t$  (en TEUs movidos por mano de obra y hora), la mayor parte del período concesional las previsiones son que el valor se sitúe entre 20 y 22

TEU/mano obra-hora. Se ha supuesto un valor de  $h_t = 20$  TEU/mano obra-hora.

Las previsiones del valor del coste unitario de la mano de obra portuaria ( $c_u$ ), por su parte, presenta pocas variaciones para el periodo concesional: la mayor parte de los años el valor se sitúa muy próximo a 580 euros/mano obra-hora, el cual se ha obtenido partiendo tanto de una productividad de la mano de obra portuaria de 121 TEU por mano de obra de 6 horas como de un coste para el concesionario de 29 euros/TEU.

El resto de los parámetros de la formulación, los concernientes a la demanda para un año representativo (la constante  $k$  y las elasticidades) y al nivel de información disponible por parte de la Autoridad Portuaria de los costes de los operadores ( $\delta_i$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, 6\}$ , y  $\theta$ ), a falta de datos del ejemplo de partida, han sido supuestos adoptando valores que podrían ser perfectamente fehacientes en la práctica.

Así, en cuanto al nivel de información disponible por la Autoridad Portuaria, ésta supone que los costes tanto de la mano de obra portuaria como del operador de la terminal se sitúan en un intervalo definido por  $\delta_i \theta$   $i \in \{1, 2, \dots, 6\}$ . Para  $\theta$  se ha considerado que  $\theta \in [0, 8, 1]$  y que las deltas son las de la tabla 9.1.

Conceptos		Valores
$\delta_1$	Coste fijo terminal	0,9
$\delta_2$	Coste variable terminal	0,9
$\delta_3$	Esfuerzo $b_2$	1
$\delta_4$	Esfuerzo $b_1$	1
$\delta_5$	Esfuerzo $b_3$	0,9
$\delta_6$	Coste mano de obra portuaria, $c_u$	1

Tabla 9.1: Valores de  $\delta_i$  adoptados en el caso práctico.

Por lo que a los parámetros de la demanda de refiere, las elasticidades demanda-precio ( $\xi_1$ ) suele ser inelástica, tal como se ha indicado en el capítulo 2. A falta de datos más precisos para el caso considerado, se ha adoptado un valor de 0,5. El resto de elasticidades, demanda-productividad de la mano de obra portuaria ( $\xi_3$ ) y demanda-productividad del operador de la terminal ( $\xi_2$ ), a falta de datos particularizados a la terminal estudiada, se han emplado dos referencias a partir de las cuales se han adoptado los valores de estas elasticidades, a saber:

- Tal como se ha indicado en el capítulo 3, Cullinane y Khanna (1998) analizaron y cuantificaron la incidencia de las incrementos de la productividad portuaria en el coste del transporte de contenedores (en términos de US dólares por TEU). En dicho estudio demostraron que duplicando la productividad los costes unitarios de un buque portacontendor de 6.000

TEU podrían descender de 114 a 91 por TEU. Adicionalmente, puesto que la elasticidad precio-demanda es inelástica y suponiendo que las reducciones de costes se trasladan a las tarifas finales de transporte, se sigue que la elasticidad demanda-productividad de manipulación de la mercancía será inelástica, si bien ello no implica minusvalorar la importancia de este factor en la demanda de contenedores, tal como demostraron dichos autores.

- Tangzon (1995) obtuvo una medida de la productividad de los puertos que albergar tráfico de contenedores empleando funciones de producción tipo Cobb-Douglas. Para ello realizó un estudio para 23 puertos y considerando tan solo el tráfico de contenedores, obteniendo una expresión que relaciona el número de contenedores movidos al año (variable endógena) con la productividad media de las grúas, situación del puertos, etc. (variables exógenas). Para los datos utilizados por el autor para la estimación del modelo obtuvo que la elasticidad de la producción de contenedores respecto a la productividad de las grúas tenía un valor menor de uno, es decir, inelástico.

A la luz de estas referencias, es plausible adoptar como hipótesis de trabajo para el caso analizado que los valores de las elasticidades  $\xi_2$  y  $\xi_3$  sean menores que 1. A falta de más datos se ha supuesto que  $\xi_2 = \xi_3 = 0,5$ .

Finalmente, para caracterizar completamente el nivel de demanda anual representativo queda por determinar el valor de la constante  $k$ , que evalúa el conjunto de factores que inciden en la demanda y que no han sido tenidos en cuenta en  $b_1$ ,  $b_2$  y  $b_3$ .

Para ello hay que tener en cuenta que las funciones a optimizar son funciones de utilidad y que expresan las preferencias de los agentes de un modo relativo, no absoluto; lo realmente importante del resultado no es su valor en sí, sino el relativo, de comparar unas situaciones con otras. Así, por ejemplo, dado un valor de  $\alpha_1 = \alpha^*$  que da lugar a una utilidad de la Autoridad Portuaria  $u_{AP} = u^*$ , que es mayor que el valor obtenido adoptando  $\alpha_1 = \alpha^{**}$ , entonces para este agente  $\alpha^*$  es preferible a  $\alpha^{**}$ . Es la única información que se puede obtener de estos resultados; el valor de la utilidad tomado de modo aislado no es indicativo de nada.

Por otro lado, dada una función de utilidad  $u$  que expresa las preferencias de un agente  $a$ , si existe una transformación monótona  $g$  que dados los valores de la utilidad  $u$  se obtenga  $g(u)$ , entonces esta transformación monótona modeliza igualmente las preferencias del agente  $a$ .

Llegados a este punto, donde están establecidos los valores de todos los parámetros que intervienen en los modelos menos la constante  $k$ , se ha obtenido un sistema de optimización de 2 ecuaciones y dependientes del parámetro  $k$ . Dados dos valores cualesquiera de  $k$ ,  $k_1$  y  $k_2$ , tales que  $k_1 > k_2 > 0$ , se demuestra a partir de realizar múltiples simulaciones que las

funciones de utilidad definidas para cada uno de estos valores de  $k$ ,  $u_c(k_i)$  y  $u_{AP}(k_i)$ , cumplen que  $u_c(k_1) > u_c(k_2)$  y  $u_{AP}(k_1) > u_{AP}(k_2)$ ; por lo que se podría definir una transformación monótona de ambas funciones de utilidad; lo que conllevaría a que, para cada uno de los valores de  $k > 0$ , se obtienen funciones de utilidad  $u_c$  y  $u_{AP}$  que representan las preferencias del concesionario de la terminal y la Autoridad Portuaria respectivamente.

A tenor de ello, se ha supuesto un valor de  $k$  tal que permita trabajar con valores de utilidad positivos con vistas a facilitar la interpretación de los resultados. Concretamente el valor adoptado de  $k$  ha sido de 900.

Introduciendo todos estos valores en las funciones objetivo de los programas matemáticos de los modelos desarrollados ( $UE_p$  y  $UE_c^a$ ) se llegan funciones de la utilidad esperada del concesionario y la Autoridad Portuaria representadas en las figuras 9.2 y 9.3 respectivamente, donde se ha introducido además el plano de utilidad nulo con vistas a apreciar a partir de qué valores de  $\alpha_1$  y  $\gamma_1$  los valores son positivos.

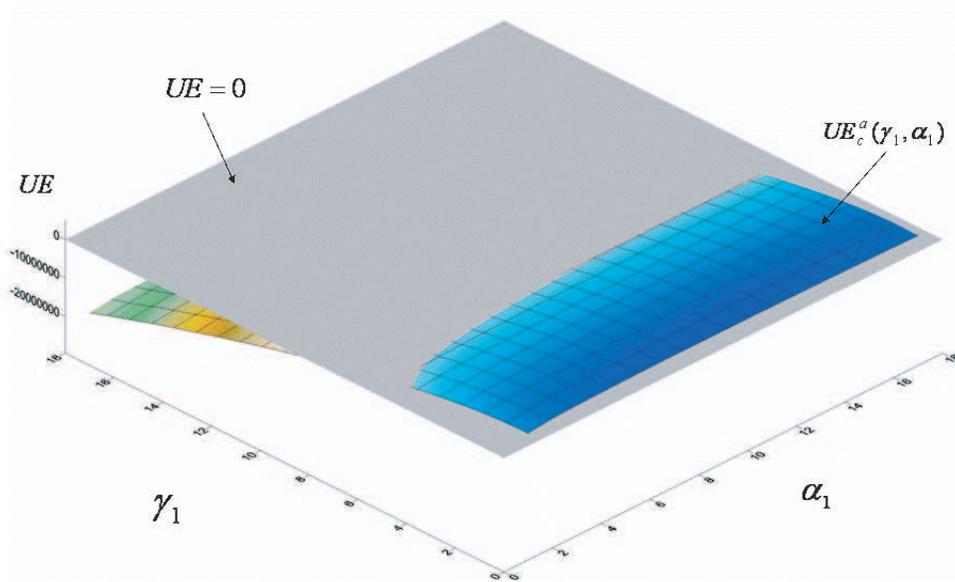


Figura 9.2: Valores de la utilidad esperada  $UE_c^a$  positivos, entre los cuales está el equilibrio de Bayes-Nash.

### 9.3 Cálculo del equilibrio de Bayes-Nash

Sustituyendo los valores definidos en el apartado anterior en las expresiones finales del modelo (capítulo 7), se llega a dos programas matemáticos y a dos variables a partir de lo cual se obtiene el equilibrio de Bayes-Nash del juego planteado.

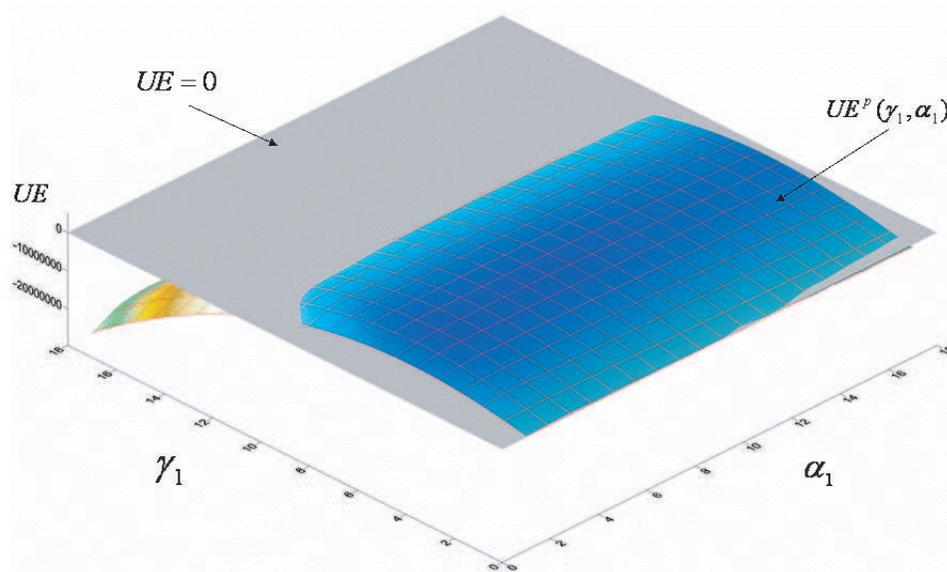


Figura 9.3: Valores de la utilidad esperada  $UE_p$  por encima de  $UE = 0$ .

Para la obtención del óptimo del sistema planteado se ha realizado por medio de métodos numéricos, necesarios para la resolución de las dos integrales (una simple y otra doble). Se ha empleado el método de Gauss de cálculo de integrales, implementándolo en el software VISUAL-BASIC, cuyos editores de macros están recogidos en el Apéndice A del presente documento. Se ha implementado el algoritmo mostrado en el apartado 8.4, surgido directamente del propio concepto de equilibrio de Bayes-Nash.

A partir de los valores de las variables y parámetros del apartado anterior, se han obtenido los resultados de las utilidades y coeficientes de cánones y tarifas, indicados en la tabla 9.2. Mientras que en la figura 9.4 se representan las utilidades esperadas  $UE_c^a$  y  $UE_p$  en función de  $\alpha_1$  y  $\gamma_1$ , así como el equilibrio de Bayes-Nash. En las figuras 9.5 y 9.6, por su parte, se representa el equilibrio de Bayes-Nash con más detalle mostrando las intersecciones entre el plano  $\gamma_1 = 6$  y la función  $UE_c^a$  y el plano  $\alpha_1 = 13$  y la utilidad  $UE_p$ .

De estos resultados se pueden inferir los siguientes comentarios:

- Ninguna de las magnitudes de la tabla contiene dimensiones. A excepción de  $\alpha_1$  y  $\gamma_1$ , el resto de los valores deben de interpretarse de un modo relativo, en comparación con otro valor.
- Los esfuerzos destinados a la reducción de las tarifas de la terminal e incrementos de la productividad serán mayores que los realizados a mejorar la productividad de la mano de obra.

Concepto	Valor
Esfuerzo en tarifas ( $b_1^*$ )	3.698
Esfuerzo en productividad terminal ( $b_2^*$ )	3.698
Esfuerzo en productividad mano de obra ( $b_3^*$ )	671
Utilidad del concesionario ( $UE_c^a$ )	531.083
Utilidad de la Autoridad Portuaria ( $UE_p$ )	4.709.278
$\alpha_1^*$	13
$\gamma_1^*$	6
Demanda media anual ( $\hat{x}$ )	132.786

Tabla 9.2: Resultados de la terminal considerada. El equilibrio de Nash tiene lugar en  $\alpha_1 = 13$  y en  $\gamma_1 = 6$ . Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ , que se considera representativo del resto de  $\theta$ .

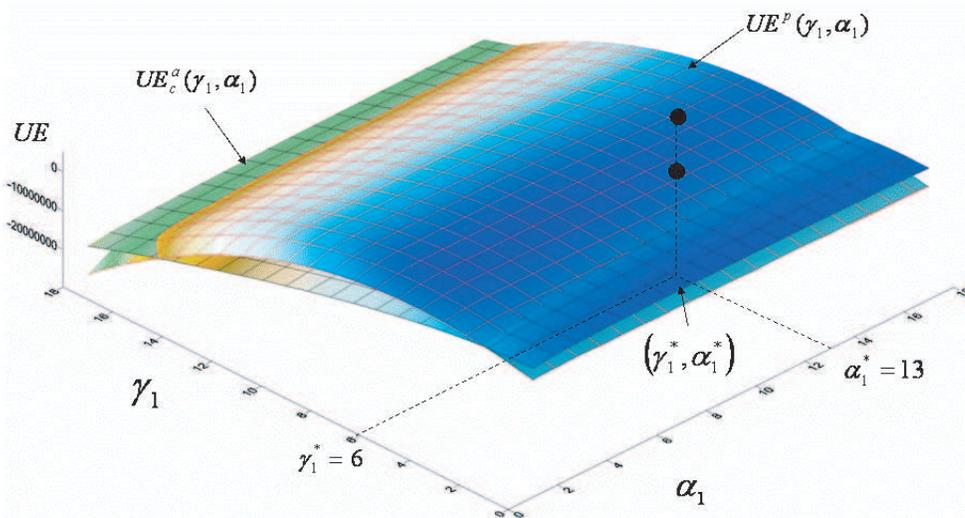


Figura 9.4: Utilidades esperadas  $UE_p$  y  $UE_c^a$  junto con el equilibrio de Bayes-Nash.

- El equilibrio de Bayes-Nash tiene lugar para  $\alpha_1 = 13$  y  $\gamma_1 = 6$ . Los valores de  $\alpha_0$  y  $\gamma_0$  vendrán dados, en última instancia, por las utilidades esperadas de reserva de la mano de obra portuaria y el concesionario de la terminal respectivamente. Y es que, tal como se indicó en el capítulo 8, cuando se definió el algoritmo de resolución de los programas matemáticos, los valores de estas variables se definirán como aquellos que, dados  $\alpha_1$  y  $\gamma_1$ , permitan a los agentes lograr las respectivas utilidades esperadas de reserva. En el siguiente apartado se analiza la solución anterior pero en términos monetarios en lugar de utilidades y es cuando se podrá dar un valor de  $\alpha_0$  y  $\gamma_0$ .

Conviene retornar al significado de las funciones de utilidad a optimizar según los diversos valores positivos de la constante  $k$ . Tal como se ha argumentado en el epígrafe anterior, puesto

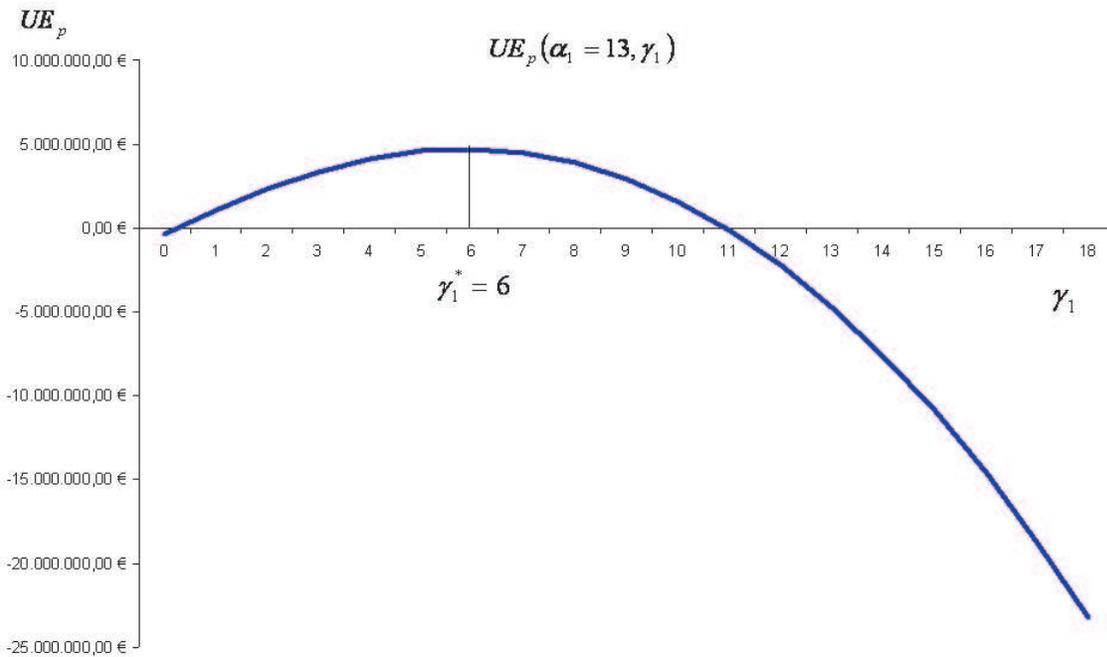


Figura 9.5: Utilidad esperada de la Autoridad Portuaria,  $UE_p$ , para  $\alpha_1^* = 13$ . En el punto  $\gamma_1^* = 6$  tiene lugar el equilibrio de Bayes-Nash.

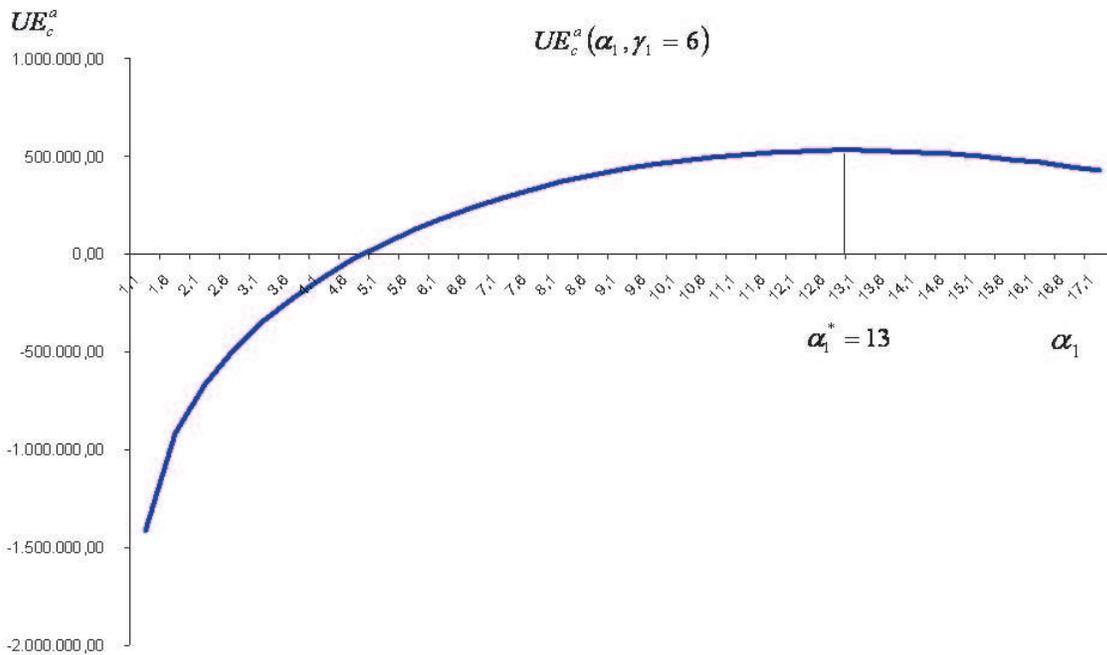


Figura 9.6: Utilidad esperada del concesionario  $UE_c^a$  para  $\gamma_1^* = 6$ . En  $\alpha_1^* = 13$  hay el equilibrio de Bayes-Nash.

que las funciones de utilidad del concesionario y la Autoridad Portuaria son crecientes con  $k$ , para cada uno de los valores positivos de esta constante se obtiene sendas funciones de utilidad. Por consiguiente, los valores obtenidos de las utilidades ( $u_c$  y  $u_{AP}$ ) y los esfuerzos de los agentes ( $b_1^*, b_2^*$  y  $b_3^*$ ) carecen *per se* de significado; deben necesariamente de expresarse en relación a cualquier otra solución lograda con otros valores de las variables ( $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\gamma_0$  y  $\gamma_1$ ). La importancia del resultado, pues, estriba en analizar las variaciones en la utilidad y esfuerzos surgidos por unos valores concretos de estas variables respecto a otros obtenidos con otros valores de partida.

## 9.4 Pérdidas y Ganancias de los agentes y del principal

### 9.4.1 Determinación de $\alpha_0$ y $\gamma_0$

Hallada la solución de dos ( $\alpha_1$  y  $\gamma_1$ ) de las cuatro incógnitas de los modelos de principal y agente planteados, con vistas a analizar de un modo más profuso los resultados posibles con esta nueva formulación de cánones y tarifas, es imprescindible simular la situación económica y financiera de los agentes y del principal tanto con los resultados del modelo como en la situación actual, donde no se aplican las formulaciones de cánones y tarifas de la mano de obra portuaria obtenidas.

En lugar de realizar una análisis económico y financiero completo, que conllevaría la determinación de las cuentas de Pérdidas y Ganancias y de Tesorería, el Balance y el Origen y Aplicación de fondos, en análisis se centrará tan solo en la primera de estas cuentas, pues se considera que es suficiente para hacer la comparativa entre ambas situaciones, con y sin la implementación de las formulaciones obtenidas.

El Apéndice B contiene la cuenta de Pérdidas y Ganancias del concesionario de la terminal prevista al inicio de la explotación para cada uno de los años de la concesión y con los cánones y tarifas de la mano de obra portuaria actuales. Tan solo se considera el beneficio operativo (no se tiene en cuenta el extraordinario ni la liquidación del impuesto de sociedades) para simplificar el análisis; de hacerlo no aportaría ningún resultado significativo. Tal como se ha indicado al inicio del presente capítulo, los datos se han obtenido de una concesión (que el momento de redactar el documento está en construcción) de un puerto del Mediterráneo español. Los cánones que aparecen son por dos conceptos: por ocupación del espacio público (que viene dado por una tarifa por metro cuadrado de superficie ocupada) y el de actividad (en términos de tarifa por contenedor manipulado).

Adicionalmente, respecto a la mano de obra portuaria, tan solo se dispone que los ingresos

precedentes por las tarifas que cobra al concesionario del terminal (las del personal operativo). A partir de los costes unitarios de la mano de obra mostrados al inicio del presente capítulo y mediante estas tarifas se ha elaborado la cuenta de Pérdidas y Ganancias prevista para este agente en la situación actual, sin la nueva formulación. Ver Apéndice B.

Los ingresos de la Autoridad Portuaria, por su parte, serán los cánones soportados por el concesionario de la terminal, tal como se verá en el siguiente epígrafe.

A partir de estos datos y de los resultados de la modelización ( $\alpha_1 = 13$  y  $\gamma_1 = 6$ ), se ha procedido a evaluar los posibles esfuerzos en que los agentes podrían incurrir para reducir tarifas e incrementar la productividad. Ello conlleva expresar el concepto de esfuerzo en términos monetarios, para lo cual se ha empleado como punto de partida los conceptos de elasticidades demanda-esfuerzos y costes-esfuerzo. En efecto:

En el capítulo 7 se indicó que la utilidad asociada al esfuerzo  $b_i$  venía dado por  $u_i = -0,5b_i^{\xi_i}$ . Como primera aproximación se puede suponer que la elasticidad utilidad esfuerzo-esfuerzo ( $\xi_{b_i}^{u_i}$ ) es la misma que coste esfuerzo-esfuerzo ( $\xi_{b_i}^{c_i}$ ), esto es, que ante una variación del esfuerzo  $b_i$  la modificación en términos porcentuales de la desutilidad ( $u_i$ ) será la misma que la de los costes asociados ( $c_i$ ). Matemáticamente:

$$\xi_{b_i}^{c_i} = \xi_{b_i}^{u_i} = \frac{\partial u_i}{\partial b_i} \frac{b_i}{u_i} = \xi_i \quad (9.1)$$

En cuanto a la elasticidad demanda-esfuerzo, partiendo de  $\hat{x}(b_1, b_2, b_3) = k(b_1^{\xi_1} + b_2^{\xi_2} + b_3^{\xi_3})$  se tiene que:

$$\xi_{b_i}^{\hat{x}} = \frac{\partial \hat{x}}{\partial b_i} \frac{b_i}{\hat{x}} = \frac{\xi_i b_i^{\xi_i}}{(b_1^{\xi_1} + b_2^{\xi_2} + b_3^{\xi_3})} \quad (9.2)$$

Por otro lado, introduciendo 9.1 en 9.2 y teniendo en cuenta la elasticidad-arco en lugar de la infinitesimal se llega a que:

$$\frac{\Delta \hat{x}}{\Delta b_i} \frac{b_i}{\hat{x}} = \frac{\frac{\Delta c_i}{\Delta b_i} \frac{b_i}{c_i} b_i^{\xi_i}}{b_1^{\xi_1} + b_2^{\xi_2} + b_3^{\xi_3}} \quad (9.3)$$

Y desarrollando:

$$\frac{\Delta \hat{x}}{\hat{x}} = \left( \frac{b_i^{\xi_i}}{b_1^{\xi_1} + b_2^{\xi_2} + b_3^{\xi_3}} \right) \frac{\Delta c_i}{c_i} \quad (9.4)$$

9.4 relaciona directamente incremento de coste relacionado con un esfuerzo concreto con aumento porcentual de la demanda de contenedores. De este modo, la variable de decisión de los agente será el porcentaje de coste a aplicar para incrementar cada uno de los esfuerzos.

Asimismo, en cuanto a los costes de explotación directamente relacionados con cada uno de los esfuerzos, se tiene para cada agente que:

- Concesionario de la terminal. A partir de los datos disponibles en la cuenta de Pérdidas y Ganancias (Apéndice B), el esfuerzo  $b_1$ , el de reducción de las tarifas, se ha considerado como un menor ingreso y el  $b_2$ , relativo al aumento de productividad, se ha asociado a los gastos generales y a las amortizaciones de los equipos (para contemplar incrementos de productividad vía inversión en maquinaria).
- Mano de obra portuaria. El esfuerzo  $b_3$  se ha asociado al todo el coste de explotación.

De este modo, si uno de los agentes incrementa  $b_i$  en un determinado porcentaje (que vendrá dado por medio de  $\frac{\Delta c_i}{c_i}$ ), ello conllevará un coste de explotación adicional de  $\frac{\Delta c_i}{c_i} c_i^*$ , donde  $c_i^*$  es el coste vinculado con el esfuerzo  $b_i$ .

Adicionalmente, un incremento en uno de los esfuerzos dará lugar a un ascenso de la demanda en:

$$\Delta \hat{x} = \left( \frac{b_i^{\xi_i}}{b_1^{\xi_1} + b_2^{\xi_2} + b_3^{\xi_3}} \right) \frac{\Delta c_i}{c_i} \hat{x} \quad (9.5)$$

siendo  $\hat{x}$  la demanda de contenedores de partida.

Por consiguiente, a partir de suponer un incremento porcentual de un esfuerzo concreto  $\left( \frac{\Delta c_i}{c_i} \right)$ , se obtienen los costes  $\left( \frac{\Delta c_i}{c_i} c_i^* \right)$  e ingresos adicionales  $(\Delta \hat{x})$  que se generarán por cada uno de los agentes.

Llegados a este punto, queda por aplicar la formulación de canon y tarifa de la mano de obra portuaria obtenida de los modelos, para lo cual es necesario que la Autoridad Portuaria (principal) defina, en función de la información disponible,  $\gamma_0$ ,  $\alpha_0$ ,  $p_0$  (coste de explotación del concesionario) y  $p^*$  (tarifas medias de terminales sometidas a competencia perfecta o a lo que más de aproxime, en su defecto). Para el cálculo de las variables  $\alpha_1$  y  $\gamma_1$ , los valores medios para todos los años de la concesión de estas dos últimas variables ya han sido determinados, por lo que el cálculo se centra en determinar los valores de  $\gamma_0$  y  $\alpha_0$ .

Para ello, previamente es menester volver al tema de la ley de los rendimientos decrecientes

expuesta en el capítulo 7, lo cual nos lleva a indicar que la formulación planteada para la obtención de los beneficios de cada uno de los agentes y del principio a partir de los esfuerzos tiene una validez parcial. En efecto, en las terminales de contenedores, al igual que sucede en cualquier proceso industrial, tiene lugar la ley de los rendimientos decrecientes, esto es, a medida que aumenta la cantidad de un factor productivo (un esfuerzo en nuestro caso) en un proceso productivo (el conjunto de las operaciones de la terminal) al principio los incrementos adicionales de la productividad son mayores que los aumentos de los factores hasta llegar a un punto en el que tienden a estancarse y a pasar a ser incrementos menores. Este punto de inflexión viene muy determinado por la capacidad de la terminal; ciertamente, a medida que aumentan los esfuerzos del operador privado, se estará más cerca de la capacidad de la terminal, lo que dará lugar a un punto en el que se producirán importantes sobrecostes por congestión, a partir de los cual los costes medios, que hasta ahora habían descendido con el aumento de los esfuerzos, aumentarán.

Por consiguiente, la formulación desarrollada en este apartado tiene una validez parcial en el sentido que no tiene en cuenta estas cotas superiores de los incrementos de los esfuerzos, a partir de las cuales los costes medios ascienden; tan solo es válida antes del citado punto de inflexión, tal como se representa en la figura 9.7.

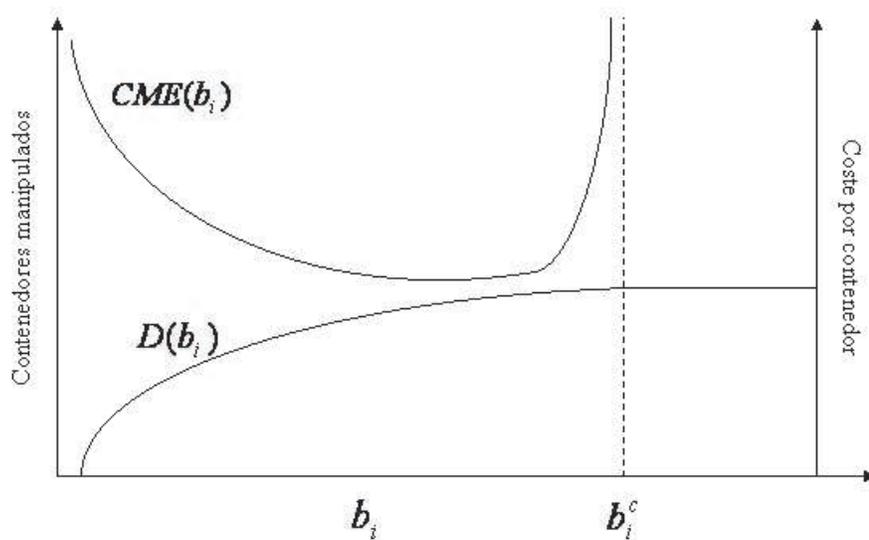


Figura 9.7: Evolución del coste medio por contenedor ( $CME$ ) y de la demanda de tráfico de contenedores en la terminal ( $D$ ) a medida que el agente incrementa uno de los esfuerzos ( $b_i$ ) manteniendo el resto de los parámetros iguales. El punto de inflexión viene representado por  $b_i^c$ .

Todo ello tiene dos importantes efectos para el caso concreto estudiado:

- Los beneficios tanto del concesionario de la terminal como de la mano de obra portuaria

serán cóncavos respecto a los aumentos de los esfuerzos. El punto máximo vendrá dado precisamente por el nivel de esfuerzo límite indicado.

- Por ende, la solución del problema, el equilibrio de Bayes-Nash, no podrá sobrepasar los límites superiores de los esfuerzos.

Para el caso concreto de la terminal estudiada, todo ello indica que el modelo supuesto en el cual a partir de un porcentaje del coste marginal de un determinado esfuerzo se obtienen los nuevos ingresos y gastos adicionales de los agentes no siempre es lineal, tal como se ha expuesto en los párrafos anteriores, sino que habrá un punto  $(b_i^c, i = 1, 2, 3)$  a partir del cual los costes aumentarán de un modo exponencial. De hecho, la función de costes tendría la forma indicada en la figura 9.8.

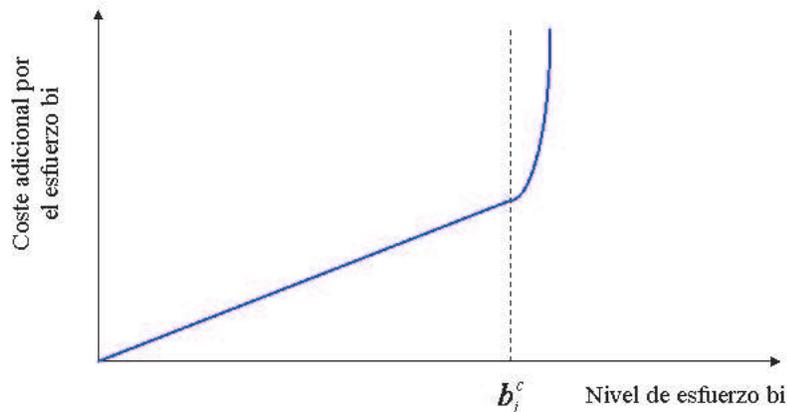


Figura 9.8: Coste por realizar un determinado nivel de esfuerzo  $b_i$  ( $i=1,2,3$ ). La relación es lineal hasta el punto  $b_i^c$ , en el cual se llega a la capacidad de la terminal y empiezan a aparecer costes de congestión.

En caso de no incorporar la ley de los rendimientos decrecientes al análisis se llegaría a que siempre resulta viable para el concesionario incrementar esfuerzos: en una primera fase tener ingresos marginales superiores a los costes marginales; y en un segundo estado, a partir del cual se superase este umbral de capacidad, por que los cánones empezarían a ser negativos (Autoridad Portuaria a pagar). Según el planteamiento realizado, no se ha planteado una transferencia de la Autoridad Portuaria al concesionario (canon negativo). Ahora bien, otra posible línea de investigación (como después de apuntará) consistiría en la definición de un canon que dependiese de la calidad del servicio ofertado por la terminal, con la posibilidad de que si hay mejoras hasta cierto nivel se contemplase un pago del principal al agente.

Estos puntos de inflexión en los incrementos de los esfuerzos vendrán dados por la situación

de partida en la que se halle la terminal respecto a la óptima. El caso estudiado, a tenor de la tecnología disponible y de la configuración en planta de la misma, se ha estimado que a lo sumo podrá tener lugar unos incrementos en mejora de productividad del conjunto de la terminal del orden de magnitud del 15%, que será dado esencialmente por mejoras en la organización de las operaciones más que en la maquinaria. Mientras que los aumentos de la productividad de la mano de obra portuaria podría ser del orden del 10%, puesto que los movimientos de la mano de obra pactados contractualmente entre el concesionario de la terminal y la sociedad de estiba y desestiba ya son considerables. La cota superior de los esfuerzos para la mejora de las tarifas de la terminal, por su parte, será consecuencia directa de los dos máximos anteriores.

Por consiguiente, la relación funcional entre los incrementos de los esfuerzos  $b_1$ ,  $b_2$  y  $b_3$  vendrán dados por los resultados obtenidos de aplicar el enfoque de primer orden, siempre y cuando estén por debajo de estos esfuerzos superiores, a partir de las cuales los incrementos de costes dados por un aumento unitario de los esfuerzos son muy elevados, sin poderse compensar por aumentos de demanda y/o mejoras de la productividad, lo cual supone que, a efectos prácticos, las mejoras de los esfuerzos nunca serán superiores a estos límites.

Pues bien, en base a todo ello y volviendo al tema de hallar los valores de  $\alpha_0^*$  y  $\gamma_0^*$ , en concordancia con lo expuesto en el capítulo 8, estas magnitudes serán aquellas que aseguren a los respectivos agentes de obtener la utilidad espera de reserva. Esto proyectado al ámbito de las unidades monetarias implica definir  $\alpha_0^*$  y  $\gamma_0^*$  de modo que permitan a los agentes obtener la mínima rentabilidad exigida por éstos.

Puesto que los beneficios de los agentes son crecientes con  $b_i^*$  para  $i = 1, 2, 3$ , hasta el límite superior comentado, precisamente éstos aumentarán sus esfuerzos hasta un límite y es aquí donde se deberán de definir los valores de  $\alpha_0^*$  y  $\gamma_0^*$ ; es decir, serán aquellos que en den lugar a que en este límite los agentes obtengan sus rentas de reserva. De este modo queda asegurado que siempre los cánones serán positivos.

Por otro lado, los valores de estas variables dependen del nivel de información disponible por el principal (dado por  $\theta$ ), dado que en realidad el principal lo que hace es proponer a los agentes un espectro de cánones y tarifas definidas cada una de ellas por un valor de  $\theta$  situado entre 0,8 y 1 y a elegir entre los agentes, los cuales optarán por aquella formulación que les permita pagar menos cánones (concesionario de la terminal), con  $\theta = 0,8$ , y cobrar más en tarifas (mano de obra portuaria), para  $\theta = 1$ .

Aplicando todo esto a la terminal que nos ocupa, se llega a un valor de  $\alpha_0^* = -3.000.000$  y  $\gamma_0^* = -5.000.000$ .

### 9.4.2 Esfuerzos óptimos y comparativa entre situación actual y la propuesta

A partir de las consideraciones del epígrafe anterior, queda por establecer cuán serán los esfuerzos adicionales respecto a la situación prevista de partida (Apéndice B) realizados por los dos agentes, los cuales vendrán expresados, tal como se ha indicado, como incremento porcentual de los costes asociados a cada uno de los esfuerzos en relación a la situación prevista base. Y a partir de todo ello será posible evaluar la nueva situación económica y financiera de los agentes y la Autoridad Portuaria.

Ante el espectro de mecanismos de incentivos ofertados por la Autoridad Portuaria, los cánones y tarifas de la mano de obra portuaria para cada valor de  $\theta$  ( $\theta \in [0, 8; 1]$ ), los agentes deberán de tomar dos tipos de decisiones: cuál de las formulaciones de cánones y tarifas ofertados adopta (elección de  $\theta$ ); y el nivel de esfuerzo adicional a implementar (elección de  $b_i^*$  con  $i = 1, 2, 3$ ).

Respecto a la primera de estas decisiones, tanto el concesionario como la SED escogerán los cánones y tarifas para los que  $\theta = 0,8$  y  $\theta = 1$  respectivamente. Este primer valor puesto que el concesionario optará por el canon más bajo posible. Y el segundo valor es debido a que la mano de obra portuaria deseará las tarifas máximas posibles por sus servicios; asimismo, ante una negociación entre este agente y el concesionario de la terminal para fijar las tarifas (el valor de  $\theta$ ), habida cuenta de la situación monopolística de la SED, es más razonable que las tarifas alcancen los niveles máximos posibles,  $\theta = 1$ .

A partir de  $\theta = 0,8$  para el canon y  $\theta = 1$  para las tarifas, los agentes elegirán en nivel de esfuerzo que maximicen sus expectativas de negocio. En base a la información disponible de partida, se ha considerado el conjunto de los resultados de explotación actualizados (con una tasa del 10%) de todos los años de la concesión a partir del 2008 (año a partir del cual la situación económica y financiera de la terminal empieza a superar los primeros años de la explotación en que la demanda va consolidándose hasta situarse a las previsiones de medio y largo plazo). Estos indicadores vendrán representados por  $VAN_{ap}^n$ ,  $VAN_c^n$  y  $VAN_s^n$  para la Autoridad Portuaria, el concesionario de la terminal y la mano de obra portuaria, respectivamente.

Con vistas a comparar los resultados de explotación obtenidos con los cánones y tarifas propuestos con las previsiones de la situación base, en lugar de adoptar la suma de los resultados actualizados como criterio de decisión de los agentes sobre el nivel de esfuerzo a implementar (indicador de la utilidad esperada), se ha empleado la variación porcentual del conjunto de los resultados de explotación de la concesión de la nueva situación respecto a la de partida, esto es:

$$\text{Criterio esfuerzos} = \frac{VAN_i^n - VAN_i^0}{VAN_i^0} \quad (9.6)$$

donde el subíndice  $i$  hace referencia al agente y los superíndices 0 y  $n$  a la situaciones base y de nueva respectivamente.

En las figuras 9.9 y 9.10 se muestran los valores para el concesionario de la terminal y la SED de este criterio de decisión respectivamente, mientras que la figura 9.11 aparecen los valores relativos a la Autoridad Portuaria según los esfuerzos adoptados por los agentes. No en vano indicar que en los cálculos se ha supuesto que  $b_1^* = b_2^*$  en base a los resultados obtenidos para el cálculo del equilibrio de Bayes-Nash (tabla 9.2). De estas tablas se desprenden las siguientes conclusiones:

- A excepción de algunos valores para la mano de obra portuaria, el resto de situaciones para ambos agentes supone una pérdida de beneficios respecto a la situación prevista de partida. La elección que se plantea es, pues, elegir aquellos niveles de esfuerzos que supongan las pérdidas menores de rentabilidad respecto al escenario de referencia.
- La situación en que la pérdida de rentabilidad respecto a la situación de partida es mayor es cuando ninguno de los agentes no implementan esfuerzo adicional alguno. Ello conlleva a afirmar que las formulaciones de cánones y tarifas propuestas darían lugar a un incremento de los esfuerzos de los agentes para, según corresponda, mejorar productividades y reducción de tarifas por los servicios de la terminal.
- A medida que mayores son los esfuerzos de los agentes, la reducción de beneficios respecto a la situación actual será menor, por lo que los niveles de esfuerzo que finalmente se alcanzarán serán los máximos posibles, esto es, el marcado por la ley de los rendimientos decrecientes, tal como se ha esgrimido en el epígrafe anterior. En el caso concreto de la terminal, estos límites se han establecido en un 15% para los esfuerzos  $b_1$  y  $b_2$  y del 10% para  $b_3$ .
- Respecto a la Autoridad Portuaria, en todas las situaciones hay una mejora de los ingresos vía cánones, a pesar que la mejora más reducida se corresponde con los esfuerzos óptimos de los agentes. Asimismo, indicar que los elevados porcentajes para los niveles de esfuerzos más bajos son en cierta manera "ficticios" en el sentido que se corresponden en situaciones en que la suma de los resultados de explotación actualizados de los agentes es negativa, por lo que estos niveles no serán elegidos por los agentes.
- Finalmente respecto a las variaciones de los valores del criterio de decisión, para el con-

cesionario y la Autoridad Portuaria éstas son más elevadas (más sensible al cambio de esfuerzo) que en el caso de la mano de obra portuaria.

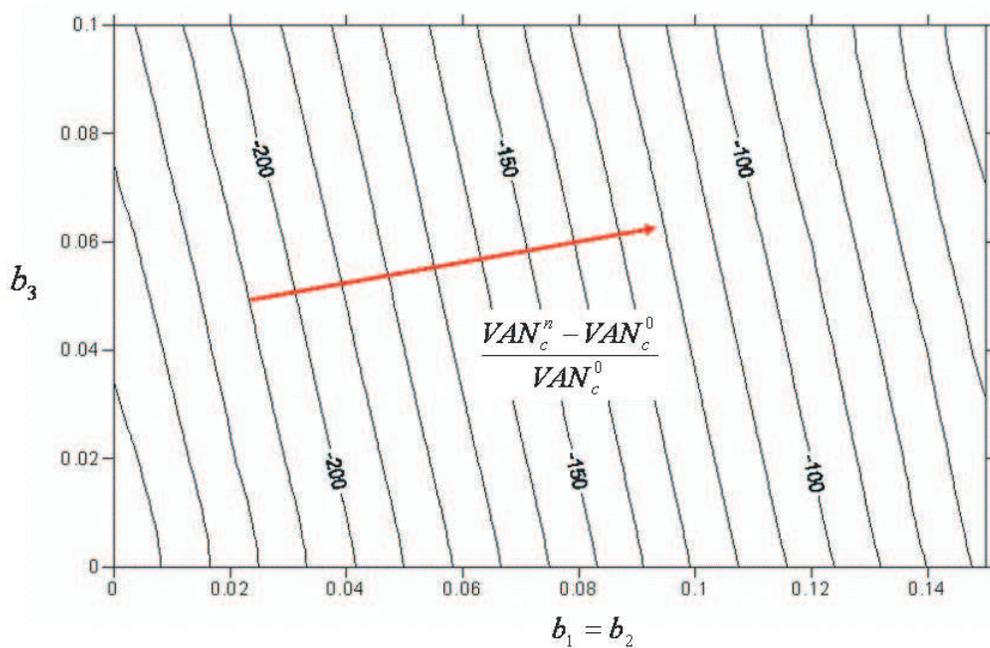


Figura 9.9: Representación de las isocuantas de los valores del indicador de esfuerzo para el caso del concesionario de la terminal.

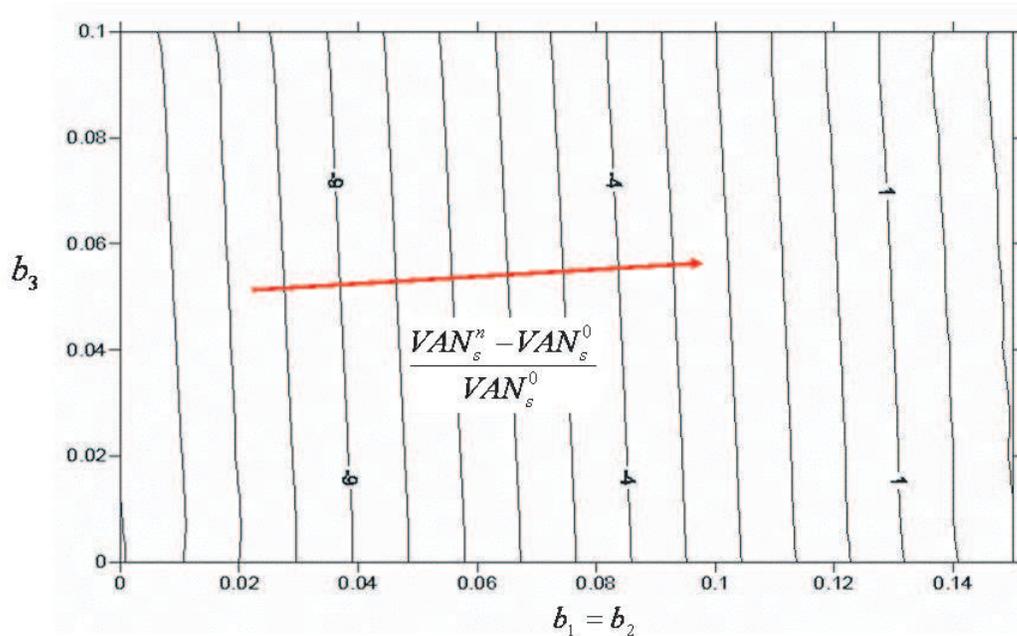


Figura 9.10: Isocuantas del criterio de incremento de esfuerzo para el caso de la mano de obra portuaria.

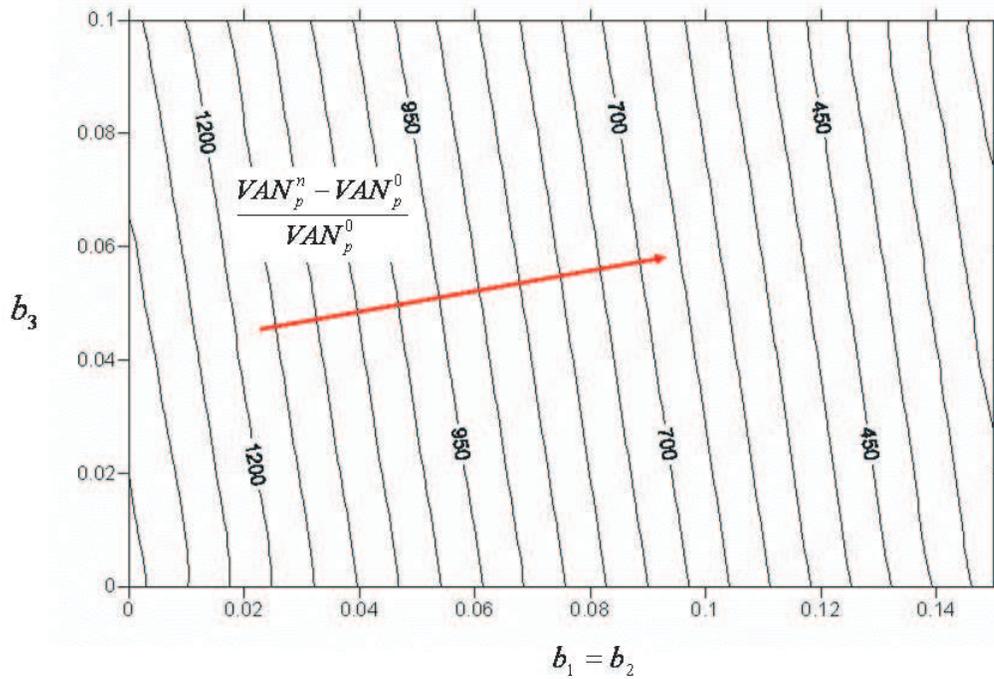


Figura 9.11: Mejoras de los ingresos por cánones de la Autoridad Portuaria respecto a los actuales cánones.

A partir del nivel óptimo de los esfuerzos de los agentes ( $b_1^* = b_2^* = 15\%$  y  $b_3^* = 10\%$ ), se obtienen los nuevos gastos de explotación e ingresos previstos con la nueva formulación de cánones y tarifas de la mano de obra portuaria. El Apéndice B contiene las cuentas de Pérdidas y Ganancias previstas del concesionario, la SED y la Autoridad Portuaria respectivamente, donde se recogen estos gastos e ingresos.

A partir de las anteriores figuras se está en condiciones de realizar un análisis más pormenorizado de la comparativa entre las previsiones de la situación económica y financiera de la concesión con las cánones y tarifas actuales y el caso de implementar las fórmulas propuestas en la tesis. En las figuras 9.12-9.20 hay la comparativa de ambas situaciones a partir del año 2008 de la concesión para los resultados de explotación del concesionario, la mano de obra portuaria y la Autoridad Portuaria, así como los costes de los esfuerzos adicionales implementados por los agentes ante la nueva situación de partida. En el último año, en las figuras aparece un descenso, debido a que la concesión no ocupa los doce meses. A partir de todo ello, se pueden inferir las siguientes consideraciones:

- Conviene indicar que los esfuerzos obtenidos son en términos medio, la media de los esfuerzos de todos los años de la concesión, en consonancia con la formulación seguida a lo largo del modelo. Ahora bien, puesto que al final los agentes realizan los esfuerzos máximos

posibles, a tenor de la tecnología disponible, se puede inferir que el esfuerzo medio utilizado será el valor mayoritario en todos los años de la concesión; y seguramente el valor será menor en los años en que aún no se ha alcanzado las previsiones de demanda a largo plazo.

Todo ello afectará al conjunto de la situación económica y financiera de los agentes y del principal, por lo que en las cuentas de Pérdidas y Ganancias, más que comprar año tras año, hay que mirar la tendencia global.

- Por lo que a los resultados de explotación del concesionario de la terminal concierne, hay un descenso de los beneficios esperados respecto a la situación de partida. Y es que, al haber un abuso del poder de mercado de la terminal, la tendencia es que el concesionario obtenga beneficios derivados de esta situación, ya sea en no invertir lo máximo posible en la mejora de las operaciones y/o ya sea en unas tarifas más elevadas de las propias de la plena competencia.

A partir del 2023 los resultados son mayores que la situación de partida. Y es que, si bien hay un incremento de costes por hacer esfuerzos en mejorar la productividad y un descenso de los ingresos vía reducción de tarifas, también, por estos dos motivos, se produce un incremento de la demanda. A partir de este año, esto último compensa los otros dos factores.

- El concesionario de la terminal, tal como se ha indicado, realizará un esfuerzo en reducir tarifas ( $b_1$ ) y en mejorar la productividad de la terminal ( $b_2$ ), que será del 15% respecto a la situación actual; todo lo cual se traducirá en los costes representados en la figura 9.13. El coste  $b_1$  debe de interpretarse como un menor ingresos en lugar de coste.

Tal como puede apreciarse en la figura en términos absolutos los esfuerzos se centran en la reducción de las tarifas. Respecto a esto último, tal como viene representado en la figura 9.14, la reducción de las tarifas es del orden del 13% en relación a la situación de partida.

- En cuanto a los resultados de explotación de la mano de obra portuaria (figura 9.15), hay una mejora respecto a la situación de partida hasta el año 2018, a partir del cual se invierte la tendencia. En relación a ello hay que tener en cuenta que:
  - i) Los costes de este agente por mejorar la productividad son bajos en términos absolutos (figura 9.16), dado que estas mejoras deberán de centrarse esencialmente en optimización de la organización de las operaciones, que suponen un coste relativamente bajo en comparación al total de explotación.

ii) Las tarifas por contenedor cobradas por la mano de obra portuaria al concesionario (figura 9.17) son muy parecidas a las previstas en la situación actual hasta el 2016, a partir del cual las diferencias no cesan de crecer.

iii) Hay un incremento de los ingresos debido a aumentos de la cantidad de contenedores manipulados.

El primer factor se mantiene estable a lo largo de los años de la concesión. El cambio de tendencia en el 2018 viene dado por el hecho que, si bien la tendencia de la demanda es crecer, lo que daría lugar a resultados de explotación siempre mejores que los de la situación de partida, a partir del 2016 hay una reducción de las tarifas por contenedor cobradas por la SED que da lugar a que este ingreso de menos por contenedor sea más significativo que el incremento de la demanda.

- Respecto a los ingresos de la Autoridad Portuaria por cánones, los previstos con la nueva formulación son muy superiores a los de la situación de partida. Ello por dos factores: 1) hay un incremento de la demanda de contenedores; y 2) la nueva expresión del canon conlleva a un incremento del canon unitario, pasando de 5 euros por TEU como media a casi 12, tal como puede apreciarse en la figura 9.19.

- Finalmente, por lo que a la demanda de contenedores atañe, como consecuencia de los esfuerzos de los agentes en mejoras de la productividad y reducción de las tarifas, se producirá un incremento de los contenedores en la terminal, del orden del 15%, tal como queda representado en la figura 9.20.

Respecto a la comparativa entre los resultados de explotación de los agentes con la actual formulación de cánones y tarifas de la mano de obra portuaria y los propuestos, el análisis realizado hasta ahora en el presente epígrafe ha sido meramente descriptivo. Ahora se trata de hallar una explicación a los resultados obtenidos de las simulaciones desde la óptica de la teoría económica y de los incentivos a los agentes.

En la situación de partida del concesionario de la terminal, los cánones soportados por éstos pueden segmentarse en dos categorías: el de ocupación, que sería un canon fijo en concepto de aprovechamiento de un espacio público (el de la terminal) para uso lucrativo del concesionario, tal como dispone la ley de Puertos del Estado (*Ley 48/2003 de régimen económico y de prestación de servicios de los puertos de interés general*) vigente en el momento de redactar la presente tesis doctoral, y que se concretaría en la aplicación de un tipo de gravamen (del 5% en el caso de la terminal estudiada) sobre el valor de mercado del terreno portuario ocupado por

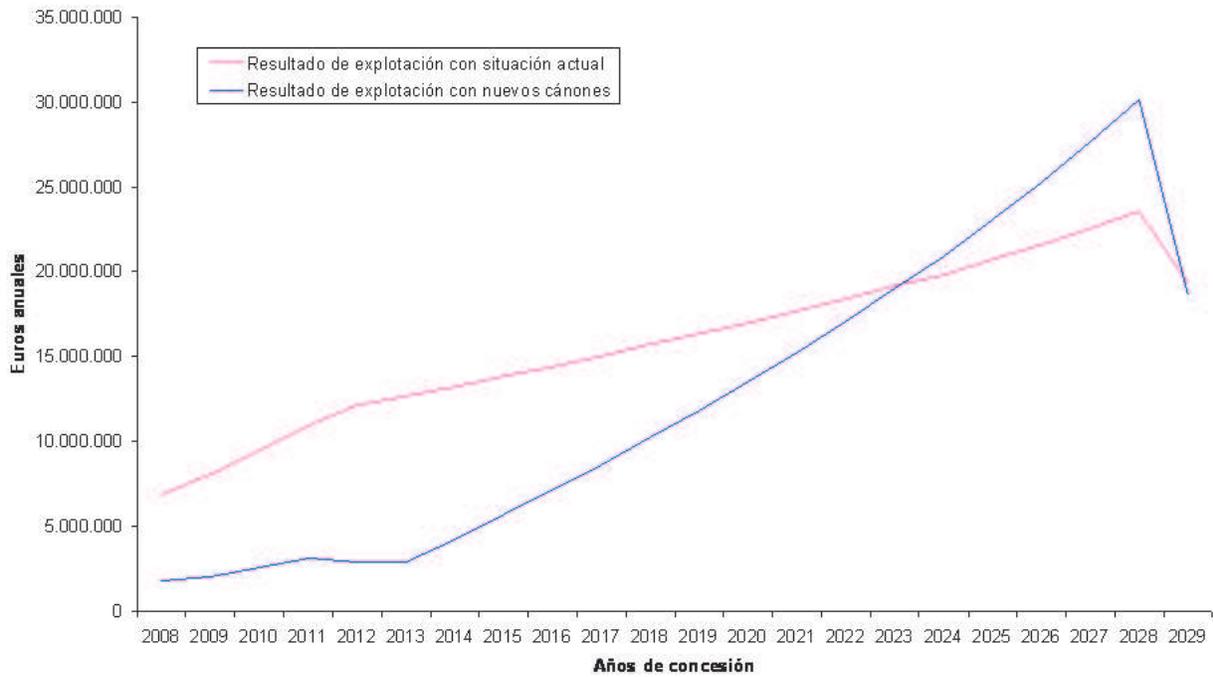


Figura 9.12: Resultados previstos de explotación del concesionario de la terminal, tanto para la situación de partida como para la nueva propuesta de cánones y tarifas.

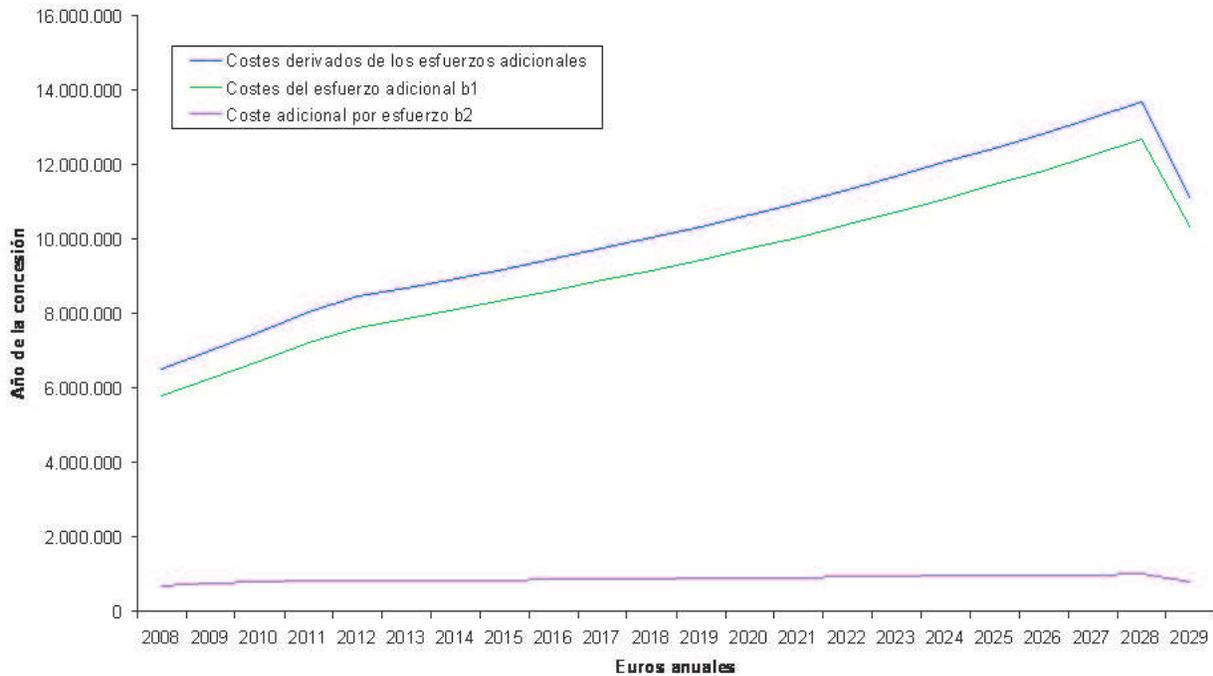


Figura 9.13: Costes del concesionario debidos a sus esfuerzos para mejorar productividad y reducir tarifas.

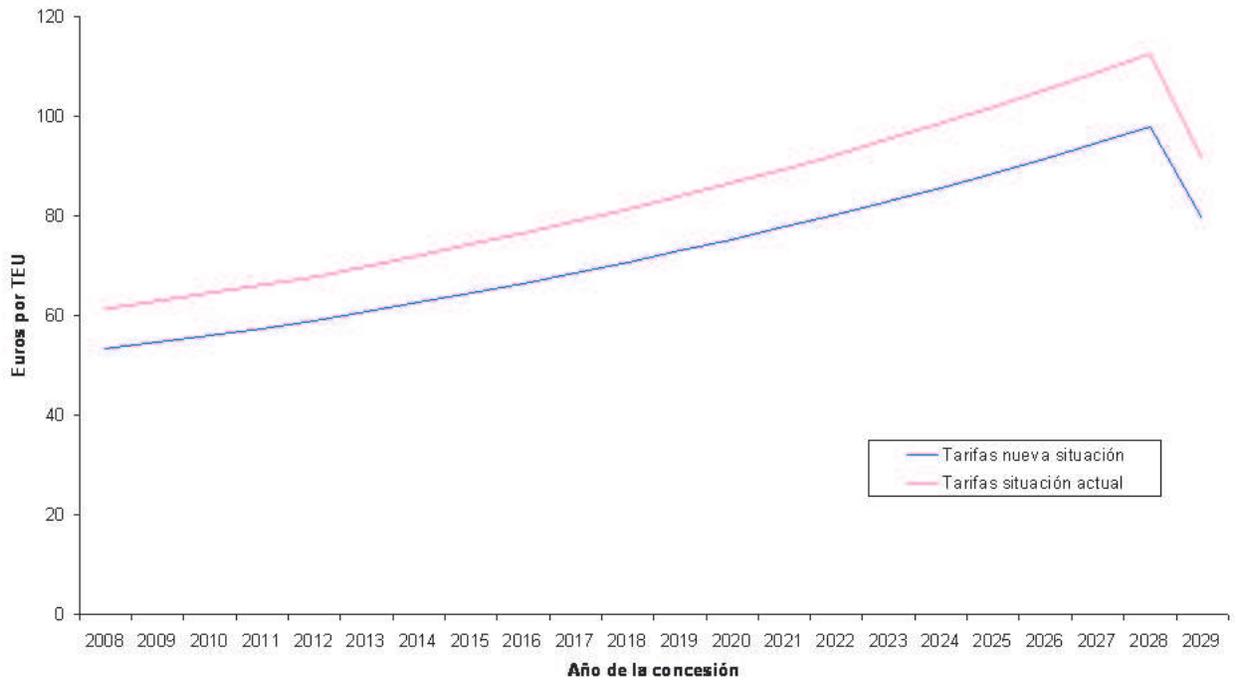


Figura 9.14: Comparativa entre las tarifas de la terminal con la situación actual y con la nueva propuesta de cánones.

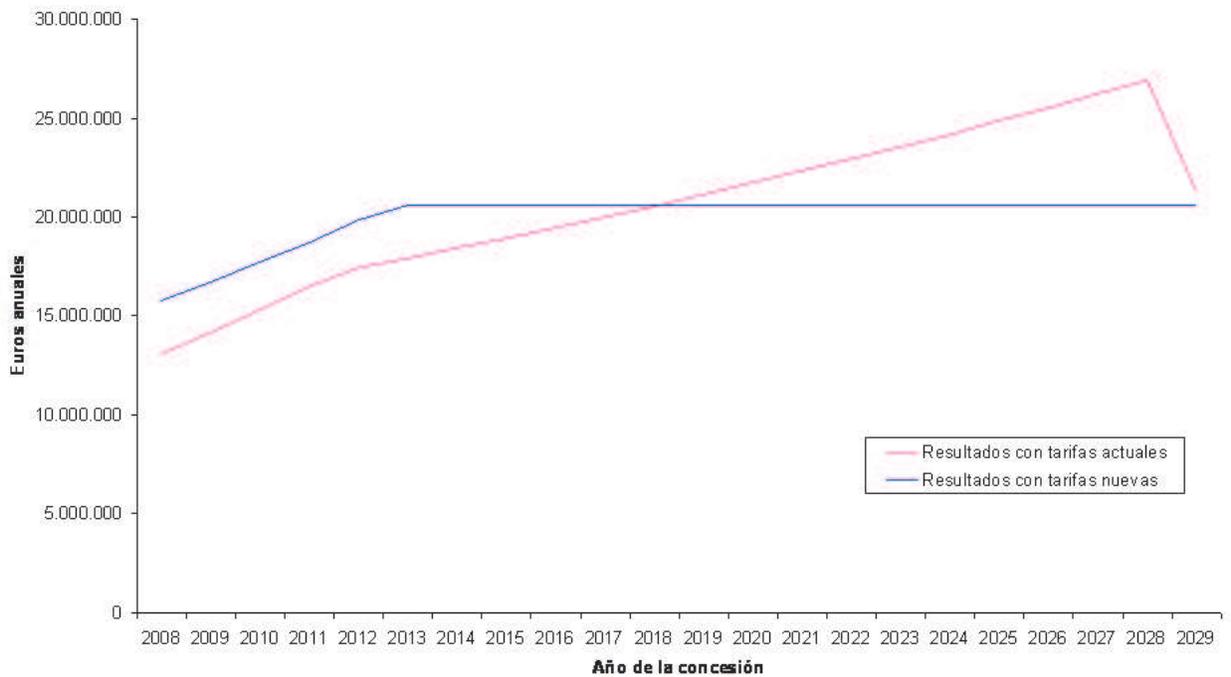


Figura 9.15: Resultados previstos de explotación de la mano de obra portuaria con la situación actual y con la propuesta.

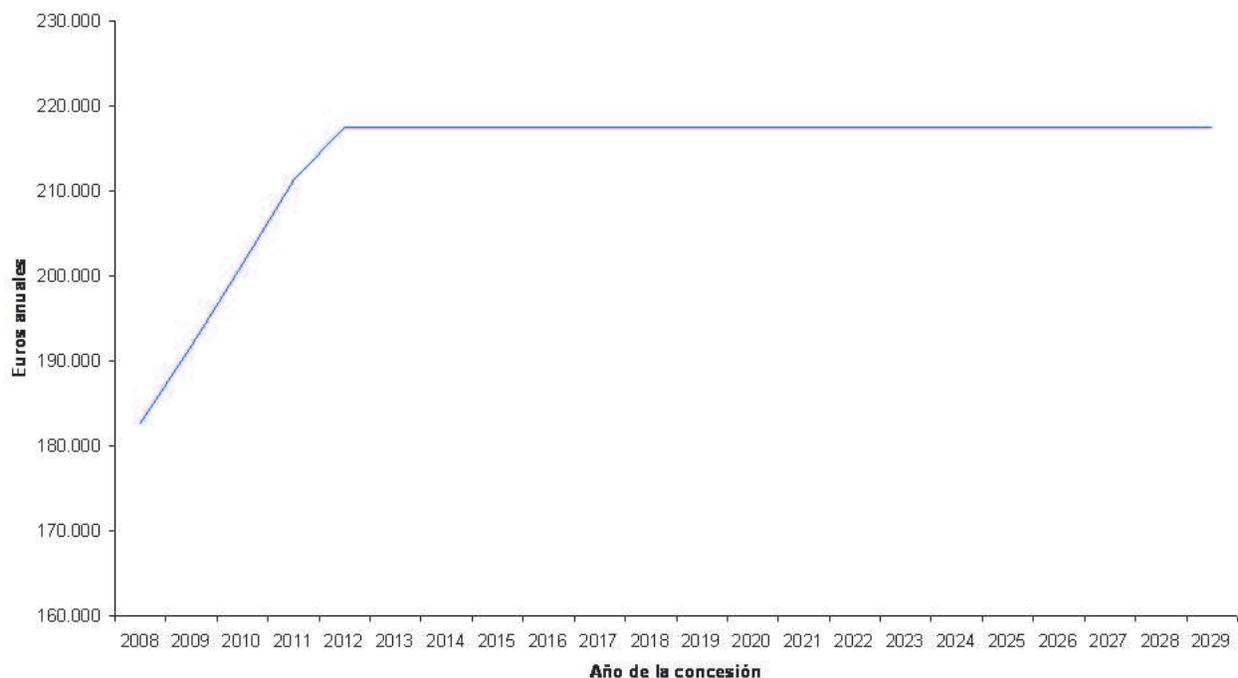


Figura 9.16: Costes incurridos por la SED para mejorar su productividad.

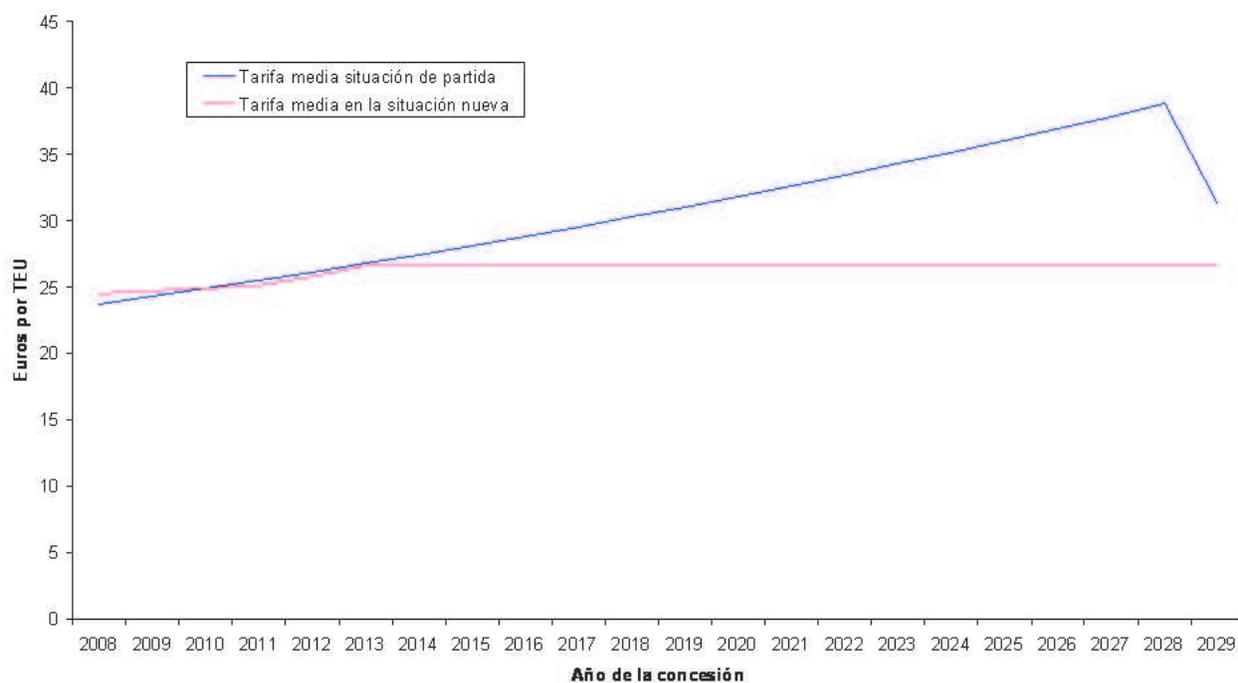


Figura 9.17: Tarifa unitaria de la mano de obra portuaria.

el concesionario; y además hay que añadir el canon de actividad, dependiente del volumen de contenedores movidos y del tipo de contenedores (llenos o vacíos). De este modo el canon anual

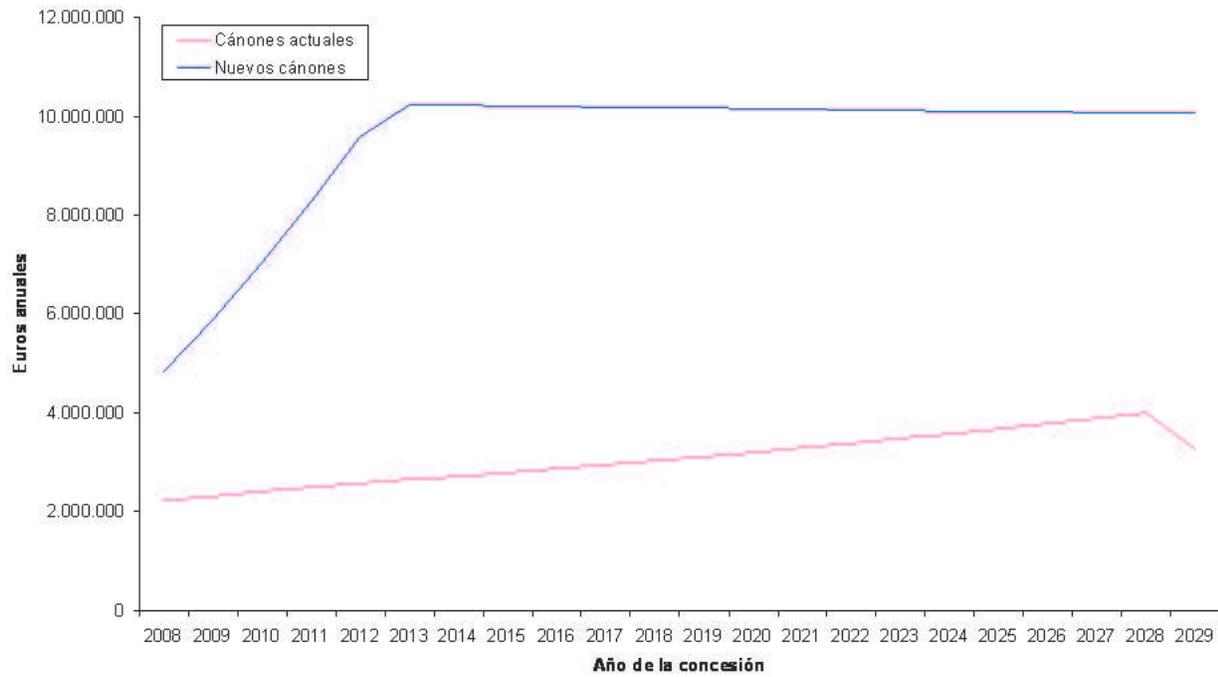


Figura 9.18: Cánones previstos para cada uno de los años de la concesión, tanto los actuales como los propuestos.

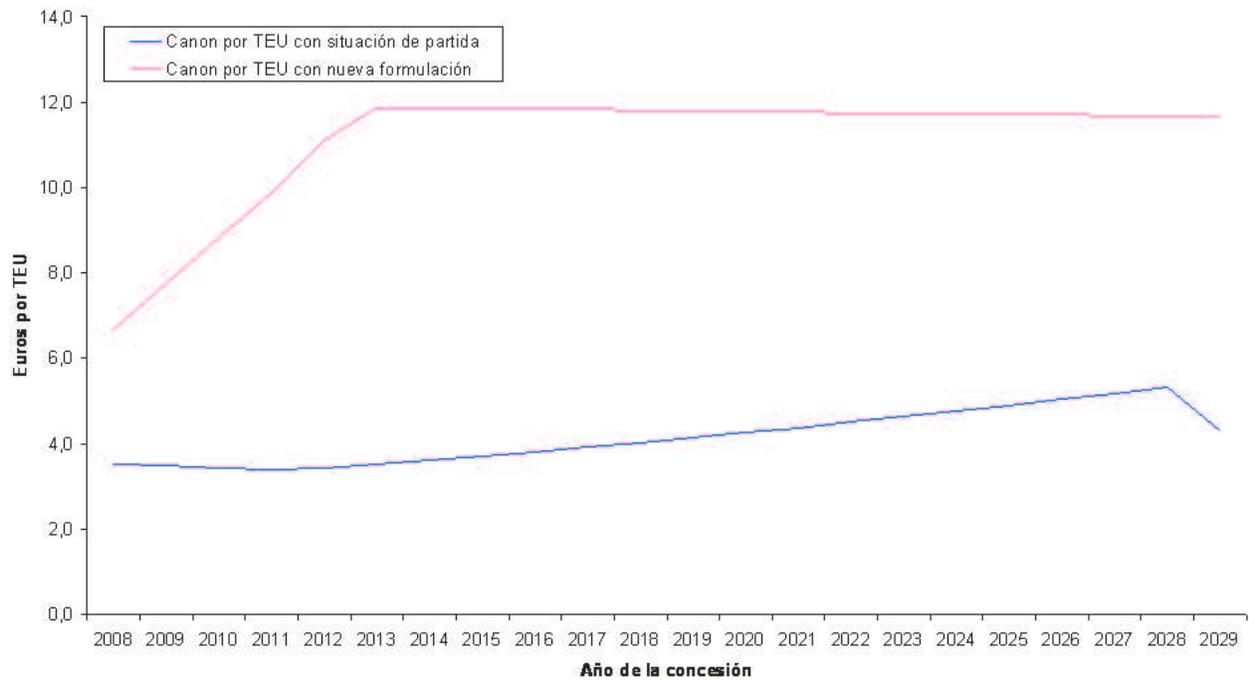


Figura 9.19: Cánones por contenedor (TEU) de cada año de la concesión.

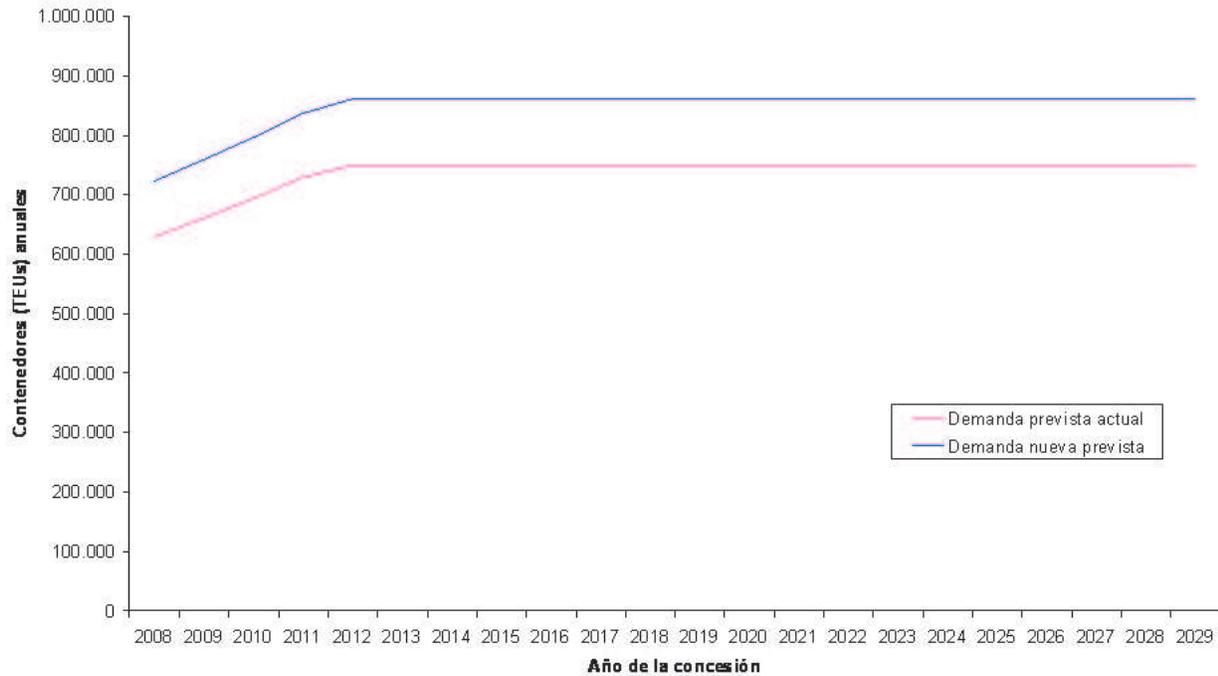


Figura 9.20: Demanda de contenedores prevista durante la concesión.

vendría dado por la siguiente fórmula:

$$C_t = c_0 + c_1 x_t \quad (9.7)$$

donde  $c_0$  sería el canon de ocupación y  $c_1$  el canon unitario por actividad. Para la terminal estudiada, en caso de que el contenedor esté lleno, el valor de este último coeficiente es de 1,6 euros/TEU, mientras que si está vacía la cifra es de 0,4 euros/TEU. En términos absolutos, tal como se muestra en la cuenta de Pérdidas y Ganancias del Apéndice B, los cánones anuales para cada uno de los años de la concesión contando a partir del 2008 (cuando la demanda se sitúa próxima a la previsión a largo plazo) están entre los 2 millones de euros (2008) y los 4 millones de euros (2028); la mayoría de los cuales (entre el 90 y el 70 por ciento del total anual) son en concepto de ocupación del espacio, por lo que la incidencia de un incremento de la demanda sobre los costes de explotación del concesionario es relativamente escasa. Por otro lado, respecto a las tarifas unitarias cobradas por el concesionario de la terminal, el canon por cada contenedor supone alrededor de un 5,5 por ciento de esta tarifa.

La legislación vigente, pues, apuesta por un canon constituido en términos absolutos esencialmente por un canon fijo, que podría ser concebido como el alquiler que el concesionario debe satisfacer a la Autoridad Portuaria por el uso del terreno portuario, esto es, como un coste

más de sus activos. Respecto al canon de actividad, a la práctica éste carece de potencial para ejercer influencia alguna sobre la explotación del concesionario, puesto que nivel cuantitativo representa un porcentaje reducido (del 5,5%) sobre la tarifa unitaria del concesionario. Así, por ejemplo, incrementando en un 30% el canon total anual, ello equivale a un aumento tan solo del 1,5% de la tarifa unitaria de la terminal. En definitiva, los cánones no ejerce de mecanismo incentivador alguno que pueda mejorar ciertos aspectos de la explotación de la terminal.

Respecto a las tarifas por la mano de obra portuaria, la legislación actual (*Ley 48/2003 de régimen económico y de prestación de servicios de los puertos de interés general*) tan solo se limita a fijar unas tarifas máximas, sin indicar formulación alguna. Para el caso de la terminal estudiada, hubo unos acuerdos entre la SED y el concesionario para fijar unas tarifas en función del nivel de productividad de la mano de obra (tabla 9.3). Ahora bien, hay que tener presente que la SED, al ser un servicio que actúa el régimen de monopolio, en las negociaciones para fijar tarifas con el concesionario de la terminal podrá disponer de una situación de superioridad respecto a este segundo de tal suerte que las cantidades pactadas siempre estarán al alza en comparación en una situación de plena competencia del servicio de estiba y desestiba.

<b>Productividad (contenedores por mano de 6 horas subcontratadas)</b>	<b>Tarifa (euro/contenedor)</b>
101	33
111	31
121	29
131	27
141	26
151	25

Tabla 9.3: Acuerdos entre el concesionario de la terminal y la mano de obra portuaria sobre las tarifas cobradas por este segundo según los niveles de productividad alcanzados.

Las tarifas de la mano de obra para este caso concreto en que se pactaron unos niveles de productividad que implicaban una reducción de la tarifa unitaria de este servicio, aunque ello no es obligado por la legislación vigente en el momento de implementarse los acuerdos, sí que suponían un incentivo para incrementar la productividad de la estiba y desestiba; no obstante se partían de unos niveles tarifarios fijados a partir de una posición monopolística de la SED, y no de los propios de la plena competencia. Es precisamente en este último punto donde estriba la diferencia fundamental con la formulación propuesta en la tesis: que además de incentivar a mejorar la productividad lo hace aproximándose a lo deseable, en situación de competencia perfecta.

## 9.5 Análisis de sensibilidad de los principales parámetros del modelo

Tal como se ha apuntado el potencial de los resultados obtenidos de la resolución de los modelos reside esencialmente en el análisis comparativo entre diferentes soluciones del modelo, más que en los valores *per se*.

En este sentido, una parte fundamental del análisis de los resultados alcanzados es cuantificar el grado de influencia de los diversos parámetros del problema, tales como los costes de explotación o la elasticidad demanda-tarifas, tanto en las utilidades de los agentes participantes como en los diversos esfuerzos de los mismos.

Para ello en el presente apartado se analiza la variación de los diferentes equilibrios de Bayes-Nash (soluciones del modelo) surgidos para los diversos valores de los parámetros. A efectos de sistematicidad en la exposición, estos últimos han sido agrupados en las categorías recogidas en la figura 9.21. El análisis se centrará, pues, a estos supuestos.

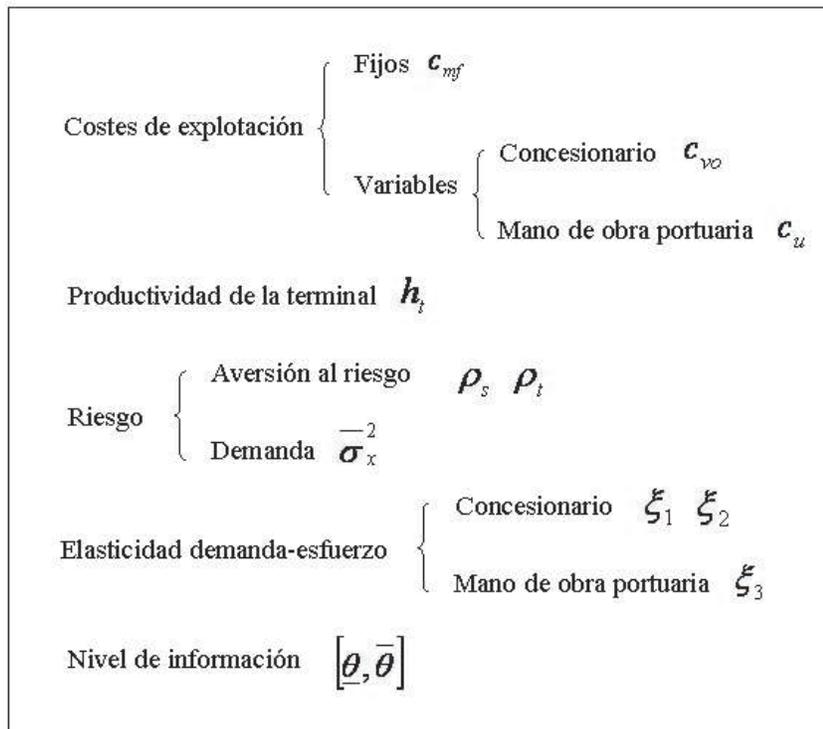


Figura 9.21: Clasificación de las variables y parámetros de los modelos considerados en el análisis de sensibilidad.

A continuación se recogen los resultados de cada una de las simulaciones junto con el análisis de los mismos, dejando para el último apartado el enfoque cuantitativo.

### 9.5.1 Costes fijos

En concordancia con lo expuesto en la presentación del modelo, el valor de esta variable es equivalente al total de las dotaciones anuales a la amortización del inmovilizado material y al fondo de reversión (este fondo tiene como objetivo cubrir las amortizaciones del inmovilizado material pendientes al finalizar el período de la concesión con vistas a no descapitalizar la empresa concesionaria cuando este inmovilizado revierta a la Administración Pública). La cantidad total puede tener tres lecturas:

- En la mayoría de los casos, parte de la inversión inicial (especialmente la relativa a la obra civil) es sufragada por la Autoridad Portuaria; como es el caso que nos ocupa, aunque este porcentaje es muy reducido (alrededor del 10%) respecto al total de la inversión necesaria. Por consiguiente, un mayor valor de los costes fijos puede suponer una cobertura más extensa por parte del operador de la terminal de la inversión inicial, dada una capacidad concreta y fijada de manipulación de la terminal.
- Por contra, suponiendo que el nivel de participación en la inversión inicial del operador de la terminal es invariante, un mayor valor del coste fijo será indicativo de una inversión mayor, por lo que la capacidad de la terminal deberá de acrecentarse (la mercancía manipulada crece ( $x_t$ )) y reducirse el coste medio de explotación.
- Y, por último, es que las variaciones del valor del coste fijo sean resultado de las dos situaciones anteriores.

Para el caso de la terminal analizada, tan solo se ha considerado uno de los escenarios extremos: el de los aumentos del coste fijo son resultado de incrementar la participación del sector privado en la inversión inicial, permaneciendo igual la capacidad de manipulación de contenedores en la terminal. El otro escenario, en el que todas las variaciones de los costes fijos son consecuencia de modificaciones de las dimensiones de la terminal, de hecho, ya será contemplado en el próximo epígrafe, dentro del análisis de las variaciones de los costes de explotación. Con los nuevos valores de  $c_{mf}$  conllevarían una reducción de los costes medios de explotación (por las economías de escala de estas terminales), lo que, a su vez, generaría un cambio en la demanda de contenedores, tal como se verá.

Pues bien, en caso de suponer que el cambio del coste fijos tan solo consecuencia de una modificación de la participación del concesionario en la inversión inicial, puesto que el coste fijo es una constantes en las funciones objetivo de los programas a optimizar, y teniendo en

cuenta que los valores de las utilidades esperadas se han de considerar en términos relativos, sin necesidad de realizar simulaciones numéricas se puede concluir directamente de las expresiones que:

- Los resultados de  $\alpha_1$  y  $\gamma_1$  de los diferentes programas matemáticos son los mismos puesto que  $c_f$  está únicamente restando en las ecuaciones. En cambio,  $\alpha_0$  y  $\gamma_0$  cambian de valor debido a que, al variar la inversión del operador, la rentabilidad mínima exigida por parte de éste se modifica.
- Los esfuerzos óptimos  $b_1^*$ ,  $b_2^*$  y  $b_3^*$  al depender de  $\alpha_1$  y  $\gamma_1$  permanecen constantes en todos los escenarios.
- Las utilidades objetivo del programa, la del concesionario de la terminal y la Autoridad Portuaria, cambian debido a las modificaciones de las utilidades de reserva. Con un incremento del coste fijo, la rentabilidad mínima exigida por el concesionario será mayor; mientras que la Autoridad Portuaria saldrá beneficiada.

En definitiva, variaciones del coste fijo que no alteren la capacidad de la terminal, no incidirían en los esfuerzos de incrementar la productividad del concesionario y la mano de obra portuaria, ni en el esfuerzo por reducir tarifas de los servicios de la terminal. Ahora bien, sí que habrá una incidencia directa en las utilidades de la Autoridad Portuaria y del concesionario de la terminal en el sentido que incrementos en la participación privada implicarán mayores exigencias de la utilidad esperada de reserva del agente.

### 9.5.2 Costes de explotación

Respecto a los costes de explotación variables del concesionario de la terminal ( $c_{v0}$ ), que no incluye las tarifas de la sociedad de estiba y desestiba) y la mano de obra portuaria ( $c_u$ ), los rangos de variación supuestos son los mostrados en la tabla 9.4. No en vano recordar que las unidades de  $c_{v0}$  son en euros anuales, pues representa los costes variables totales del concesionario supuestos por la Autoridad Portuaria; en tanto que  $c_u$  está en términos euros por mano de obra y hora.

En cuanto a la variación de los costes de explotación del concesionario de la terminal supuestos por la Autoridad Portuaria ( $c_{v0}$ ), hay que tener presente que en las formulaciones de los programas es equivalente a la modificación del valor del coste fijo, en el sentido que estos dos factores en las expresiones de la utilidad esperada actúan como constantes. Por consiguiente,

Coste variable ( $c_{v0}$ ), en millones euros/año	Coste mano de obra portuaria ( $c_u$ ), en euros/mano de obra-hora
15	460
22,5	520
30(*)	580(*)
37,5	640
45	700

Tabla 9.4: Costes variables de la terminal y de la mano de obra considerados en el análisis de sensibilidad. (\*)Valores de partida. Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ .

al igual que sucede con los cambios de los valores del coste fijo, para los diferentes valores de  $c_{v0}$  sólo se producirá un cambio en el valor de las utilidades esperadas de los agentes, de  $\alpha_0$  y de  $\gamma_0$ , permaneciendo el resto de resultados iguales, al igual que sucedía en el epígrafe anterior. De hecho, cuando hablamos de  $\alpha_0$  y  $\gamma_0$  nos referimos a utilidad esperada, puesto que estas dos variables vienen directamente definidos por las utilidades de reserva de los agentes.

Todo ello conlleva a que los esfuerzos de los agentes en incrementar productividades y reducir tarifas permanezcan constantes. Es por ello se que ha obviado poner la tabla de resultados de las simulaciones.

En definitiva, los valores del coste de explotación del concesionario supuestos por la Autoridad Portuaria influirán en las utilidades esperadas de los agentes, incluyendo las de reserva, pero no supondrán cambio alguno en los incentivos de los agentes en cambio de productividad y reducción de las tarifas.

Variable	$c_u$ , en euros/mano de obra-hora				
	460	520	580	640	700
$\alpha_1$	10	14	13	11,5	10,5
$\gamma_1$	6	6	6	6	6
$b_1^*$	3.703	3.704	3.698	3.703	3.703
$b_2^*$	3.703	3.704	3.698	3.703	3.703
$b_3^*$	667	658	671	656	651
$UE_c^a$	606.172	568.250	531.083	493.320	455.528
$UE_p$	4.753.718	4.759.109	4.709.278	4.730.987	4.724.896
$\hat{x}$	132.786	132.655	132.786	132.581	132.504

Tabla 9.5: Resultados para variaciones del coste unitario de la mano de obra ( $c_u$ ). Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ , en representación del resto de  $\theta$ .

En lo que atañe a los resultados de las simulaciones en las que hay una variación del coste de la mano de obra portuaria ( $c_u$ ), en la tabla 9.5, se puede inferir que:

- A medida que aumenta el coste unitario de la mano de obra, hay un descenso del valor de la variable  $\alpha_1$ , mientras que la  $\gamma_1$  permanece igual. Y es que tan solo estamos afectando directamente al término de la tarifa de la mano de obra portuaria.

Al ir incrementando el coste la tendencia será un menor valor de  $\alpha_1$  con vistas a que la SED no traslade directamente todo este coste de más al concesionario de la terminal, quien, a su vez, lo añadiría a sus tarifas en abuso de su situación de poder de mercado; de modo que la mano de obra portuaria se ve "obligada" a compensar parte de este coste adicional en incrementar la productividad o, como mínimo, mantenerla a niveles parecidos, opción ésta que es la que finalmente optará a tenor de los valores del esfuerzo  $b_3$ .

- Respecto a los esfuerzos relativos al concesionario,  $b_1$  y  $b_2$ , permanecen prácticamente invariantes, puesto que este posible sobre coste en la mano de obra portuaria que le supondría queda en gran parte "compensado" por la reducción del coeficiente de las tarifas, la variable  $\alpha_1$ .
- En cuanto al esfuerzo de la mano de obra portuaria en incrementar su productividad ( $b_3$ ), hay una tendencia al descenso con el incremento de los costes unitarios, aunque las variaciones son tenues. Y es que a mayor coste de explotación, el agente no es propicio a incrementarlos aún más con esfuerzos adicionales, a pesar de que sean para mejorar la productividad.
- Como consecuencia de lo indicado en este último punto, hay un descenso en la demanda de contenedores de la terminal, aunque reducciones porcentuales bajas, despreciables en la práctica.
- Por todo ello, tanto la utilidad esperada de la Autoridad Portuaria como la del concesionario de la terminal descenderán con el aumento de los costes unitarios de la mano de obra, aunque con un menor porcentaje de variación que el producido en el coste; es decir, los incrementos del coste de la mano de obra portuaria no se trasladan directamente al concesionario, sino que gran parte de ellos son absorbidos por la SED.

### 9.5.3 Productividad de la terminal

Uno de los aspectos esenciales de la explotación de las terminales es la productividad de la misma (capítulo 3), la cual viene representada por la variable  $h_t$  (en teus por mano de obra portuaria y hora) del modelo. En la tabla 9.6 se adjunta el espectro de valores adoptados en el análisis de sensibilidad, mientras que en la tabla 9.7 se muestran los resultados del modelo.

$h_t$ , en TEU/mano de obra-hora
10
15
20(*)
30
40

Tabla 9.6: Diferentes valores de la productividad de la terminal considerados en el análisis de sensibilidad. (\*) Escenario de partida. Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0, 8$ .

Variable	$h_t$ , en TEU/mano de obra-hora				
	10	15	20	30	40
$\alpha_1$	6,5	9,5	13	19	25
$\gamma_1$	6	6	6	6	6
$b_1^*$	3.695	3.701	3.698	3.703	3.705
$b_2^*$	3.695	3.701	3.698	3.703	3.705
$b_3^*$	641	651	671	671	671
$UE_c^a$	166.034	409.712	531.083	651.976	712.032
$UE_p$	4.617.020	4.703.699	4.709.278	4.765.038	4.792.916
$\hat{x}$	132.214	132.478	132.786	132.892	132.853

Tabla 9.7: Resultados para los diferentes valores de la productividad de la terminal. Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0, 8$ , en representación del resto de  $\theta$ .

De los resultados del modelo que pueden inferir las siguientes conclusiones:

- El valor de  $\gamma_1$  permanece igual, con 6, mientras que el de  $\alpha_1$  aumenta con el mismo sentido que lo hace  $h_t$ , puesto que esta productividad afecta principalmente al coste de explotación de la sociedad de estiba y desestiba.
- El aumento de la productividad de la mano de obra portuaria se traduce en una reducción de los costes de explotación, lo que supone incrementos de utilidad, tanto para la sociedad de estiba y desestiba como para el operador de la terminal.
- Estos aumentos de las utilidades vienen potenciadas por otro fenómeno: al mejorar la productividad, los esfuerzos de los agentes aumentan, con lo que hay una variación positiva de la demanda de contenedores.
- Hay un incremento, asimismo, de las utilidades de los agentes por la desinformación por parte de la Autoridad Portuaria de los costes de explotación de la terminal. Estas utilidades crecen con el aumento de las utilidades totales de los respectivos agentes.
- Respecto a los esfuerzos de los agentes, al mejorar los costes de explotación, hay una mejora de todos ellos.
- Esto último dará lugar a un incremento del tráfico de contenedores por la terminal.
- Teniendo en cuenta las expresiones de  $\alpha_0$  y  $\gamma_0$  en función del resto de las variables de la modelización obtenidas en el capítulo 8, los valores de estas primeras descenderán a medida que aumenta  $h_t$ .

#### 9.5.4 Aversión al riesgo

La intensidad de la aversión al riesgo de cada uno de los agentes viene medida a través de los parámetros  $\rho_s$  (mano de obra portuaria) y  $\rho_c$  (concesionario de la terminal), cuyos valores adoptados en la modelización han sido 0,05 en ambas variables. A efectos de analizar la incidencia de la variación del valor de estos conceptos en la solución de los modelos se han considerado el abanico de valores mostrados en la tabla 9.8, situados entre 0 (neutro al riesgo) y 1.

Resolviendo el programa matemático para los diferentes valores de  $\rho_t$  se han obtenido las utilidades, esfuerzos y soluciones recogidos en la tabla 9.9, a partir de la cual se desprenden las siguientes consideraciones:

$\rho_c$	$\rho_s$
0,05	0
0,5	0,05
0,75	0,6
1,0	0,75
-	1,0

Tabla 9.8: Valores adoptados para evaluar la aversión al riesgo de los agentes. Para el escenario de partida,  $\rho_c = \rho_s = 0,05$ . Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ , aunque tiene valores diferentes según  $\theta$ .

Variable	$\rho_t$			
	0,05	0,5	0,75	1
$\alpha_1$	13	1,1	3,6	3,1
$\gamma_1$	6	0	0	0
$b_1^*$	3.698	1.725	1.672	1.683
$b_2^*$	3.698	1.725	1.672	1.683
$b_3^*$	671	27	242	210
$UE_c^a$	531.083	-34.800.364	-55.162.918	-76.381.614
$UE_p$	4.709.278	-13.767.287	-21.047.559	-28.790.474
$\hat{x}$	132.786	79.503	87.630	86.901

Tabla 9.9: Resultados de las simulaciones con diferentes valores de  $\rho_c$ . Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ .

- A medida que el nivel de aversión al riesgo del concesionario crece ( $\rho_c$ ), hay una reducción de la parte variable del cánon ( $\gamma_1$ ) y aumenta la fija ( $\gamma_0$ )-para esto se ha tenido en cuenta la expresión de  $\gamma_0$  en función del resto de las variables, que aparece en el capítulo 8. Aparentemente debería de ser todo lo contrario, pues mayor parte variable los cánones están más vinculados a la demanda real, compartiendo la Autoridad Portuaria y el concesionario más riesgo. Ahora bien, hay que tener presente que el modelo del principal y del agente se ha formulado de tal modo que la parte fija del cánon sea tal que asegure al concesionario una utilidad esperada mínima (restricción de participación). Se trata, pues, de una parte fija hecha a medida de las expectativas más básicas del operador de la terminal. Así, a mayor aversión al riesgo, los cánones tendrán tendencia a estar predeterminados (independientes de la demanda de contenedores) y a ser de tal magnitud que permitan una rentabilidad mínima al inversor privado. Si  $\gamma_0$  no dependiese de esta utilidad de participación, entonces necesariamente una mayor aversión al riesgo debería implicar una parte variable de cánon mayor ( $\gamma_1$ ).
- Con el incremento de la aversión al riesgo, puesto que hay un descenso de  $\gamma_1$ , los esfuerzos del operador por reducir tarifas y por mejorar productividad descenderá.
- En cuanto a las tarifas de la mano de obra portuaria, un aumento de  $\rho_c$  repercute en una reducción de esta tarifa por contenedor ( $\alpha_1$ ) e incrementa la parte fija ( $\alpha_0$ ). Esta incongruencia aparente tiene su razón de ser por el mismo argumento esgrimido en el primero de estos puntos: puesto que  $\alpha_0$  depende de la utilidad mínima de participación del agente, los pagos por parte del concesionario se asegurarán mínimos en la medida que la mayor parte de las tarifas residen en  $\alpha_0$  en lugar de  $\alpha_1$ .
- Del punto anterior se desprende asimismo que cualquier alteración en la aversión al riesgo de uno de los agentes influirá en los incentivos del otro agente. Así, hay un descenso del esfuerzo de la mano de obra portuaria para mejorar productividades al compás que asciende la aversión al riesgo del concesionario.
- Debido a la reducción de los esfuerzos de los agentes con el descenso de  $\alpha_1$ , la demanda media será menor.
- Por último, como consecuencia de todo ello, las utilidades de los agentes descienden, tanto las totales como a las surgidas por asimetría de la información, con el ascenso de la aversión al riesgo del concesionario.

Por lo que a la aversión al riesgo de la mano de obra portuaria se refiere ( $\rho_s$ ), los resultados

Variable	$\rho_s$				
	0	0,05	0,6	0,75	1
$\alpha_1$	18,5	13	4,5	4,0	3,5
$\gamma_1$	6	6	5,5	5	5
$b_1^*$	3.617	3.698	3.664	3.515	3.522
$b_2^*$	3.617	3.698	3.664	3.515	3.522
$b_3^*$	866	671	300	272	242
$UE_c^a$	936.419	531.083	165.592	645.581	517.925
$UE_p$	4.091.988	4.709.278	5.170.673	5.111.988	5.090.526
$\hat{x}$	134.763	132.786	124.571	121.571	120.836

Tabla 9.10: Resultados para diferentes valores de la aversión al riesgo de la mano de obra portuaria. Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ , que se considera representativo del resto de  $\theta$ .

obtenidos de las simulaciones realizadas son los indicados en la tabla 9.10, de donde se desprenden los siguientes comentarios:

- Al igual que sucede con  $\rho_c$ , a medida que aumenta la aversión al riesgo  $\rho_s$  la parte fija de la tarifa ( $\alpha_0$ ) crece -deducido a partir de la expresión del capítulo 8 que relaciona esta variable con el resto- y desciende la variable ( $\alpha_1$ ). La razón fundamental de ello es que esta parte fija es tal que asegura la utilidad de reserva de la SED, haciendo extensibles los comentarios realizados para  $\rho_c$  al respecto.
- Asimismo, se produce un descenso del cánon variable del concesionario de la terminal ( $\gamma_1$ ) e incrementándose el constante ( $\gamma_0$ ). Es como si parte de la aversión al riesgo de la SED se transfiriese al operador de la terminal . Y es que es menester recordar que la mano de obra portuaria es un factor productivo, y muy importante, de las operaciones que tienen lugar en una terminal. El cambio en la aversión al riesgo, alterará las preferencias de la SED con lo que necesariamente deberá de afectar la utilidad del operador de la terminal.
- Como consecuencia directa de estos dos puntos, hay un descenso de los esfuerzos de los agentes por reducir tarifas e incrementar productividades.
- Esto último conlleva a una reducción de la demanda media de la terminal.
- Adicionalmente, por lo que a la utilidad esperada del concesionario se refiere, una mayor aversión al riesgo de la mano de obra portuaria implica una reducción de la utilidad esperada del concesionario de la terminal, pues los esfuerzos por incrementar la productividad de la SED descienden.

Lo mismo sucede con la utilidad esperada obtenida por la SED como consecuencia de la asimetría de la información (costes de operación) entre el principal y el agente. Analizando la formulación de esta utilidad (capítulo 8) se puede comprobar como el valor de ésta es directamente proporcional a  $\alpha_1 \hat{x}$ , variables estas cuyos valores escienden con el incremento de  $\rho_s$ .

- En cuanto a la utilidad esperada de la Autoridad Portuaria, se produce un incremento de su valor a medida que  $\rho_s$  asciende. Y es que a a mayor  $\rho_s$ , el valor de  $\alpha_1$  desciende, incidiendo directamente en una reducción de los costes de explotación variables del concesionario de la terminal, lo que, a su vez, posibilitará que éste implemente aumentos de la productividad y reducciones de las tarifas, todo lo cual supondrá un incremento de la demanda de contenedores.

### 9.5.5 Riesgo de la demanda

Una de las variables fundamentales que intervienen en la toma de decisiones de los agentes implicados es el nivel de riesgo de la demanda, medida como la varianza de las previsiones de demanda de contenedores ( $\hat{\sigma}_x^2$ ). En la tabla 9.11 se adjuntan los valores de esta variable adoptados en las simulacones así como los resultados de esfuerzos, cánones, tarifas y utilidades obtenidos.

Variable	$\hat{\sigma}_x^2$ , en $TEU^2$				
	5.000	7.500	10.000	12.000	15.000
$\alpha_1$	23	16	13	10,5	9
$\gamma_1$	14	8	6	4	3
$b_1^*$	5.757	4.251	3.698	3.091	2.769
$b_2^*$	5.757	4.251	3.698	3.091	2.769
$b_3^*$	1.005	779	671	574	512
$UE_c^a$	-9.130.987	-851.776	531.083	1.514.112	1.231.960
$UE_p$	14.607.453	7.593.867	4.709.278	3.116.323	2.015.025
$\hat{x}$	165.123	142.493	132.786	121.662	115.102

Tabla 9.11: Resultados para diferentes niveles de variación de las previsiones de la demanda de contenedores de la terminal. Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ , pero que de hecho tiene un valor diferente según  $\theta$ .

En virtud de estos resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones sobre los efectos de un aumento del riesgo de la demanda sobre el resto de las variables del modelo:

- Respecto a los cánones y tarifas, puesto que aumenta el riesgo, la utilidad esperada de reserva de ambos agentes ascienden, lo que conlleva a un aumento de la parte fija de las

tarifas de la mano de obra portuaria ( $\alpha_0$ ) y cánones ( $\gamma_0$ ). Al propio tiempo hay un descenso de las partes dependientes de la demanda ( $\alpha_1$  y  $\gamma_1$ ).

Al igual que sucedía con la aversión al riesgo, a medida que el riesgo es mayor y debido a esta primera característica de los agentes, estos últimos preferirán el pago de cánones o el cobro de tarifas según corresponda tales que les permita asegurarse las utilidades esperadas de participación.

- Los esfuerzos de ambos agentes, por su parte, descienden con el riesgo, con lo que la demanda esperada (media) será menor.
- Si hay un descenso de la demanda esperada y la parte fija de los cánones ( $\gamma_0$ ) asciende en detrimento de la variable ( $\gamma_1$ ), necesariamente la utilidad esperada de la Autoridad Portuaria se resentirá.
- Por contra, la utilidad esperada del concesionario asciende con el aumento de  $\alpha_1 \hat{x}$ . Y ello en base a lo siguiente: con el incremento del riesgo de la demanda tiene lugar un descenso de los costes de los esfuerzos ( $b_1^*$  y  $b_2^*$ ), los cánones y las tarifas de la mano de obra portuaria tales que compensan las pérdidas de ingresos del concesionario debido a la reducción de los contenedores. Ahora bien, puede suceder que en la medida que los niveles de demanda de contenedores estén bajos esta reducción de costes no sea suficiente para compensar la pérdida de ingresos. Esto último podría explicar el descenso que se produce de esta utilidad al pasar  $\hat{\sigma}_x^2$  de 12.000 a 15.000.
- Finalmente, por lo que a las utilidades esperadas por asimetría en la información ( $UE_c^{a*}$  y  $UE_p^*$ ) atañe, hay un descenso de sus valores cuando la desviación crece, puesto que estas utilidades son decrecientes con  $\hat{\sigma}_x^2$  (capítulo 8).

### 9.5.6 Elasticidad demanda-esfuerzos del concesionario de la terminal

Uno de las variables fundamentales que influyen en la determinación del nivel de esfuerzos de los agentes y en las utilidades es la elasticidad de estos esfuerzos respecto a la demanda de tráfico de contenedores en la terminal. Para ello, en la tabla 9.12 se muestran los valores de las elasticidades adoptadas para la elasticidad demanda-tarifa de los servicios, mientras que en la tabla 9.13 hay lo mismo pero relativo a la elasticidad demanda-productividad de la terminal, incluyendo los resultados obtenidos en cada uno de los casos.

Como elementos comunes a las dos simulaciones realizadas se puede apreciar lo siguiente. Con el aumento de la elasticidad que afecta a un esfuerzo determinado, también este último se

Variable	$\xi_1$ , en tanto por uno			
	0,25	0,5	0,6	0,9
$\alpha_1$	11,5	13	20	200
$\gamma_1$	4	6	7	10
$b_1^*$	657	3.698	8.027	56.293
$b_2^*$	3.076	3.698	3.903	2.058
$b_3^*$	614	671	912	4.366
$UE_c^a$	707.107	531.083	-3.016.969	-73.381.292
$UE_p$	3.809.584	4.709.278	0	0
$\hat{x}$	78.926	132.786	211.979	964.038

Tabla 9.12: Resultados para diversas elasticidades demanda contenedores-esfuerzo en reducción de tarifas ( $b_1$ ). Para el escenario de partida  $\xi_1 = 0,5$ . Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ .

Variable	$\xi_2$ , en tanto por uno			
	0,125	0,25	0,5	0,6
$\alpha_1$	9,5	9,5	13	30
$\gamma_1$	0	0	6	15
$b_1^*$	1.542	1.542	3.698	5.923
$b_2^*$	169	363	3.698	12.547
$b_3^*$	537	537	671	1.209
$UE_c^a$	1.487.097	1.717.168	531.083	-39.407.586
$UE_p$	0	0	4.709.278	149.386.927
$\hat{x}$	34.302	41.966	132.786	391.164

Tabla 9.13: Resultados para diferentes valores de la elasticidad demanda contenedores-esfuerzo en productividad de la terminal ( $b_2$ ). Para la situación de partida se tiene que  $\xi_2 = 0,5$ . Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ , en representación del resto de  $\theta$ .

acrecentará, puesto que con un mayor valor de la elasticidad conlleva los esfuerzos adicionales son más elevados. Ahora bien, al mismo tiempo, se produce un aumento del resto de los esfuerzos, a pesar que sus elasticidades permanecen invariantes. Tal como se ha esgrimido en el capítulo 6, las dos actividades las cuales el principal quiere que el agente (concesionario de la terminal) dedique más esfuerzo son la productividad y la reducción de tarifas; actividades éstas que son complementarias, puesto que a medida que el agente dedica un mayor esfuerzo en una de ellas el coste de la otra desciende. Pues bien, según Holmstrom y Milgrom (1991), cuando las actividades son complementarias es suficiente que el principal dedique sus esfuerzos a incentivar al agente en una de las tareas, pues ello será suficiente para que este último también aumente sus esfuerzos en la otra actividad. Por consiguiente, a medida que el concesionario de la terminal esté más incentivado en reducir tarifas de la terminal ( $b_1^*$ ), implicará que también lo esté por incrementar productividades ( $b_2^*$ ).

Adicionalmente, puesto que la mano de obra portuaria forma parte de los factores productivos de la terminal, igualmente se produce una relación de complementariedad entre  $b_3^*$  y el resto de los esfuerzos, aunque no con la misma intensidad que entre  $b_1^*$  y  $b_2^*$ , puesto que se trata de agentes diferentes. Ello se aprecia en los resultados de la simulación en que, si bien hay un aumento de  $b_3^*$  a medida que los valores de  $\xi_1$ , por un lado, y  $\xi_2$ , por otro, son mayores, no lo hace con la misma intensidad que  $b_1^*$  y  $b_2^*$ .

Por lo que al resto de los resultados de ambas simulaciones concierne, se puede indicar lo siguiente:

- Puesto que hay un incremento de todos los esfuerzos, se producirá un aumento de la demanda de contenedores en la terminal.
- Debido a esto primero, la parte variable tanto del cánon ( $\gamma_1$ ) como la de la tarifa de la mano de obra ( $\alpha_1$ ) serán mayores.
- Motivado por los incrementos tanto de  $\gamma_1$  como de los tráficos de contenedores, los ingresos de la Autoridad Portuaria en concepto de cánones serán mayores, esto es, se verá favorecida su utilidad esperada.
- Ahora bien, puesto que los costes aumentan de un modo cuadrático con los esfuerzos y los ingresos lo hacen de un modo lineal con los contenedores, conforme los esfuerzos crezcan se producirá un descenso de la utilidad esperada del concesionario de la terminal.
- No obstante, a mayores niveles de esfuerzo y actividad, las rentas obtenidas de la asimetría de la información tendrán la misma tendencia, tanto las derivadas del desconocimiento

que tiene la Autoridad Portuaria de la explotación de la terminal como las relativas a la desinformación por parte del concesionario de los costes incurridos por la mano de obra portuaria.

### 9.5.7 Elasticidad demanda-esfuerzos de la mano de obra portuaria

Por lo que al análisis de la influencia de la elasticidad demanda-productividad de la mano de obra portuaria se refiere, los resultados cualitativos están en sintonía con los obtenidos en el epígrafe anterior, tal como puede apreciarse en la tabla 9.14, donde se recogen los resultados de los diferentes problemas definidos cada uno de ellos por un valor concreto de  $\xi_3$ . En efecto:

Variable	$\xi_3$ , en tanto por uno		
	0,25	0,5	0,75
$\alpha_1$	5,5	13	38
$\gamma_1$	5	6	21
$b_1^*$	3.493	3.698	7.225
$b_2^*$	3.493	3.698	7.225
$b_3^*$	103	671	8.404
$UE_c^a$	-429.775	531.083	35.008
$UE_p$	3.520.024	4.709.278	225.582.254
$\hat{x}$	109.250	132.786	943.024

Tabla 9.14: Resultados para diversas elasticidades demanda contenedores-esfuerzo en productividad de la mano de obra ( $b_3$ ). Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0, 8$ , en representación del resto de  $\theta$ .

- A medida que el valor de la elasticidad es mayor, los esfuerzos adicionales  $b_3^*$  generarán unos incrementos del tráfico de contenedores más importantes, por lo que parece justificada la relación positiva que se observa entre estos dos variables.
- Asimismo, puesto que las actividades relativas al concesionario de la terminal para reducir tarifas por los servicios e incrementar productividades de la misma son complementarias con el aumento de la productividad de la mano de obra, por lo indicado en el apartado anterior, un incremento de  $b_3^*$  irá parejo a un aumento igualmente de  $b_1^*$  y  $b_2^*$ .
- Debido a esto último, se generará un incremento de la demanda de contenedores en la terminal.
- Respecto a la parte variable del cánon ( $\gamma_1$ ) y a la tarifa de la mano de obra portuaria ( $\alpha_1$ ), los mayores valores de la demanda harán que los resultados del modelo sean más altos.

- Estos dos últimos puntos dan lugar que los ingresos por cánones percibidos por el principal (Autoridad Portuaria) sean mayores a medida que el valor de la elasticidad  $\xi_3$  es más grande, a saber, la utilidad esperada es mayor.
- Por otro lado, la utilidad esperada del concesionario de la terminal es creciente con  $\xi_3$ , contrario a lo que sucedía con los incrementos tanto de  $\xi_1$  como de  $\xi_2$ . Y es que, el incremento sustancial de la esfuerzos se produce en el relativo a la mano de obra, por lo que el coste incurrido por ello no repercutirá en la cuenta de explotación del concesionario. En este caso, a diferencia de los analizados en el epígrafe anterior, al no estar los costes generados por el incremento de la demanda de contenedores soportados por el concesionario, se da la circunstancia que para éste los aumentos de costes derivados por los mayores esfuerzos en  $b_1^*$  y  $b_2^*$  son inferiores a los aumentos de los ingresos por las variaciones positivas de los tráficos de contenedores.

No en vano indicar que para  $\xi_3 = 0,25$  no se sigue este pauta para todos los esfuerzos. Dado el orden de magnitud de esta desviación respecto a lo esperable, puede ser debido algún problema en la resolución numérica del problema.

- Adicionalmente, en cuanto a las rentas obtenidas por la asimetría de la información, al ser la actividad de ambos agentes mayor, estas rentas igualmente crecerán.

### 9.5.8 Nivel de información

Uno de los aspectos más relevantes del empleo de la teoría del principal y del agente en la modelización de las concesiones de terminales de contenedores es precisamente la posibilidad de cuantificar la influencia de la información privada de los agentes (o la no disponible por tanto la Autoridad Portuaria sobre la explotación de la terminal como el concesionario sobre los costes de la mano de obra portuaria).

Al igual que para el resto de las variables del problema, se ha resuelto el modelo para diferentes intervalos de  $\theta$ , cuyos extremos inferiores se sitúan entre 0,4 y 0,9 y extremo superior siempre es 1. Para cada uno de estos casos, resolviendo el problema mediante en enfoque de primer orden, se han obtenido los resultados de la tabla 9.15.

Como resultado principal indicar que a medida que el nivel de información por parte de la Autoridad Portuaria y del concesionario de la terminal aumenta (o sea, longitud del intervalo de  $\theta$  menor), se producirá un descenso de las rentas de información privadas y el principal podrá definir los mecanismos de incentivos de un modo más adecuado a la realidad de los agentes.

Variable	$\theta$ , adimensional				
	0,4	0,5	0,6	0,8(*)	0,9
$\alpha_1$	7,5	9,5	10,5	13	13,5
$\gamma_1$	3	5	5,5	6	6
$b_1^*$	2.794	3.435	3.578	3.698	3.691
$b_2^*$	2.794	3.435	3.578	3.698	3.691
$b_3^*$	446	533	574	671	690
$UE_c^a$	3.589.022	1.508.619	919.136	531.083	650.764
$UE_p$	3.242.337	3.602.597	4.238.350	4.709.278	5.274.391
$\hat{x}$	114.161	126.290	129.258	132.786	133.000

Tabla 9.15: Resultados para diferentes incertidumbres del principal respecto a la explotación de la terminal. Los valores de  $b_i^*$  ( $i=1,2,3$ ) son para  $\theta = 0,8$ , que se considera representativo del resto de  $\theta$ . (\*) Escenario base.

Más concretamente, tal como puede apreciarse en las simulaciones (tabla 9.15), a medida que la longitud del intervalo en que se sitúa  $\theta$  descende se produce:

- Respecto al concesionario de la terminal, un incremento de la parte variable del cánon ( $\gamma_1$ ) y de sus esfuerzos ( $b_1^*$  y  $b_2^*$ ), lo que conllevará que la demanda de la terminal sea creciente. Y es que en la medida que el principal conoce más de los costes y operativa de la terminal, éste podrá definir los cánones de modo que la renta por información privada del concesionario sea menor.

Ahora bien, su utilidad esperada tiene un doble comportamiento: primero descende, con consecuencia básicamente de la reducción de la renta por la información privada; para luego aumentar ligeramente. Este punto de inflexión podría venir del hecho que, si bien el concesionario pierde utilidad por el lado de la Autoridad Portuaria, igualmente al mismo tiempo tiene unas ganancias derivadas de que las tarifas de la SED se ajustan más a la realidad, esto es, la mano de obra portuaria tiene menos renta por información privada.

- En cuanto a la mano de obra portuaria, al igual que en el otro agente, hay un aumento de la parte variable de la tarifa por sus servicios ( $\alpha_1$ ). El esfuerzo  $b_3^*$ , por su parte, asciende, ayudando aún más al aumento de la demanda de contenedores surgido por los esfuerzos del concesionario.
- Y en lo relativo a la Autoridad Portuaria, al aumentar el valor de  $\gamma_1$  y el tráfico de contenedores, hay un incremento de su utilidad esperada.

Se trata, pues, de resultados bastantes acordes con lo expuesto en los capítulos 6 y 7, a saber: en la medida que la información disponible por la Autoridad Portuaria respecto a la

operativa y costes del concesionario de la terminal sea mayor, este primero podrá formular unos cánones más eficientes a sus objetivos, permitiendo la reducción de la renta por la información oculta que obtiene el agente. Lo mismo puede indicarse respecto a las tarifas y a los costes de la mano de obra poruaria.

### 9.5.9 Determinación del nivel de sensibilidad

Los anteriores epígrafes del apartado de sensibilidad han consistido en la realización de un análisis cualitativo de los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones. Este subapartado está focalizado en el análisis de los resultados numéricos, con vistas a poder establecer para cada una de las variables básicas (esfuerzos, utilidades esperadas, etc., que de ahora en adelante llamaremos variables exógenas) cuáles son los parámetros (variables endógenas) cuyas variaciones suponen cambios más importantes para estas primeras.

Para ello, para cada una de las variables analizadas se ha obtenido como indicador de su variabilidad respecto a un determinado parámetro la elasticidad arco, esto es:

$$\varepsilon_{x_i}^{q_j} = \frac{\Delta q_j}{\Delta x_i} \frac{x_i^0}{q_j^0} \quad (9.8)$$

donde  $q_j$  sería la variable analizada (esfuerzos, utilidades esperadas, etc.) y  $x_i$  el parámetro (costes de explotación, elasticidades, etc.) cuyo valor se hace variar. El superíndice 0 hace referencia a la situación de partida, es decir, con los valores de los diferentes parámetros supuestos en el escenario base.

A partir de ello se ha realizado un análisis cualitativo centrado en cada una de las variables exógenas. Se ha tenido en cuenta, por un lado, una valoración conjunta del valor de las elasticidades y, por otro, se han identificado las variables endógenas cuyas elasticidades dan valores superiores a la unidad. Respecto a esto último, a medida que el valor de la elasticidad,  $\varepsilon_{x_i}^{q_j}$ , se sitúa más por encima de la unidad, es indicativo de cuán mayor es la variación en tanto por uno de la variable  $q_j$  respecto a la de  $x_i$ , partiendo ya que la de esta segunda es superior a la de la primera.

A efectos prácticos, las variables en que  $\varepsilon_{x_i}^{q_j}$  sean superiores a 1 darán una idea a la Autoridad Portuaria sobre las variables endógenas cuyos valores deben de "controlarse" más con miras a no tener unos resultados de las variables exógenas que no sean perjudiciales.

En las figuras 9.22-9.29 hay representados las elasticidades arco de cada variable respecto a los parámetros tenidos en cuenta en el análisis de sensibilidad. Tan solo se han representado los

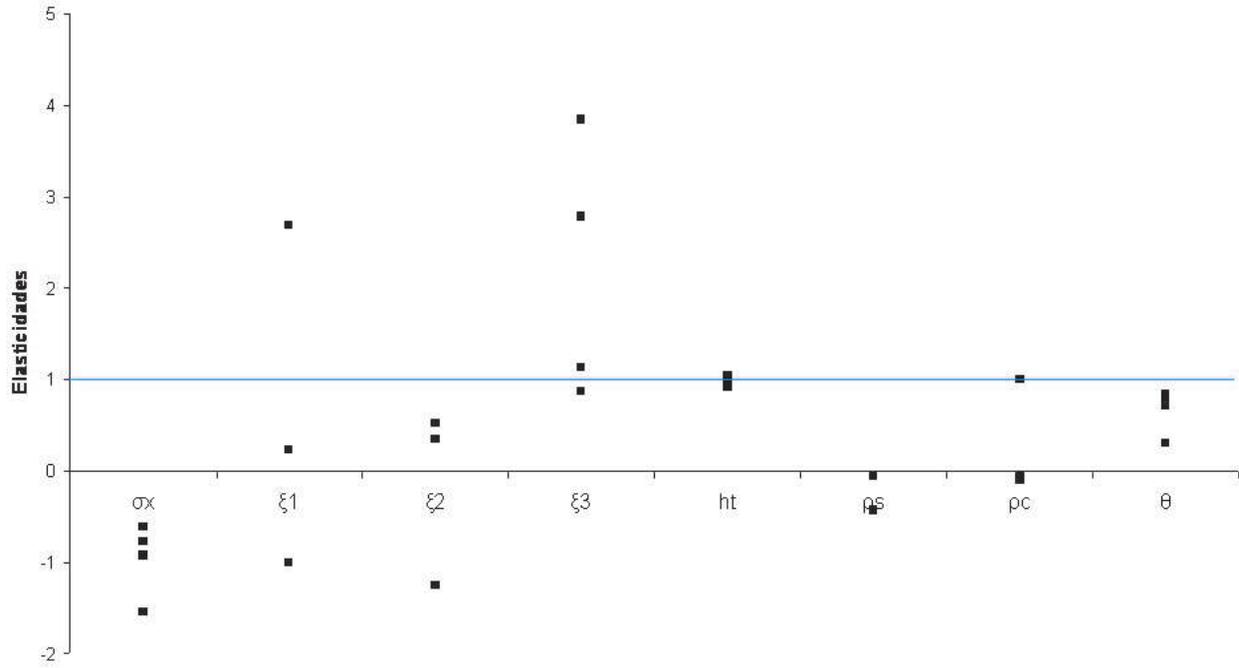


Figura 9.22: Valores de las elasticidades inferiores a 5 de  $\alpha_1^*$  respecto a los parámetros considerados en la sensibilidad.

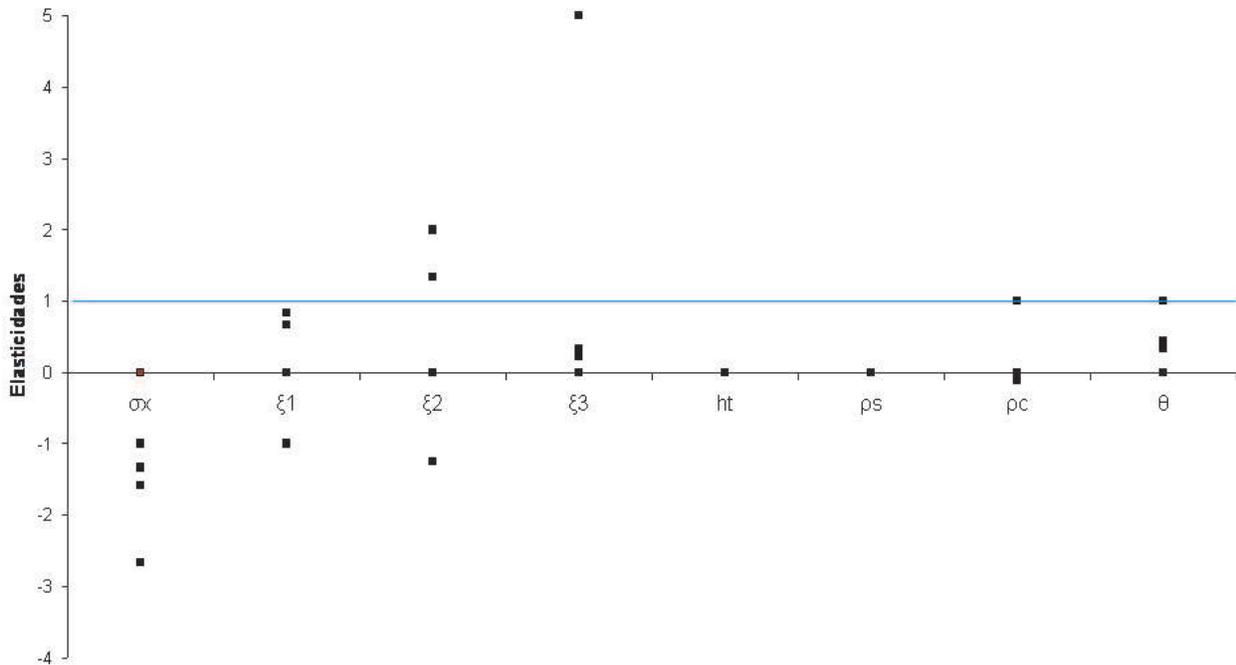


Figura 9.23: Elasticidades inferiores a 5 de  $\gamma_1^*$  respecto a los parámetros considerados.

valores de las elasticidades situados en el intervalo  $-10 \leq \varepsilon_{x_i}^{q_j} \leq 10$ , puesto que los que salen de éste son una minoría (no son representativos), que, en caso de considerarlos, sólo se conseguiría

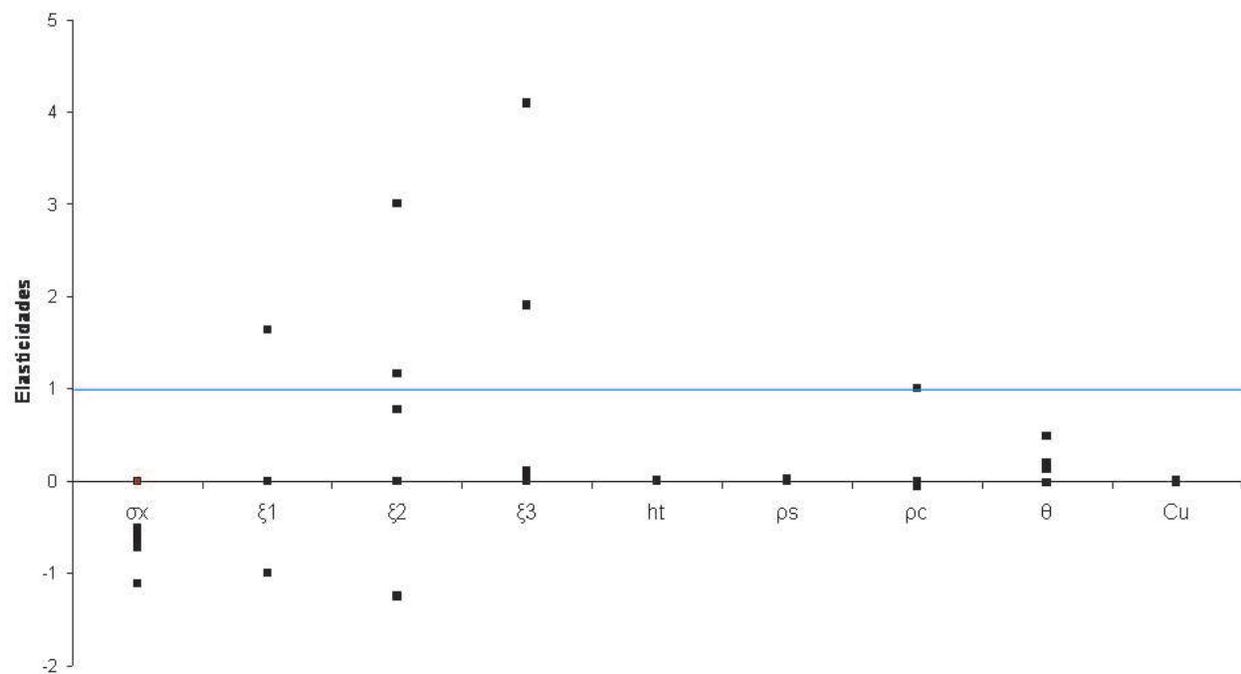


Figura 9.24: Valores de las elasticidades inferiores a 5 de  $b_1^*$  obtenidos en el análisis de sensibilidad.

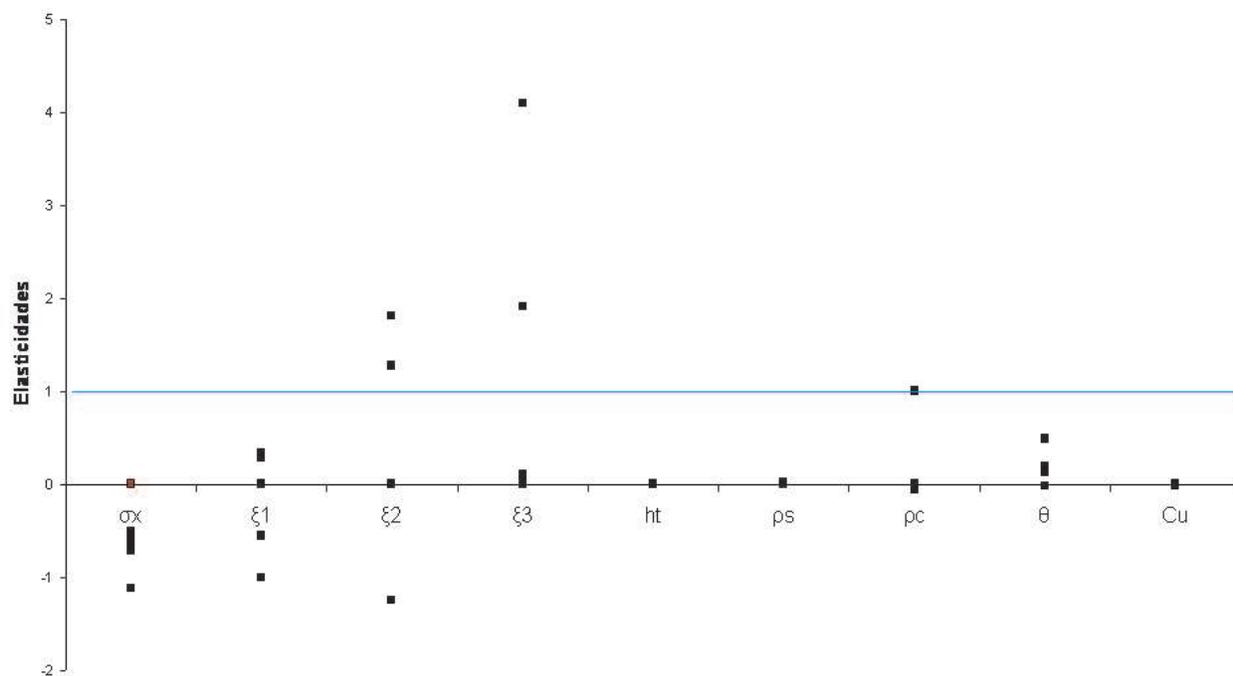


Figura 9.25: Elasticidades inferiores a 5 de  $b_2^*$  procedentes del análisis de sensibilidad.

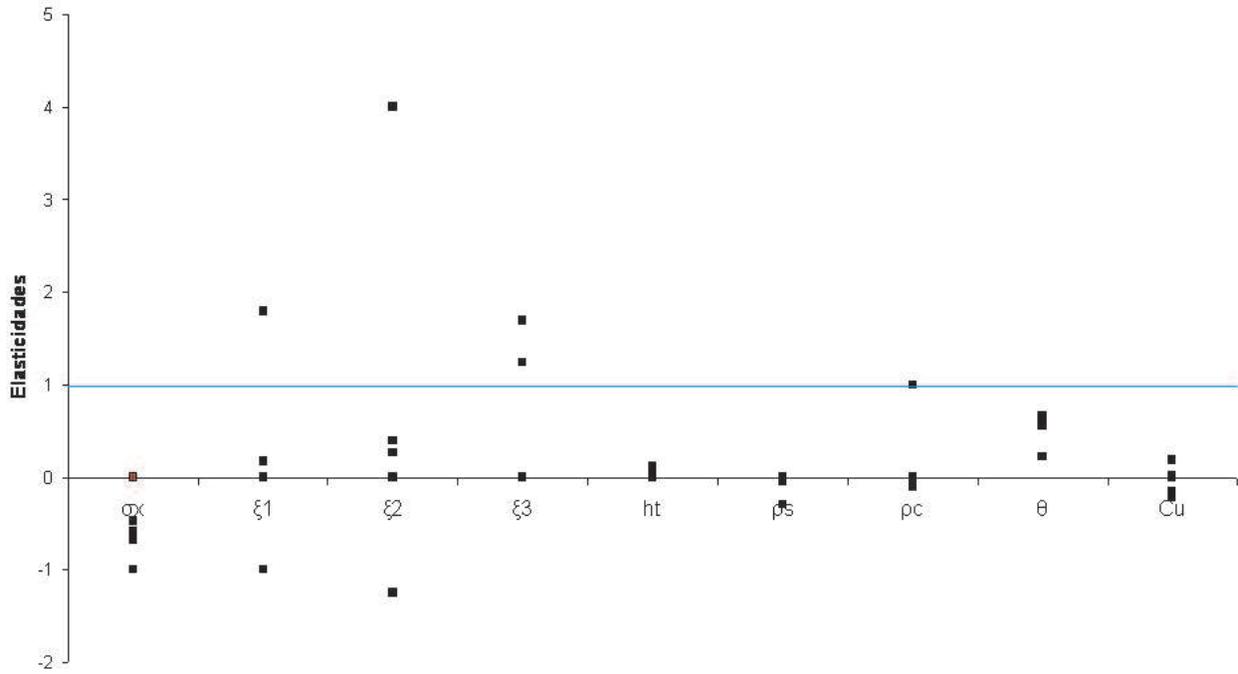


Figura 9.26: Elasticidades inferiores a 5 en el caso de  $b_4^*$ .

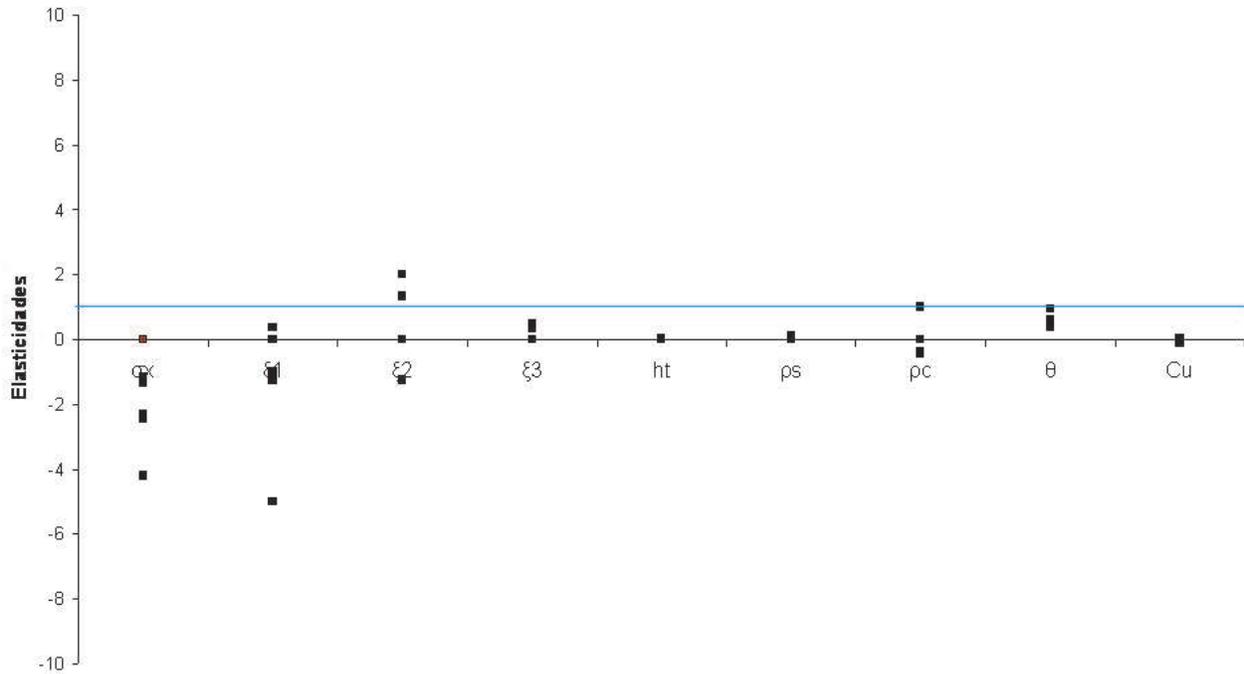


Figura 9.27: Elasticidades inferiores a 5 de la elasticidad de la utilidad esperada del concesionario,  $UE_c^a$ , respecto a los parámetros considerados en la sensibilidad.

distorsionar la conclusines.

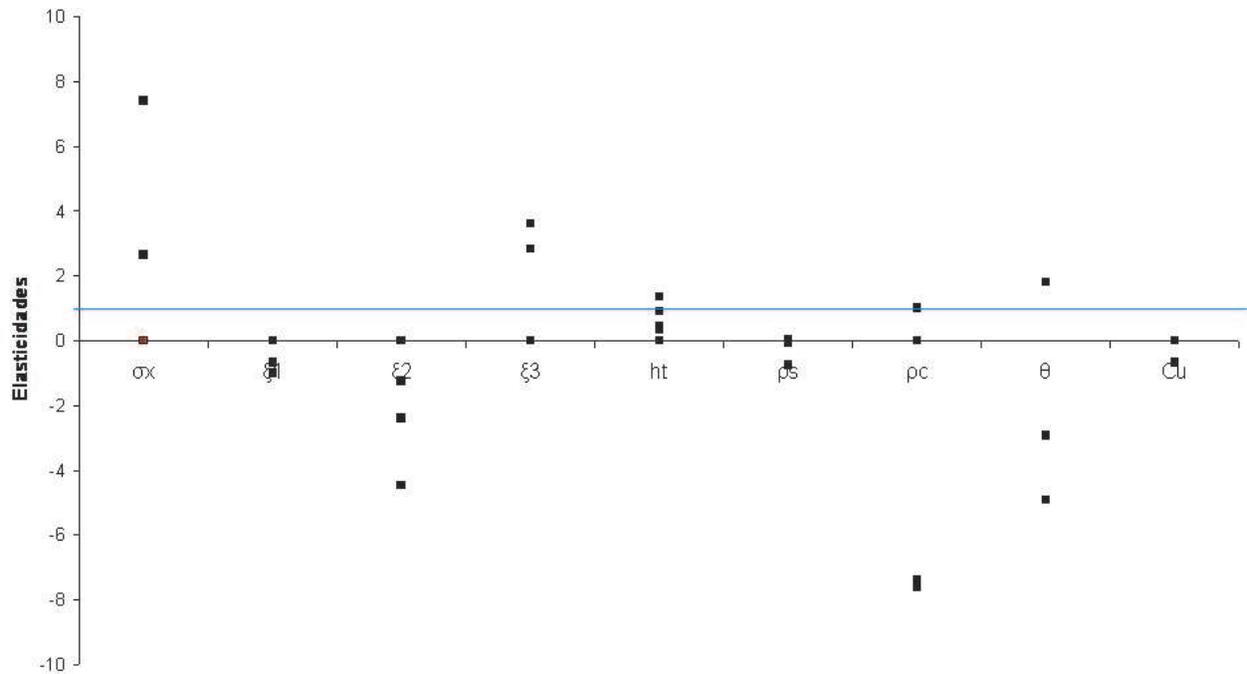


Figura 9.28: Elasticidades de la utilidad esperada de la Autoridad Portuaria,  $UE_p$ , obtenidas en el análisis de sensibilidad.

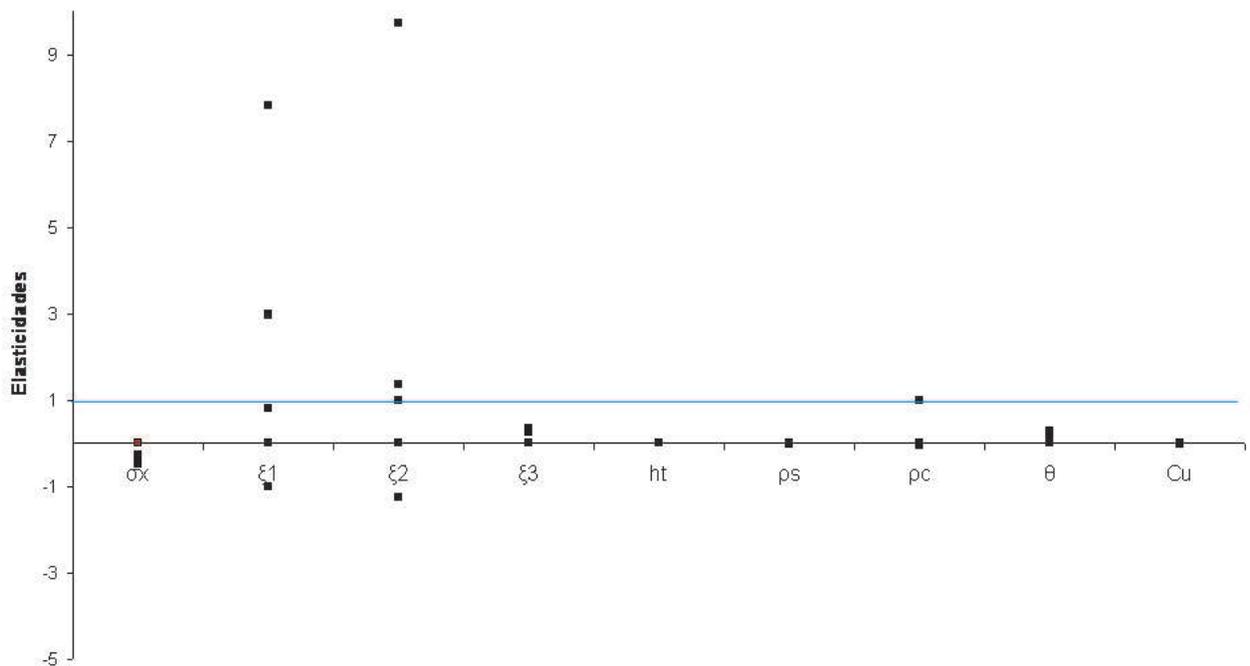


Figura 9.29: Elasticidades de la demanda media prevista en la terminal,  $\hat{x}$ , respecto a los parámetros adoptados para la sensibilidad.

Para cada caso se tiene que:

- $\alpha_1^*$  (coeficiente de la tarifa de la mano de obra portuaria). La mayor parte de las elasticidades-arco son bajas, menores que uno, por lo que se trata de una variable que a grandes rasgos presenta una relativa estabilidad ante variaciones de los parámetros considerados en el análisis de sensibilidad. Las elasticidades superiores a 1 se producen para cambio en las elasticidades demanda-esfuerzos.
- $\gamma_1^*$  (coeficiente del canon a pagar por el concesionario). Al igual que  $\alpha_1^*$ , la mayor parte de los valores de elasticidades-arco presentan valores relativamente bajos y situados por debajo de la unidad. Los valores de elasticidad mayores a uno se producen tanto para cambios de las elasticidades esfuerzos-demanda como para el nivel de riesgo de la demanda ( $\widehat{\sigma}_x^2$ ).
- $b_1^*$  (esfuerzo del concesionario para reducir sus tarifas). Las variaciones de los valores de las elasticidades esfuerzos-demanda son las que generan mayores cambios en este tipo de esfuerzos, con elasticidades superiores a 1, especialmente la referente al esfuerzo  $b_1$  respecto a la demanda. El resto de parámetros considerados dan lugar a elasticidades inferiores a la unidad. Al igual que antes, indicar que el valor que aparece del esfuerzo es para  $\theta = 0, 8$ , que se toma representativo del resto.
- $b_2^*$  (esfuerzo del concesionario para incrementar la productividad del conjunto de la terminal). Los mismos comentarios que en  $b_1^*$  son extensibles a este caso, con la salvedad que las elasticidades más altas son para la elasticidad del esfuerzo  $b_2$  respecto a la demanda. El valor de  $b_2^*$  que aparece es para  $\theta = 0, 8$ .
- $b_3^*$  (esfuerzo de la mano de obra portuaria para incrementar la productividad). Los comentarios del punto anterior son aplicables a aquí, aunque en lugar de tener como máximo la elasticidad  $b_2$  respecto a la demanda es  $b_3$ . No en vano indicar que el valor que aparece de este esfuerzo es para  $\theta = 0, 8$ , en representación del resto de  $\theta$ .
- $UE_c^a$  (utilidad esperada del concesionario, sin incluir el canon). La mayor parte las las elasticidades tiene valores altos, por encima de la unidad, siendo los casos más extremos la elasticidad esfuerzo  $b_2$ -demanda ( $\xi_2$ ), el riesgo de la demanda ( $\widehat{\sigma}_x^2$ ) y el nivel de desinformación de la Autoridad Portuaria de los costes de los agentes ( $\theta$ ).
- $UE_p$  (utilidad esperada de la Autoridad Portuaria). La mayoría de las elasticidades-arco son superiores a 1, aunque con no tanta intensidad que en el caso de  $UE_c^a$ . Las variables que dan lugar a las mayores elasticidades son, al igual que antes,  $\xi_2$ ,  $\widehat{\sigma}_x^2$  y  $\theta$ .

- $\hat{x}$  (demanda media del periodo). En general los valores de las elasticidades son bajos, siendo los situados por encima de la unidad los referentes a las variaciones de las elasticidades esfuerzo-demanda.

A título de conclusión, puede afirmarse que las variaciones de las elasticidades esfuerzo-demanda ( $\xi_i$ , con  $i = 1, 2, 3$ ) y el riesgo de la demanda ( $\hat{\sigma}_x^2$ ) son las que generan mayores cambios a todos los resultados obtenidos (coeficientes del canon y la tarifa, esfuerzos y utilidades esperadas). Mientras que un cambio del grado de conocimiento de la Autoridad Portuaria sobre los costes de los agentes ( $\theta$ ) tiene una incidencia significativa tan solo sobre las utilidades esperadas del concesionario y del propio organismo público. Destacar, asimismo, que la incidencia que tiene las modificaciones en el nivel de aversión de riesgo de los agentes ( $\rho_c$  y  $\rho_s$ ) sobre los coeficientes, esfuerzos y utilidades esperadas no es muy notoria; ante una variación de la aversión se producirá un cambio de estas variables pero en tanto por uno menor que el de  $\rho_c$  y  $\rho_s$ . En definitiva, los cambios más significativos en el cambio del valor óptimo inicial vendrán dados por el lado de la demanda (elasticidades y riesgo) y por el grado de conocimiento de la Autoridad Portuaria de los costes de los agentes.

## 9.6 Resultados de la aplicación a un caso concreto

De la aplicación de los modelos del principal y del agente desarrollados en los capítulos anteriores a un caso concreto de una terminal de contenedores las conclusiones más relevantes son:

- Con la implementación del canon y la tarifa por la mano de obra portuaria presentada en la tesis se ha obtenido un incremento (respecto a los cánones y tarifas por estiba y desestiba actuales) de los esfuerzos del concesionario de la terminal para reducir sus tarifas y aumentar la productividad, por un lado, y del esfuerzo de la sociedad de estiba y desestiba para el incremento de su productividad.
- Del análisis de sensibilidad se ha obtenido que las variables más sensibles, las que pueden conllevar a un cambio más significativo de los esfuerzos de los agentes y las utilidades esperadas del concesionario de la terminal y la Autoridad Portuaria, son: la elasticidad de la demanda con los esfuerzos ( $\xi_i$ , con  $i=1,2,3$ ); el nivel de incertidumbre de las previsiones de la demanda ( $\hat{\sigma}_x^2$ ); y el grado de incertidumbre del principal sobre los agentes (intervalo de  $\theta$ ), aunque los cambios más significativos se centran en la utilidad esperada del principal, y no en los esfuerzos. Por otro lado, los cambios en el nivel de aversión al riesgo del

concesionario ( $\rho_c$ ) y de la mano de obra portuaria ( $\rho_s$ ) dan lugar a modificaciones de los esfuerzos de los agentes y las utilidades esperadas pero estas últimas son menos que proporcionales las variaciones de los niveles de aversión al riesgo (elasticidad menor que uno).

- Si hay un aumento de los costes de explotación de la mano de obra portuaria ( $c_u$ ), que es una variable importantes dentro de los costes de explotación de una terminal (capítulo 3), la mayor parte de éste es absorbido por la propia sociedad de estiba y desestiba a través de un aumento de su productividad. En lugar de trasladar todo el coste al concesionario (y éste al usuario final de la terminal), que sería una situación usual en caso de monopolio, parte de éste es compensado mediante un aumento de la productividad.

## Capítulo 10

# Conclusiones e investigaciones futuras

En las últimas décadas se ha producido un aumento considerable ( 2% anual) del tráfico marítimo de contenedores a nivel mundial que continuará, según las previsiones, por la misma senda en los próximos años, dando lugar paralelamente a una importancia cada vez mayor de las terminales de contenedores en la competitividad de los puertos, especialmente en lo referente a las tarifas y productividades.

A nivel organizativo se ha ido produciendo un crecimiento cada vez más significativo de la participación del sector privado en la financiación y gestión de los puertos, donde las terminales de contenedores no han sido ajenas a todo ello. Así, en la mayoría de los puertos europeos estas instalaciones portuarias están explotadas y financiadas (generalmente con coparticipación pública) por un operador privado en régimen de concesión.

Entre los posibles escenarios económicos en que puede operar un concesionario de una terminal hay uno especialmente importante dada su incidencia sobre la competitividad de los puertos, esto es, cuando el concesionario tiene una posición de dominio del mercado y la ejerce. En este contexto los incentivos del concesionario para situar los niveles tarifarios y/o de productividad iguales que si estuviese en competencia perfecta son reducidos. No en vano destacar que una de las variables fundamentales de la demanda de contenedores de una terminal es el nivel de productividad de la misma. A ello hay que añadir que en la mayoría de los puertos europeos el servicio de estiba y desestiba es realizado por un operador privado y en régimen de monopolio, lo que redundará en la falta de incentivos para lograr la mínima tarifa posible y la máxima productividad permitida por la tecnología.

Para hacer frente a esta situación se suelen utilizar dos directrices: el fomento de la competencia, a través, por ejemplo, de incrementar la cantidad de concesionarios en un mismo puerto, aunque tiene como inconveniente que no permite el aprovechamiento de las importantes economías de escala de este tipo de terminales; y otra alternativa es mediante la regulación, pero tiene el inconveniente que el regulador, al no disponer del conocimiento preciso de la explotación del mismo modo que los operadores privados, no puede implementar soluciones eficaces del todo.

Pues bien, en virtud de todo ello, el problema de partida de la investigación ha sido en un concesionario de una terminal de contenedores que tiene y utiliza su posición de dominio de mercado. El concedente es la Autoridad Portuaria quien a cambio recibe un canon anual del concesionario. Al propio tiempo, hay la sociedad de estiba y desestiba, que actúa en régimen de monopolio y recibe los ingresos de las tarifas por sus servicios cobrados al concesionario de la terminal. Partiendo de todo ello, el objetivo esencial de la tesis ha sido establecer una formulación de canon y tarifas de la mano de obra portuaria que incentiven: por un lado, al concesionario para reducir sus tarifas e incrementar la productividad del conjunto de la terminal a los niveles más próximos posibles a los propios de la plena competencia; y, por otro lado, se produzca un incentivo a la sociedad de estiba y desestiba para incrementar su productividad. Al fijar una formulación de la tarifa de la mano de obra portuaria, se consigue asimismo que los precios por este servicio sean más cercanos a la situación de la competencia perfecta.

A tenor de este planteamiento, las relaciones contractuales entre los agentes implicados en la concesión (Autoridad Portuaria, concesionario de la terminal y la mano de obra portuaria) se han modelizado por medio de la Teoría del Principal y del Agente, donde la Autoridad Portuaria ejerce de principal y los operadores privados de agentes. Más concretamente, se han definido dos modelos de principal y de agente: uno entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal y otro entre el organismo público (pero empleando como función objetivo la utilidad esperada del concesionario de la terminal) y la mano de obra portuaria. Ambos modelos se pueden catalogar de riesgo moral con:

- Multitareas, puesto que el principal no puede verificar los esfuerzos de los agentes (incrementos de productividad y reducciones de tarifas).
- Multiagentes, debido que hay dos agentes: el concesionario de la terminal y la sociedad de estiba y desestiba.
- Información oculta, motivado por el hecho que el principal desconoce con certeza la función de costes y la operativa tanto del concesionario de la terminal como la mano de obra portuaria.

- Intertemporales, habida cuenta que la relación contractual se establece para todo el período concesional.

A partir de la determinación de la utilidad esperada de cada uno de los actores se ha llegado a la formulación de dos programas matemáticos estocásticos, uno de ellos para la relación entre la Autoridad Portuaria y el concesionario de la terminal y el otro entre la sociedad de estiba y desestiba y el concesionario. Los programas han sido resueltos por el método del enfoque de primer orden. Seguidamente, con vistas a determinar la validez de los modelos y analizar con más detalle el funcionamiento de los modelos, los resultados teóricos han sido aplicados a una concesión determinada de una terminal de contenedores.

De todo ello, las principales conclusiones que se han obtenido son:

- 1) Si la formulación del canon del concesionario es proporcional a la cantidad de contenedores manipulados por la terminal y a la diferencia entre la tarifa media que la Autoridad Portuaria supone que cobra el concesionario y la que debería de aplicar en caso de plena competencia, se consigue que el operador privado aumente sus esfuerzos en reducir tarifas e incrementar la productividad global de la terminal. Más concretamente, la expresión del canon propuesta ha sido:

$$C_{at} = \gamma_0 + \gamma_1 \left( \frac{p_0 \theta}{x_t} - p_t^* \right) x_t \quad (10.1)$$

donde  $\gamma_0$  y  $\gamma_1$  son las incógnitas a determinar en el modelo del principal y del agente.

Puesto que estos esfuerzos son complementarios (esto es, si el agente se esfuerza en uno de ellos, el coste del segundo desciende), tan solo es necesario por parte del principal incentivar uno de ellos para que el otro igualmente se realice (Holmstrom y Milgrom, 1991). Para el caso que nos ocupa, se incentiva de un modo directo la reducción de las tarifas.

Al final se llega a un conjunto de cánones (definido cada uno de ellos por un valor de  $\theta$ , con  $\theta \in \Omega_\theta$ ) que la Autoridad Portuaria ofrece al concesionario para que éste adopte el que más le convenga. El dominio de  $\theta$ ,  $\Omega_\theta$ , es un indicador del nivel de desinformación que tiene el principal sobre los costes de explotación del concesionario.

- 2) Si las tarifas de la mano de obra portuaria son fijadas por la Autoridad Portuaria en función de las adecuadas desde el punto de vista económico (plena competencia), esto es, aproximándose al máximo posible a los costes marginales de la sociedad de estiba y desestiba, da lugar a que: 1) los precios por este servicio estén por debajo en caso de no

actuar; y 2) incentivar a la mano de obra portuaria para incrementar su productividad. la formulación para las tarifas vendría dado por:

$$T(\theta, x_t) = \alpha_0 + T_e x_t \quad (10.2)$$

donde  $T_e = \alpha_1 \frac{c_u \delta_6 \theta}{h_t}$  y  $\theta \in \Omega_\theta$ .

Al igual que el canon, la Autoridad Portuaria ofrecería un conjunto de posibles tarifas (una para cada valor de  $\theta$ ) entre las que la sociedad de estiba y desestiba podrá optar, aunque siempre dependerá de los resultados que obtenga de las negociaciones con el concesionario de la terminal. Habida cuenta de la incredulidad de la Autoridad Portuaria sobre los costes reales de la mano de obra portuaria, la tarifa se formula en función de  $\theta$ , que mide precisamente este nivel de desconocimiento.

- 3) En estas expresiones del canon y la tarifa los coeficientes  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\gamma_0$  y  $\gamma_1$  son las variables a determinar de los programas matemáticos que se han obtenido.

El objetivo de  $\alpha_0$  y  $\gamma_0$  es garantizar a la mano de obra portuaria y al concesionario de la terminal respectivamente sus rentabilidades mínimas (aquellas por debajo de las cuales, dado el riesgo inherente del negocio, los agentes no entrarían a formar parte del mismo, optarían por inversiones alternativas).

En cuanto a  $\gamma_1$ , el concesionario, ante un canon que le coadyuva a realizar esfuerzos adicionales para reducir sus tarifas e incrementar su productividad, realizará aquel nivel de esfuerzo que maximice su utilidad esperada, que se producirá mientras el coste en que debe de incurrir para aumentar estos esfuerzos dé lugar a unas expectativas de beneficios (son expectativas porque siempre dependerán en última instancia de la evolución futura de la demanda) sea "compensado" por el nivel de riesgo asumido por el concesionario (a través de la incertidumbre de las previsiones de la demanda), lo cual vendrá dado por su nivel de aversión al riesgo. Llega un punto a partir del cual las expectativas de beneficio y el riesgo incurrido ya no compensan a los costes que hay que realizar. En este punto la utilidad esperada del agente descendiendo con el aumento de los esfuerzos. El objetivo de  $\gamma_1$  es hacer este punto de inflexión sea lo más grande posible.

El parámetro  $\alpha_1$  tiene la misma función que  $\gamma_1$  pero en la mano de obra portuaria. Otra diferencia es que en lugar de actuar en los costes (canon) se incentiva al agente a través de los ingresos (tarifas).

- 4) Las relaciones contractuales pueden ser concebidas como un juego no cooperativo de es-

trategias mixtas y con información incompleta (debido a la desinformación de la función de costes de los agentes por parte del principal).

Bajo este enfoque, los valores de  $\gamma_1$  y  $\alpha_1$  que son solución final de los modelos son aquellos que, entre los valores de  $\gamma_1$  y  $\alpha_1$  que maximizan la utilidad esperada del concesionario y la mano de obra portuaria respectivamente, permiten compatibilizar los objetivos de los agentes y del principal, teniendo en cuenta que todos ellos tienen intereses contrapuestos. En otros términos, se ha obtenido que los valores de estas variables que son solución de los modelos constituyen un equilibrio de Bayes-Nash.

- 5) Se ha demostrado la existencia de solución de los modelos.
- 6) En consonancia con las expresiones del canon y la tarifa de la mano de obra portuaria se tiene en cuenta la necesidad de compatibilizar: beneficio; riesgo en las previsiones de la demanda; aversión al riesgo de los agentes; y nivel de incertidumbre de la Autoridad Portuaria sobre los costes de la sociedad de estiba y desestiba y el concesionario.
- 7) Esto último constituye una importante novedad respecto a las actuales contribuciones para la formulación de los cánones y las tarifas en el ámbito portuario (capítulos 3 y 4), las cuales ninguna de ellas incorpora en la formulación esta incertidumbre.  
  
De esto se deriva inmediatamente otra novedad: tanto las tarifas de la mano de obra portuaria como los cánones son definidos por la Autoridad Portuaria como un espectro de posibles formulaciones (cada una de las cuales dada por un valor de  $\theta$ ), entre las cuales los agentes finalmente deberán de escoger. Hasta ahora las formulaciones de cánones y tarifas portuarias se han basado en expresiones fijadas de antemano, sin ninguna posibilidad de elección por parte del principal.
- 8) Relacionado con lo anterior, con el uso de la Teoría del Principal y del Agente, ha sido posible incorporar en la formulación de las tarifas y del canon la renta obtenida por los agentes debido a la información oculta (sus costes de explotación y operativa concreta de la terminal).
- 9) De la aplicación de los modelos desarrollados a una concesión de una terminal del Mediterráneo español, los aspectos más importantes que se han obtenido son:

- Con la implementación del canon y la tarifa por la mano de obra portuaria presentada en la tesis se ha obtenido un incremento (respecto a los cánones y tarifas por estiba y desestiba actuales) de los esfuerzos del concesionario de la terminal para reducir

sus tarifas y aumentar la productividad, por un lado, y del esfuerzo de la sociedad de estiba y desestiba para el incremento de su productividad.

- Del análisis de sensibilidad se ha obtenido que las variables más sensibles, las que pueden conllevar a un cambio más significativo de los esfuerzos de los agentes y las utilidades esperadas del concesionario de la terminal y la Autoridad Portuaria, son: la elasticidad de la demanda con los esfuerzos ( $\xi_i$ , con  $i=1,2,3$ ); el nivel de incertidumbre de las previsiones de la demanda ( $\hat{\sigma}_x^2$ ); y el grado de incertidumbre del principal sobre los agentes (intervalo de  $\theta$ ), aunque los cambios más significativos se centran en la utilidad esperada del principal, y no en los esfuerzos. Por otro lado, los cambios en el nivel de aversión al riesgo del concesionario ( $\rho_c$ ) y de la mano de obra portuaria ( $\rho_s$ ) dan lugar a modificaciones de los esfuerzos de los agentes y las utilidades esperadas pero estas últimas son menos que proporcionales las variaciones de los niveles de aversión al riesgo (elasticidad menor que uno).
- Si hay un aumento de los costes de explotación de la mano de obra portuaria ( $c_u$ ), que es una variable importantes dentro de los costes de explotación de una terminal (capítulo 3), la mayor parte de éste es absorbido por la propia sociedad de estiba y desestiba a través de un aumento de su productividad. En lugar de trasladar todo el coste al concesionario (y éste al usuario final de la terminal), que sería una situación usual en caso de monopolio, parte de éste es compensado mediante un aumento de la productividad.

Establecidas las principales contribuciones de la presente tesis, a partir de ellas se perfilan una serie de líneas de futuras investigaciones.

Una primera de ellas sería una reformulación del modelo organizativo de la concesión de la terminal tomando com base de partida las contribuciones en el ámbito de la economía de la información. En la tesis se ha partido de tres figuras concretas (Autoridad Portuaria, concesionario y mano de obra portuaria) con unas relaciones contractuales que son las más habituales en la mayoría de los puertos europeos. Se podrá plantear otros modos alternativos de fórmulas de organización de la explotación de la concesiones de este tipo de terminales con el objetivo de crear estructuras que incentiven a explotaciones competitivas.

Otro futuro ámbito de estudio serían analizar otros mecanismos de incentivos, partiendo de la misma estructura organizativa de la tesis, los cuales podrían dirigirse en tres ámbitos. Uno primero sería incorporar otras variables en los mecanismos de pago considerados en la tesis, es decir, otras formulaciones de los cánones y las tarifas. En esta misma línea, otra esfera de

trabajo sería la definición de mecanismos de pagos dinámicos, es decir, que la definición de las variables que intervienen en las formulaciones, como, por ejemplo, las tarifas de otras terminales en el canon, pudiesen ser modificadas anualmente por la Autoridad Portuaria. Ello daría lugar a un juego no cooperativa secuencial y la resolución de los programas matemáticos deberían de realizarse mediante técnicas de la optimización dinámica. En la investigación realizada esta dinámica ha sido considerada de un modo implícito, mediante los valores medios de todo el periodo concesional de todas las variables que intervienen en las utilidades esperadas de los agentes. Y, finalmente, un tercer ámbito de estudio dentro de los incentivos sería estudiar otros posibles mecanismos de pagos además del canon del concesionario y la tarifa de la mano de obra portuaria; se podrá actuar, por ejemplo, a través de un canon a pagar la sociedad de estiba y destiba a la Autoridad Portuaria.

En esta línea de investigación, y concretamente en la parte de dinámica, se podrían introducir en el análisis aspectos que tuviesen en cuenta la calidad del servicio. Así, por ejemplo, según los valores de algún indicador de calidad, el canon del concesionario fuese distinto; o que, si el nivel de calidad del servicio excediese de determinados valores, el operador debería de pagar una multa.

En este último sentido conviene indicar que en la formulación de canon adoptada siempre se ha supuesto que el operador satisface una determinada cantidad de dinero a la Autoridad Portuaria en concepto de canon. Una directriz de estudio sería considerar mecanismos de pago que pudiesen ser tanto negativos (operador de la terminal recibe dinero de la Administración, como podría ser el caso de los primeros años que se realizan inversiones) como positivos (la situación contraria); serían mecanismos *bonus / malus*.

La presente tesis se ha centrado en los mecanismos de incentivos una vez el concesionario y la mano de obra portuaria empiezan a operar, lo que da lugar a un problema de riesgo moral. Otra posibilidad es analizar la etapa previa, la del concurso de concesión. Se trataría de analizar los posibles mecanismos que podría desarrollar la Autoridad Portuaria, y que quedarían plasmados en los pliegos de concurso para la concesión de estas terminales, con vistas a determinar el concursante más adecuado a los objetivos del organismo público. Sería un problema de selección adversa.

# Referencias

Abreu D., P. Milgrom y P. Pearce (1991) Information and timing in repeated partnership. *Econometrica*, 59 (6), 1713-1733.

Aguilar, J., E. Aranau, R. Gómez-Ferre, J. Martínez, A. Montfort, N. Monterde y P. Palomo (2001) *Terminales marítimas de contenedores: el desarrollo de la automatización*. IPEC (282 páginas). ISBN: 84-923957-3-7.

Alchian, A. y H. Demsetz (1972) Production, information costs and economic organization. *American Economic Review*, 62, 777-795.

Al-Kazily, J. (1982) Productivity at marine-land container terminal. *Transportation Research Record*, 907, 57-61. ISBN: 0191-2615.

Arnold, J. (1985) *Port tariffs: Current practices and trends*. World Bank Report.

Baird, A. (2002) Privatization trends at the world's top-100 container ports. *Maritime Policy and Management*, 29, 271-284.

Baron, J. y D. Kreps (1999) *Strategic human resources: frameworks for general managers*. Wiley.

Bennathan, E. y A. Walters (1979) *Port Pricing and Investment Policy for Developing Countries*. Oxford University Press.

Bennet, M. (1992) Trade or treasury: who benefits from port privatization? *Portus*, 7(1), 10-15.

Button, K. (1979) The economics of port pricing. *Journal of Maritime Policy and Management*, 3(6), 201-207.

Camarero, A., P. Pery y G. Polo (2002) Costes del transporte marítimo y de los puertos. *IV Congreso de Ingeniería del Transporte*.

- Chang, S. (1978). Production function and capacity utilization of the port of Mobile. *Maritime Policy and Management*, 5, 297-305.
- Chiappari, P. y I. Macho-Satdler (1990) Contrats de travail répétés : Le role de la mémoire. *Annales d'Économie et Statistique*, 17(1), 47-70.
- Cullinane, K. y M. Khanna (1998) Economies of Scale in Large Container Ships. *Journal of Transportation Economics and Policy*, Vol 33 (2), 195-208.
- Estache, A., M. González y L. Trujillo (2002) *Efficiency gains from port reform and the potential for yardstick competition: lessons from Mexico*. *World Development*, 30(4), 545-560.
- Farrel, S. (1999) *Financing European Transport Infrastructure*. MacMillan Press.
- Feltham, G.A. y J. Xie (1994) Performance Measure Congruity and Diversity in Multi-task Principal-Agent Relations. *Accounting Review*, 63(3), 429-453.
- Fudenberg, D., B. Holmstrom y P. Milgrom (1990) Short-term contracts and long-term agency relationships. *Journal of Economic Theory*, 51(1), 1-31.
- Fudenberg, D., D. Levine y E. Maskin (1994) The Folk theorem with imperfect public information. *Econometrica*, 62(5), 997-1039.
- Garcia, D. (2003) *Optimal contracts with privately informed agents and active principals*. Working Paper num. 03-01. Truck School of Business at Dartmouth.
- Gardner, B. (1977) *Port Pricing. An Alternative Approach*. Department of Maritime Studies. University of Wales.
- Gatell, E. y F. Robusté (1998) *Tendencias en la incorporación de la calidad en los contratos de servicios de transporte colectivo urbano bajo el régimen de concesión de gestión interesada*. Tesina de la ETS Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- Gibbard, A. (1973) Manipulation for voting schemes. *Econometrica*, 41, 587-601.
- Gilman, S. (1978) Pricing policy and operational controls in container terminals. *Journal of Maritime Policy and Management*, 5, 89-96.
- Haralambides, H. (2002) Competition, excess capacity and the pricing of the port infrastructure. *International Journal of Maritime Economics*, 4, 323-347.

Haralambides, H., A. Verbeke, E. Musso y M. Bennachio (2001) Port financing and pricing in the European ports: theory, politics and reality. *Annual Conference of The International Association of Maritime Economists*.

Hemmer, T. (1995) On the interrelation between production technology, job design, and incentives. *Journal of Accounting and Economics*, 19 (2-3), 209-245.

Holmstrom, B. (1979) Moral hazard and observability. *Bell Journal of Economics*, 10(1), 74-91.

Holmstrom, B. y P. Milgrom (1990) Regulating trade among agents. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 146(1), 85-105.

Holmstrom, B. y P. Milgrom (1991) Multitask principal-agent analyses: Incentive contracts, asset ownership, and job design. *Journal of Law, Economics and Organizations*, Spec. ISS(7), 24-52.

Ichniowski, C., T. Kochan, D. Levine, C. Olson y G. Strauss (1996) What works at work: overview and assessment. *Industrial Relations*, 35(3), 299-333.

Itoh, H. (1990) Incentives to help in multi-agent situations. *Econometrica*, 59, 611-636.

Itoh, H. (1993) Collusion, incentives and risk sharing. *Journal of Economic Theory*, 60, 410-427.

Izquierdo, R. y J.M. Vassallo (2004) *Nuevos sistemas de gestión y financiación de infraestructuras de transporte*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. ISBN: 84-380-0289-7.

Jansson, J. y I. Rydén (1979) *Swedish Seaports: Economics and Policy*. The Economics Research Institute. Stockholm School of Economics.

Jansson, J. y D. Shneerson (1982) *Port Economics*. MIT Press.

Jara-Díaz, S., E. Martínez-Budrúa, C. Cortes y L. Basso (2002) A multioutput cost function of the services of Spanish port's infrastructure. *Transportation*, 29(4), 419-437.

Jeffrey, D. (1994) *The functions of the public and private sector in ports*. Mimeo.

Kim, M. y A. Sachish (1986) The structure production, technical change and productivity in a port. *International Journal of Industrial Economics*, 35(2), 209-223.

Kreps, D. (1990) *A Course in Microeconomic Theory*. Harvest Wheats-heaf.

Laffont, J.G. (1977) Characterization o satisfactory mechanisms for revelation of preference for public goods. *Econometrica*, 45, 427-438.

Macho-Stadler, I. y D. Pérez (1994) *Introducción a la Economía de la Información*. Ariel Economía.

Macho-Stadler, I, y J.P Castrillo (1993) Moral hazard with several agents: the gains from cooperation. *International Journal of Industrial Organization*, 11, 73-100.

Malcomson, J. y F. Spinnewyn (1988) The multiperiod principal-agent problem. *Review of Economic Studies*. 55, 391-407.

Martel, H (1999) *Public-private partnership in the port domain in developing countries: risk analysis, sharing and management*. ISTED transport division.

Martínez-Budría, E. (1996) Un estudio econométrico de los costes del sistema portuario español. *Revista Asturiana de Economía*, 6, 135-149.

Martínez-Budría, E., R. González-Marrero y J. Díaz (1998) *Estudio económico de las Sociedades Estatales de Estiba y Desestiba en España*. Documento de trabajo 97/98-1. Universidad de La Laguna.

McAfee, P. y J. McMillan (1998) Multidimensional incentives compatibility and mechanism design. *Journal of Economic Theory*, 46, 335-354.

Meyrick, S. (1989) *Port pricing: some observations on principles and practice*. In ASRF Working Paper num. 5. University of Wollongong.

Meyrick, S. (1991) How far does economic theory really take us? *Proceeding from New Thinking in Port Pricing*. University of Wollongong.

Milgrom, P. (1988) Employment contracts, influence activities and efficient design. *Journal of Political Economy*, 96, 42-60.

Mirrlee, W. (1976) The optimal structure of incentives and authority within an organization. *Bell Journal of Economics*, 7(1).

Mohrman, A., G. Cohen y M. Mohrman (1995) *Designing team-based organizations*. Jossey-Bass Publishers.

Montfort, A. (2001) Gestión y explotación de terminales de contenedores. Equipamientos. *Ier Encuentro Iberoamericano sobre Intercambio Tecnológico Portuario*.

Musso, E., C. Ferrari y M. Bennachio (1999) On the global optimum size of port terminals. *International Journal of Transport Economics*, XXVI(3), 415-437.

Myerson, R. (1979) Incentive compatibility and bargaining problem. *Econometrica*, 47, 61-73.

Nash, J. (1950). Equilibrium points in n-person games. *Proceeding of the National Academy of Science*, 49-55.

Nijkamp, P. y S. Rienstra (1995) Private sector involvement in financing and operating transport infrastructure. *Annals of Regional Science*, 29, 221-334.

Pérez-Fiaño, J.E y F. Robusté (dir) (1998) *Optimización del proceso de asignación del trabajo portuario en las terminales de contenedores*. Tesis doctoral de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.

Pettersen-Strandenes, S. y P. Marlon (2000) Port pricing and competitiveness in short sea shipping. *International Journal of Transport Economics*, 27(3), 315-334.

Puertos del Estado (2002) *Análisis de Terminales Marítimas de Contenedores*. Puertos del Estado. España.

Radner, R. (1985) Repeated principal-agent games with discounting. *Econometrica*, 53(5), 1173-1198.

Ramsey, F. (1927) A contribution to the theory of taxation. *Economic Journal*, 37, 47-61.

Rekers, R., D. Connell y D. Ross (1990) The development of a production function for a container terminal in the port of Melbourne. *Papers of the Australian Transport Research Forum*, 209-218.

Rey, P. y B. Salanie (1990) Long-term, short-term and renegotiation: on the value of commitment in contracting. *Econometrica*, 58(3), 597-619.

Rogerson, W. (1985) The first-order approach to principal-agent problems. *Econometrica*, 53, 1357-1367.

Rudolf, C. (1995) A cost comparison of modern container cranes. *Proceedings Conferencia Ports'95*. American Society of Civil Engineers.

Saurí, S. y F. Robusté (dir) (2002) *Operaciones y colas de los barcos en los puertos*. Tesina de especialidad de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.

Slack, B. (1985) Containerisation, interport competition and port selection. *Journal of Maritime and Policy Management*. 12(4), 293-303.

Soriguera, F. y F. Robusté (dir) (2003) *Optimización de la interconexión de una terminal marítima de contenedores mediante teoría de colas*. Tesina de especialidad de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.

Suykens, F. (1996) Influence of port tariffs on maritime transport. *VI International Congress of Maritime Traffic and Ports Handling*.

Talley, W. (1994) Port pricing: a cost axiomatic approach. *Journal of Maritime Policy and Management*, 21, 61-76.

Thomas, B. (1978) Port charging practices. *Journal of Maritime Policy and Management*, 5, 117-132.

Thompson, L. y K. Budin (1997) Global trend to railway concessions delivering positive results. *Public Policy for Private Sector*, 134.

Tirole, J. (1986) Hierarchies and bureaucracies: on the role of collusion in organizations. *Journal of Law, Economics and Organizations*, 2, 181-214.

Tirole, J. (1990) Moral hazard and renegotiation agency. *Econometrica*, 58, 1279-1320.

Tongzon, J. (1993) The port of Melbourne authority's pricing policy: its efficiency and distributions implications. *Journal of Maritime Policy and Management*, 20(3), 197-203.

Tongzon, J. (1995) Determinants of port performance and efficiency. *Transportation Research*, 29A(3), 245-252. ISN: 0191-2615.

Trujillo, L. y G. Nombela (1999) *Privatization and Regulation of Seaport Industry*. World Bank Institute.

UNCTAD (1995) *Strategic Port Pricing*. UNCTAD.

Vanags, A. (1997) *Maritime Congestion: an Economic Analysis*. *Advances in Maritime Economics*. Cambridge University Press.

Varian, H. (1998) *Análisis microeconómico*. Editorial Antoni Bosch. ISBN: 84-85855-63-9.

Varian, R. (1990) Monitoring agents with other agents. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 4, 1-20.

Wiegmans, B., B. Ubbels, P. Rietveld y P. Nijkamp (2002) Investment in container terminals: Public-private partnership in Europe. *International Journal of Maritime Economics*, 4, 1-20.

## Apéndice A

# Programa para la resolución de los modelos

'CACULO DEL INTEGRANDO LA DE UTILIDAD ESPERADA DEL PRINCIPAL.

```
Function omega2(x As Double, theta As Double, cf As Double, c_u As  
Double, c_v As Double, _  
delta_1 As Double, delta_2 As Double, delta_3 As Double, _  
delta_4 As Double, ro_c As Double, precio As Double, _  
precio_ref As Double, cme_ref As Double, cme_ref_e As Double, _  
k As Double, desvi As Double, Ht As Double, delta_5 As Double, _  
delta_6 As Double, elas_1 As Double, elas_2 As Double, _  
elas_3 As Double, alfa_1 As Double, gamma_1 As Double, _  
lim_inf_theta As Double, no_inter As Integer) As Double
```

Dim S\_1, S\_2, S\_3, S\_4, S\_5, S\_6, S\_7, S\_8 As Double

Dim Xmed As Double

Dim esf1 As Double

Dim esf2 As Double

Dim esf3 As Double

$$\text{esf1} = \text{esfuerzo}_1(\text{theta}, \text{precio}, \text{c}_u, \text{delta}_6, \text{k}, \text{elas}_1, \text{cme\_ref}, \text{cme\_ref\_e}, \text{alfa}_1, \text{gamma}_1, \text{delta}_4, \text{Ht})$$

$$\text{esf2} = \text{esfuerzo}_2(\text{theta}, \text{precio}, \text{c}_u, \text{delta}_6, \text{k}, \text{elas}_2, \text{precio\_ref}, \text{cme\_ref}, \text{Ht}, \text{alfa}_1, \text{gamma}_1, \text{delta}_3)$$

$$\text{esf3} = \text{esfuerzo}_3(\text{c}_u, \text{cme\_ref\_e}, \text{Ht}, \text{k}, \text{elas}_3, \text{alfa}_1, \text{delta}_5, \text{delta}_6)$$

$$\text{Xmed} = \text{k} * ((\text{esf1} \wedge \text{elas}_1) + (\text{esf2} \wedge \text{elas}_2) + (\text{esf3} \wedge \text{elas}_3))$$

$$\text{S}_1 = (\text{precio} + \text{gamma}_1 * \text{cme\_ref} - \text{alfa}_1 * ((\text{c}_u * \text{delta}_6 * \text{theta}) / \text{Ht})) * \text{Xmed}$$

$$\text{S}_2 = -0.5 * \text{delta}_4 * \text{theta} * ((\text{esf1}) \wedge 2)$$

$$\text{S}_3 = -(\text{cf} * \text{delta}_1 * \text{theta}) - (\text{c}_v * \text{delta}_2 * \text{theta}) - \text{gamma}_1 * \text{precio\_ref} * \text{theta}$$

$$\text{S}_8 = (((\text{alfa}_1 * \text{c}_u * \text{delta}_6 * \text{theta}) / \text{Ht}) - ((\text{c}_u * \text{delta}_6 * \text{theta}) / \text{Ht})) * \text{Xmed} - 0.5 * \text{delta}_5 * \text{theta} * (\text{esf3} \wedge 2) - 0.5 * \text{ro}_s * \text{desvi} * (((\text{alfa}_1 * \text{c}_u * \text{delta}_6 * \text{theta}) / \text{Ht}) \wedge 2 + ((\text{c}_u * \text{delta}_6 * \text{theta}) / \text{Ht}) \wedge 2)$$

$$\text{S}_4 = -0.5 * \text{delta}_3 * \text{theta} * ((\text{esf3}) \wedge 2)$$

$$\text{S}_5 = -0.5 * \text{ro}_c * ((\text{precio} \wedge 2) + ((\text{gamma}_1 * \text{cme\_ref}) \wedge 2) + (((\text{alfa}_1 * \text{c}_u * \text{theta} * \text{delta}_6) / \text{Ht}) \wedge 2)) * \text{desvi}$$

$$\text{S}_6 = \text{fS}_6(\text{theta}, \text{k}, \text{c}_v, \text{precio}, \text{delta}_2, \text{delta}_3, \text{precio\_ref}, \text{cme\_ref}, \text{cme\_ref\_e}, \text{elas}_1, \text{elas}_2, \text{elas}_3, \text{c}_u, \text{Ht}, \text{alfa}_1, \text{gamma}_1, \text{ro}_c, \text{delta}_4, \text{lim\_inf\_theta}, \text{no\_inter}, \text{delta}_5, \text{delta}_6)$$

$$S_7 = (\text{gamma}_1 * \text{precio\_ref} * \text{theta}) - (\text{gamma}_1 * \text{cme\_ref} * x) + \_ \\ (\text{precio\_ref} * \text{theta}) - (\text{cme\_ref} * x)$$

$$\text{omega2} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 - S_6 + S_7 + S_8$$

End Function

'CALCULO DE LA FUNCION DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE LA  
'DEMANDA DE CONTENEDORES.

Function f\_x(k As Double, theta As Double, c\_v As Double, precio  
As Double, delta\_2 As Double, delta\_3 As Double,\_  
precio\_ref As Double, cme\_ref As Double, cme\_ref\_e As Double,\_  
elas\_1 As Double, elas\_2 As Double, elas\_3 As Double,\_  
c\_u As Double, Ht As Double, alfa\_1 As Double, gamma\_1 As Double,\_  
x As Double, delta\_4 As Double, desvi As Double,\_  
delta\_5 As Double, delta\_6 As Double) As Double

Dim esf1 As Double

Dim esf2 As Double

Dim esf3 As Double

Dim Xmed As Double

esf1 = esfuerzo\_1(theta, precio, c\_u, delta\_6, k, elas\_1, cme\_ref,\_  
cme\_ref\_e, alfa\_1, gamma\_1, delta\_4, Ht)

esf2 = esfuerzo\_2(theta, precio, c\_u, delta\_6, k, elas\_2, precio\_ref,\_  
cme\_ref, Ht, alfa\_1, gamma\_1, delta\_3)

esf3 = esfuerzo\_3(c\_u, cme\_ref\_e, Ht, k, elas\_3, alfa\_1, delta\_5, delta\_6)

Xmed = k \* ((esf1 ^ elas\_1) + (esf2 ^ elas\_2) + (esf3 ^ elas\_3))

f\_x = (1 / ((2 \* pi() \* desvi) ^ 0.5)) \* Exp(-0.5 \* (((x - Xmed) ^ 2) / desvi))

End Function

'UTILIDAD ESPERADA DE LA AUTORIDAD PORTUARIA. INTEGRACION POR EL  
'METODO DE GAUSS.

Function AP\_OT(estimador As Double, cf As Double, c\_u As Double,  
c\_v As Double, \_  
delta\_1 As Double, delta\_2 As Double, delta\_3 As Double, \_  
delta\_4 As Double, ro\_c As Double, ro\_s As Double, \_  
precio As Double, k As Double, precio\_ref As Double, \_  
desvi As Double, cme\_ref As Double, cme\_ref\_e As Double, \_  
Ht As Double, elas\_1 As Double, elas\_2 As Double, elas\_3 As Double, \_  
no\_inter As Integer, alfa\_1 As Double, gamma\_1 As Double, \_  
lim\_sup\_theta As Double, lim\_inf\_theta As Double, delta\_5 As Double, \_  
delta\_6 As Double) As Double

Dim z(1 To 10) As Double

Dim w(1 To 10) As Double

Dim x(1 To 11) As Double

Dim theta(1 To 11) As Double

Dim i, j, r, s As Integer

Dim a() As Double

Dim b() As Double

Dim df1 As Double

Dim r1\_i As Double

Dim s1\_i As Double

Dim j1\_i As Double

Dim Xmed\_min, Xmed\_max, Xmed As Double

Dim x\_max, x\_min As Double

Dim omg2 As Double

Dim fconj2 As Double

ReDim a(1 To 11) As Double

ReDim b(1 To 11) As Double

'Parametros cuadratura de Gauss

z(1) = -0.9739

z(2) = -0.86506

z(3) = -0.6794

$$z(4) = -0.43339$$

$$z(5) = -0.14887$$

$$z(6) = 0.14887$$

$$z(7) = 0.43339$$

$$z(8) = 0.6794$$

$$z(9) = 0.86506$$

$$z(10) = 0.9739$$

$$w(1) = 0.0667$$

$$w(2) = 0.14945$$

$$w(3) = 0.21908$$

$$w(4) = 0.26926$$

$$w(5) = 0.29552$$

$$w(6) = 0.29552$$

$$w(7) = 0.26926$$

$$w(8) = 0.21908$$

$$w(9) = 0.14945$$

$$w(10) = 0.0667$$

'Inicio bucle subdivision intervalos

$$\begin{aligned} X_{med\_min} = & X\_media(k, \text{lim\_sup\_theta}, c\_v, \text{precio}, \text{delta\_2}, \text{delta\_3}, \\ & \text{precio\_ref}, \text{cme\_ref}, \text{cme\_ref\_e}, \text{elas\_1}, \text{elas\_2}, \text{elas\_3}, \\ & c\_u, Ht, \text{alfa\_1}, \text{gamma\_1}, \text{delta\_4}, \text{delta\_5}, \text{delta\_6}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{med\_max} = & X\_media(k, \text{lim\_inf\_theta}, c\_v, \text{precio}, \text{delta\_2}, \text{delta\_3}, \\ & \text{precio\_ref}, \text{cme\_ref}, \text{cme\_ref\_e}, \text{elas\_1}, \text{elas\_2}, \text{elas\_3}, \\ & c\_u, Ht, \text{alfa\_1}, \text{gamma\_1}, \text{delta\_4}, \text{delta\_5}, \text{delta\_6}) \end{aligned}$$

$$X_{med} = (X_{med\_min} + X_{med\_max}) * 0.5$$

$$x\_min = Xmed\_min - (4 * ((desvi) ^ 0.5))$$

$$x\_max = Xmed\_max + (4 * ((desvi) ^ 0.5))$$

$$a(1) = x\_min$$

$$b(1) = lim\_inf\_theta$$

$$AP\_OT = 0$$

For i = 1 To 10

$$a(i + 1) = a(i) + ((x\_max - x\_min) / 10)$$

$$j1\_i = 0$$

For j = 1 To 10

$$b(i + 1) = b(i) + ((lim\_sup\_theta - lim\_inf\_theta) / 10)$$

'Inici bucle de Gauss

$$r1\_i = 0$$

For r = 1 To 10

$$x(r) = 0.5 * (((a(i + 1) - a(i)) * z(r)) + (a(i + 1) + a(i)))$$

$$df1 = 0$$

$$s1\_i = 0$$

For s = 1 To 10

$$\text{theta}(s) = 0.5 * (((b(i + 1) - b(i)) * z(s)) + (b(i + 1) + b(i)))$$

'Funciones intermedias

$$\text{omg2} = \text{omega2}(x(r), \text{theta}(s), \text{cf}, c\_u, c\_v, \text{delta}_1, \text{delta}_2, \text{delta}_3, \text{delta}_4, \text{ro}_c, \text{precio}, \text{precio\_ref}, \text{cme\_ref}, \text{cme\_ref\_e}, k, \text{desvi}, \text{Ht}, \text{delta}_5, \text{delta}_6, \text{elas}_1, \text{elas}_2, \text{elas}_3, \text{alfa}_1, \text{gamma}_1, \text{lim\_inf\_theta}, \text{no\_inter})$$

$$f\_theta = 1 / (\text{lim\_sup\_theta} - \text{lim\_inf\_theta})$$

$$f_x = f\_x(k, \text{theta}(s), c\_v, \text{precio}, \text{delta}_2, \text{delta}_3, \text{precio\_ref}, \text{cme\_ref}, \text{cme\_ref\_e}, \text{elas}_1, \text{elas}_2, \text{elas}_3, c\_u, \text{Ht}, \text{alfa}_1, \text{gamma}_1, x(r), \text{delta}_4, \text{desvi}, \text{delta}_5, \text{delta}_6)$$

$$df1 = \text{omg2} * f_x * f\_theta$$

$$s1\_i = s1\_i + (w(s) * df1)$$

Next s

$$r1\_i = r1\_i + ((b(i + 1) - b(i)) * 0.5 * s1\_i * w(r))$$

Next r

$$j1\_i = j1\_i + ((a(i + 1) - a(i)) * 0.5 * r1\_i)$$

Next j

AP\_OT = AP\_OT + j1\_i

Next i

End Function

'UTILIDAD ESPERADA DEL CONCESIONARIO DE LA TERMINAL. INTEGRACION  
'POR EL METODO DE GAUSS.

Function SE\_OT(c\_u As Double, c\_v As Double, ro\_s As Double, ro\_c  
As Double, desvi As Double, k As Double, precio As Double, \_  
precio\_ref As Double, Ht As Double, cme\_ref\_e As Double, \_  
cme\_ref As Double, elas\_1 As Double, elas\_2 As Double, \_  
elas\_3 As Double, delta\_2 As Double, delta\_3 As Double, \_  
delta\_4 As Double, alfa\_1 As Double, gamma\_0 As Double, \_  
gamma\_1 As Double, cf As Double, lim\_sup\_theta As Double, \_  
lim\_inf\_theta As Double, no\_inter As Integer, delta\_5\_  
As Double, delta\_6 As Double, alfa\_0 As Double) As Double

Dim S\_1, S\_2, S\_3, S\_4, S\_5, S\_6, S\_7, S\_8 As Double

Dim esf1 As Double

Dim esf2 As Double

Dim esf3 As Double

Dim Xmed As Double

Dim z(1 To 10) As Double

Dim w(1 To 10) As Double

Dim theta(1 To 11) As Double

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim a() As Double

Dim dfj As Double

Dim Fi As Double

ReDim a(1 To (no\_inter + 1)) As Double

'Parametros cuadratura de Gauss

$$z(1) = -0.9739$$

$$z(2) = -0.86506$$

$$z(3) = -0.6794$$

$$z(4) = -0.43339$$

$$z(5) = -0.14887$$

$$z(6) = 0.14887$$

$$z(7) = 0.43339$$

$$z(8) = 0.6794$$

$$z(9) = 0.86506$$

$$z(10) = 0.9739$$

$$w(1) = 0.0667$$

$$w(2) = 0.14945$$

$$w(3) = 0.21908$$

$$w(4) = 0.26926$$

$$w(5) = 0.29552$$

$$w(6) = 0.29552$$

$$w(7) = 0.26926$$

$$w(8) = 0.21908$$

$$w(9) = 0.14945$$

$$w(10) = 0.0667$$

'Inicio bucle subdivision intervalos

$$a(1) = \text{lim\_inf\_theta}$$

$$\text{SE\_OT} = 0$$

For i = 1 To no\_inter

$$a(i + 1) = a(i) + ((\text{lim\_sup\_theta} - a(1)) / \text{no\_inter})$$

'Inicio bucle Gauss

$$\text{dfj} = 0$$

$$\text{Fi} = 0$$

For j = 1 To 10

$$\text{theta}(j) = 0.5 * (((a(i + 1) - a(i)) * z(j)) + (a(i + 1) + a(i)))$$

'Funciones intermedias

$$\text{esf1} = \text{esfuerzo}_1(\text{theta}(j), \text{precio}, c_u, \text{delta}_6, k, \text{elas}_1, \text{cme\_ref}, \text{cme\_ref\_e}, \text{alfa}_1, \text{gamma}_1, \text{delta}_4, \text{Ht})$$

$$\text{esf2} = \text{esfuerzo}_2(\text{theta}(j), \text{precio}, c_u, \text{delta}_6, k, \text{elas}_2, \text{precio\_ref}, \text{cme\_ref}, \text{Ht}, \text{alfa}_1, \text{gamma}_1, \text{delta}_3)$$

$$\text{esf3} = \text{esfuerzo}_3(c_u, \text{cme\_ref\_e}, \text{Ht}, k, \text{elas}_3, \text{alfa}_1, \text{delta}_5, \text{delta}_6)$$

$$\text{Xmed} = k * ((\text{esf1} \wedge \text{elas}_1) + (\text{esf2} \wedge \text{elas}_2) + (\text{esf3} \wedge \text{elas}_3))$$

$$f_{\text{theta}} = 1 / (\text{lim\_sup\_theta} - \text{lim\_inf\_theta})$$

Funcion integral

$$S_1 = (\text{precio} - \text{alfa}_1 * ((c_u * \text{delta}_6 * \text{theta}(j)) / \text{Ht})) * \text{Xmed}$$

$$S_2 = -0.5 * (\text{esf1} \wedge 2) * \text{delta}_4 * \text{theta}(j)$$

$$S_3 = -c_f * \text{delta}_1 * \text{theta}(j)$$

$$S_4 = -0.5 * (\text{esf2} \wedge 2) * \text{delta}_3 * \text{theta}(j)$$

$$S_8 = (((\text{alfa}_1 * c_u * \text{delta}_6 * \text{theta}(j)) / \text{Ht}) - ((c_u * \text{delta}_6 * \text{theta}(j)) / \text{Ht})) * \text{Xmed} - 0.5 * \text{delta}_5 * \text{theta}(j) * (\text{esf3} \wedge 2) - 0.5 * \text{ro}_s * \text{desvi} * (((\text{alfa}_1 * c_u * \text{delta}_6 * \text{theta}(j)) / \text{Ht}) \wedge 2 + ((c_u * \text{delta}_6 * \text{theta}(j)) / \text{Ht}) \wedge 2)$$

$$S_5 = -0.5 * \text{ro}_c * ((\text{precio} \wedge 2) + (((\text{alfa}_1 * c_u * \text{delta}_6 * \text{theta}(j)) / \text{Ht}) \wedge 2)) * \text{desvi}$$

$$S_6 = -c_v * \text{delta}_2 * \text{theta}(j)$$

S\_7 = FS\_7(theta(j), k, c\_v, precio, delta\_2, delta\_3, precio\_ref, \_  
cme\_ref, cme\_ref\_e, elas\_1, elas\_2, elas\_3, c\_u, Ht, alfa\_1, \_  
gamma\_1, ro\_c, delta\_5, delta\_6, no\_inter, delta\_4, lim\_inf\_theta)

dfj = (S\_1 + S\_2 + S\_3 + S\_4 + S\_5 + S\_6 - S\_7 + S\_8) \* f\_theta

Fi = Fi + (w(j) \* dfj)

Next

SE\_OT = SE\_OT + (((a(i + 1) - a(i)) / 2) \* Fi)

Next

End Function

'PERDIDA DE UTILIDAD DEL CONCESIONARIO DEBIDO A LA INFORMACION  
'PRIVADA DE LA MANO DE OBRA PORTUARIA. INTEGRACION POR GAUSS.

Function FS\_7(lim\_sup As Double, k As Double, c\_v As Double,  
precio As Double, delta\_2 As Double, delta\_3 As Double, \_  
precio\_ref As Double, cme\_ref As Double, cme\_ref\_e As Double, \_  
elas\_1 As Double, elas\_2 As Double, elas\_3 As Double, \_  
c\_u As Double, Ht As Double, alfa\_1 As Double, gamma\_1 \_  
As Double, ro\_c As Double, delta\_5 As Double, delta\_6 \_  
As Double, no\_inter As Integer, delta\_4 As Double, \_  
lim\_inf\_theta As Double) As Double

Dim z(1 To 10) As Double

Dim w(1 To 10) As Double

Dim theta(1 To 11) As Double

Dim esf1 As Double

Dim esf2 As Double

Dim esf3 As Double

Dim Xmed As Double

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim a() As Double

Dim dfj As Double

Dim Fi As Double

ReDim a(1 To (no\_inter + 1)) As Double

'Parametros cuadratura de Gauss

$$z(1) = -0.9739$$

$$z(2) = -0.86506$$

$$z(3) = -0.6794$$

$$z(4) = -0.43339$$

$$z(5) = -0.14887$$

$$z(6) = 0.14887$$

$$z(7) = 0.43339$$

$$z(8) = 0.6794$$

$$z(9) = 0.86506$$

$$z(10) = 0.9739$$

$$w(1) = 0.0667$$

$$w(2) = 0.14945$$

$$w(3) = 0.21908$$

$$w(4) = 0.26926$$

$$w(5) = 0.29552$$

$$w(6) = 0.29552$$

$$w(7) = 0.26926$$

$$w(8) = 0.21908$$

$$w(9) = 0.14945$$

$$w(10) = 0.0667$$

'Inicio bucle subdivision intervalos

$$a(1) = \text{lim\_inf\_theta}$$

$$FS_7 = 0$$

For i = 1 To no\_inter

$$a(i + 1) = a(i) + ((\text{lim\_sup} - a(1)) / \text{no\_inter})$$

'Inicio bucle Gauss

$$dfj = 0$$

$$Fi = 0$$

For j = 1 To 10

$$\theta(j) = 0.5 * (((a(i + 1) - a(i)) * z(j)) + (a(i + 1) + a(i)))$$

'Funciones intermedias

$$\text{esf1} = \text{esfuerzo}_1(\theta(j), \text{precio}, c\_u, \text{delta}_6, k, \text{elas}_1, \text{cme\_ref}, \\ \text{cme\_ref\_e}, \text{alfa}_1, \text{gamma}_1, \text{delta}_4, \text{Ht})$$

$$\text{esf2} = \text{esfuerzo}_2(\theta(j), \text{precio}, c\_u, \text{delta}_6, k, \text{elas}_2, \text{precio\_ref}, \\ \text{cme\_ref}, \text{Ht}, \text{alfa}_1, \text{gamma}_1, \text{delta}_3)$$

$$\text{esf3} = \text{esfuerzo}_3(c\_u, \text{cme\_ref\_e}, \text{Ht}, k, \text{elas}_3, \text{alfa}_1, \text{delta}_5, \text{delta}_6)$$

$$X_{\text{med}} = k * ((\text{esf1} \wedge \text{elas}_1) + (\text{esf2} \wedge \text{elas}_2) + (\text{esf3} \wedge \text{elas}_3))$$

'Funcion integral

$$df_j = (((\text{alfa}_1 * c\_u * \text{delta}_6 * X_{\text{med}}) / \text{Ht}) - 0.5 * (\text{esf3} \wedge 2) \_ \\ * \text{delta}_5 - ((c\_u * \text{delta}_6 * X_{\text{med}}) / \text{Ht}) - 0.5 * \text{ro}_s * \_ \\ ((\text{alfa}_1 * \text{alfa}_1 * 2 * \theta(j) * (((c\_u * \text{delta}_6) / \text{Ht}) \wedge 2)) + \_ \\ (2 * \theta(j) * (((c\_u * \text{delta}_6) / \text{Ht}) \wedge 2))))$$

$$F_i = F_i + (w(j) * df_j)$$

Next

$$FS_7 = FS_7 + (((a(i + 1) - a(i)) / 2) * F_i)$$

Next

End Function

FUNCION PARA CALCULAR EL ESFUERZO b\_1.

Function esfuerzo\_1(theta As Double, precio As Double, c\_u As  
Double, delta\_6 As Double, k As Double, elas\_1 \_  
As Double, cme\_ref As Double, cme\_ref\_e As Double, \_  
alfa\_1 As Double, gamma\_1 As Double, delta\_4 As Double, \_  
Ht As Double) As Double

cme\_ref\_e = 0

esfuerzo\_1 = (((precio + gamma\_1 \* cme\_ref - alfa\_1 \* ((c\_u \* delta\_6 \_  
\* theta) / Ht)) \* k \* elas\_1) / (delta\_4 \* theta)) ^ \_  
(1 / (2 - elas\_1))

End Function

FUNCION PARA CALCULAR EL ESFUERZO b\_2.

Function esfuerzo\_2(theta As Double, precio As Double, c\_u As  
Double, delta\_6 As Double, k As Double, elas\_2 As Double, \_  
precio\_ref As Double, cme\_ref As Double, Ht As Double, \_  
alfa\_1 As Double, gamma\_1 As Double, delta\_3 \_  
As Double) As Double

esfuerzo\_2 = (((precio + (gamma\_1 \* cme\_ref) - (alfa\_1 \* ((c\_u \*  
delta\_6 \* theta) / Ht))) \* k \* \_  
elas\_2) / (delta\_3 \* theta)) ^ (1 / (2 - elas\_2))

End Function

'FUNCION PARA CALCULAR EL ESFUERZO b\_3.

Function esfuerzo\_3(c\_u As Double, cme\_ref\_e As Double, Ht As  
Double, k As Double, elas\_3 As Double, alfa\_1 As Double, \_  
delta\_5 As Double, delta\_6 As Double) As Double

cme\_ref\_e = 0

esfuerzo\_3 = ((k \* elas\_3 \* c\_u \* delta\_6 \* (alfa\_1 - 1)) / (Ht \* delta\_5)) \_  
^ (1 / (2 - elas\_3))

End Function

'FUNCION PARA CALCULAR LA DEMANDA MEDIA DE CONTENEDORES.

Function X\_media(k As Double, theta As Double, c\_v As Double,  
precio As Double, delta\_2 As Double, delta\_3 As Double, \_  
precio\_ref As Double, cme\_ref As Double, cme\_ref\_e \_  
As Double, elas\_1 As Double, elas\_2 As Double, elas\_3 \_  
As Double, c\_u As Double, Ht As Double, alfa\_1 As Double, \_  
gamma\_1 As Double, delta\_4 As Double, delta\_5 As Double, \_  
delta\_6 As Double) As Double

Dim esf1 As Double

Dim esf2 As Double

Dim esf3 As Double

cme\_ref\_e = 0

esf1 = esfuerzo\_1(theta, precio, c\_u, delta\_6, k, elas\_2, cme\_ref,\_  
cme\_ref\_e, alfa\_1, gamma\_1, delta\_4, Ht)

esf2 = esfuerzo\_2(theta, precio, c\_u, delta\_6, k, elas\_2, precio\_ref,\_  
cme\_ref, Ht, alfa\_1, gamma\_1, delta\_3)

esf3 = esfuerzo\_3(c\_u, cme\_ref\_e, Ht, k, elas\_3, alfa\_1, delta\_5,\_  
delta\_6)

X\_media = k \* ((esf1 ^ elas\_1) + (esf2 ^ elas\_2) + (esf3 ^ elas\_3))

End Function

'FUNCION DE PERDIDA DE UTILIDAD DE LA AUTORIDAD PORTUARIA POR  
'LA 'INFORMACION PRIVADA DEL CONCESIONARIO DE LA TERMINAL.  
'CALCULO INTEGRAL POR EL MÉTODO DE GAUSS.

Function fS\_6(lim\_sup As Double, k As Double, c\_v As Double,  
precio As Double, delta\_2 As Double, delta\_3 As Double,\_  
precio\_ref As Double, cme\_ref As Double, cme\_ref\_e As Double, \_  
elas\_1 As Double, elas\_2 As Double, elas\_3 As Double, c\_u \_  
As Double, Ht As Double, alfa\_1 As Double, gamma\_1 As Double,\_  
ro\_c As Double, delta\_4 As Double, lim\_inf\_theta, no\_inter \_  
As Integer, delta\_5 As Double, delta\_6 As Double) As Double

Dim z(1 To 10) As Double

Dim w(1 To 10) As Double

Dim theta(1 To 11) As Double

Dim esf1 As Double

Dim esf2 As Double

Dim esf3 As Double

Dim Xmed As Double

Dim i As Integer

Dim j As Integer

Dim a() As Double

Dim dfj As Double

Dim Fi As Double

ReDim a(1 To (no\_inter + 1)) As Double

'Parametros cuadratura de Gauss

$$z(1) = -0.9739$$

$$z(2) = -0.86506$$

$$z(3) = -0.6794$$

$$z(4) = -0.43339$$

$$z(5) = -0.14887$$

$$z(6) = 0.14887$$

$$z(7) = 0.43339$$

$$z(8) = 0.6794$$

$$z(9) = 0.86506$$

$$z(10) = 0.9739$$

$$w(1) = 0.0667$$

$$w(2) = 0.14945$$

$$w(3) = 0.21908$$

$$w(4) = 0.26926$$

$$w(5) = 0.29552$$

$$w(6) = 0.29552$$

$$w(7) = 0.26926$$

$$w(8) = 0.21908$$

$$w(9) = 0.14945$$

$$w(10) = 0.0667$$

'Inicio bucle subdivision intervalos

$$a(1) = \text{lim\_inf\_theta}$$

$$fS\_6 = 0$$

For i = 1 To no\_inter

$$a(i + 1) = a(i) + ((\text{lim\_sup} - a(1)) / \text{no\_inter})$$

'Inicio bucle Gauss

$$dfj = 0$$

$$Fi = 0$$

For j = 1 To 10

$$\text{theta}(j) = 0.5 * (((a(i + 1) - a(i)) * z(j)) + (a(i + 1) + a(i)))$$

'Funciones intermedias

esf1 = esfuerzo\_1(theta(j), precio, c\_u, delta\_6, k, elas\_1, cme\_ref,\_  
cme\_ref\_e, alfa\_1, gamma\_1, delta\_4, Ht)

esf2 = esfuerzo\_2(theta(j), precio, c\_u, delta\_6, k, elas\_2, precio\_ref,\_  
cme\_ref, Ht, alfa\_1, gamma\_1, delta\_3)

esf3 = esfuerzo\_3(c\_u, cme\_ref\_e, Ht, k, elas\_3, alfa\_1, delta\_5, delta\_6)

Xmed = k \* ((esf1 ^ elas\_1) + (esf2 ^ elas\_2) + (esf3 ^ elas\_3))

'Funcion integral

dfj = -(0.5 \* delta\_4 \* ((esf1) ^ 2)) - (cf \* delta\_1) - (c\_v \* delta\_2)\_  
- (gamma\_1 \* precio\_ref) - (0.5 \* delta\_3 \* ((esf2) ^ 2)) - (ro\_c \* \_  
desvi \* ((alfa\_1 \* alfa\_1 \* c\_u \* c\_u \* delta\_6 \* delta\_6 \* theta(j))\_  
/ (Ht \* Ht)))

Fi = Fi + (w(j) \* dfj)

Next

fS\_6 = fS\_6 + (((a(i + 1) - a(i)) / 2) \* Fi)

Next

End Function

'CALCULO DEL EQUILIBRIO BAYES-NASH. IMPLEMENTACION ALGORITMO.

Function SOL(max\_gamma As Double, min\_gamma As Double, min\_alfa As Double, max\_alfa As Double, cf As Double, c\_u As Double, c\_v As Double, delta\_1 As Double, delta\_2 As Double, delta\_3 As Double, delta\_4 As Double, ro\_c As Double, ro\_s As Double, precio\_ \_ As Double, k As Double, precio\_ref As Double, desvi As Double, \_ cme\_ref As Double, cme\_ref\_e As Double, Ht As Double, \_ elas\_1 As Double, elas\_2 As Double, elas\_3 As Double, \_ lim\_sup\_theta As Double, lim\_inf\_theta As Double, no\_inter\_ As Integer, delta\_5 As Double, delta\_6 As Double, alfa\_0 As Double) As Double

Dim gamma\_0 As Double

Dim D\_gamma() As Double

Dim D\_alfa() As Double

Dim inter\_gamma As Double

Dim inter\_alfa As Double

Dim D\_OT\_AP As Double

Dim OT\_AP\_a As Double

Dim OT\_AP\_b As Double

Dim SE\_OT\_K\_1 As Double

Dim SE\_OT\_K As Double

Dim i As Integer

Dim j As Integer

ReDim D\_gamma(1 To (no\_inter + 1)) As Double

ReDim D\_alfa(1 To (100)) As Double

gamma\_0 = 2

SOL = 0

inter\_gamma = (max\_gamma - min\_gamma) / no\_inter

inter\_alfa = (max\_alfa - min\_alfa) / no\_inter

D\_gamma(1) = min\_gamma

D\_alfa(1) = min\_alfa

D\_alfa(2) = D\_alfa(1) + 0.05

i: For i = 1 To no\_inter\_gamma

    D\_gamma(i + 1) = D\_gamma(i) + inter\_gamma

j: For j = 1 To 100

    SE\_OT\_K\_1 = SE\_OT(c\_u, c\_v, ro\_s, ro\_c, desvi, k, precio,\_  
        precio\_ref, Ht, cme\_ref\_e, cme\_ref, elas\_1,\_

elas\_2, elas\_3, delta\_2, delta\_3, delta\_4, \_  
D\_alfa(j + 1), gamma\_0, D\_gamma(i), cf, \_  
lim\_sup\_theta, lim\_inf\_theta, no\_inter, delta\_5, \_  
delta\_6, alfa\_0)

SE\_OT\_K = SE\_OT(c\_u, c\_v, ro\_s, ro\_c, desvi, k, precio, \_  
precio\_ref, Ht, cme\_ref\_e, cme\_ref, elas\_1, elas\_2, \_  
elas\_3, delta\_2, delta\_3, delta\_4, D\_alfa(j), gamma\_0, \_  
D\_gamma(i), cf, lim\_sup\_theta, lim\_inf\_theta, no\_inter, \_  
delta\_5, delta\_6)

$D_{\text{alfa}}(j + 2) = D_{\text{alfa}}(j + 1) - SE_{\text{OT\_K\_1}} * ((D_{\text{alfa}}(j + 1) - D_{\text{alfa}}(j)) / (SE_{\text{OT\_K\_1}} - SE_{\text{OT\_K}}))$

If  $(D_{\text{alfa}}(j + 2) - D_{\text{alfa}}(j + 1)) < 0.05$  Then

OT\_AP\_b = AP\_OT(estimador, cf, c\_u, c\_v, delta\_1, delta\_2, \_  
delta\_3, delta\_4, ro\_c, ro\_s, precio, k, precio\_ref, \_  
desvi, cme\_ref, cme\_ref\_e, Ht, elas\_1, elas\_2, elas\_3, \_  
no\_inter, D\_alfa(j + 2), D\_gamma(i + 1), lim\_sup\_theta, \_  
lim\_inf\_theta, delta\_5, delta\_6)

OT\_AP\_a = AP\_OT(estimador, cf, c\_u, c\_v, delta\_1, delta\_2, \_  
delta\_3, delta\_4, ro\_c, ro\_s, precio, k, precio\_ref, \_  
desvi, cme\_ref, cme\_ref\_e, Ht, elas\_1, elas\_2, elas\_3, \_  
no\_inter, D\_alfa(j + 2), D\_gamma(i), lim\_sup\_theta, \_  
lim\_inf\_theta, delta\_5, delta\_6)

If  $((OT\_AP\_b - OT\_AP\_a) / (D_{\text{gamma}}(i + 1) - D_{\text{gamma}}(i))) < 0.05$  Then

SOL = D\_alfa(i + 1)

'ActiveSheet.Range("g19").Value = D\_alfa(i + 1)

Else: GoTo i

End If

Else: GoTo j

End If

Next

Next

End Function

## Apéndice B

# Cuentas de Pérdidas y Ganancias de la terminal de contenedores.

		Año 2004	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024	
<i>Cifras en Euros</i>																							
<b>INGRESOS</b>		<b>8.609.247</b>	<b>18.382.236</b>	<b>30.449.347</b>	<b>35.969.169</b>	<b>38.708.095</b>	<b>41.646.384</b>	<b>44.798.756</b>	<b>48.181.032</b>	<b>50.951.485</b>	<b>52.489.342</b>	<b>54.085.235</b>	<b>55.742.079</b>	<b>57.462.975</b>	<b>59.251.219</b>	<b>61.110.315</b>	<b>63.043.994</b>	<b>65.056.227</b>	<b>67.151.245</b>	<b>69.333.552</b>	<b>71.607.952</b>	<b>73.979.563</b>	
<b>TOTAL VENTAS</b>		<b>8.609.247</b>	<b>18.382.236</b>	<b>30.449.347</b>	<b>35.969.169</b>	<b>38.708.095</b>	<b>41.646.384</b>	<b>44.798.756</b>	<b>48.181.032</b>	<b>50.951.485</b>	<b>52.489.342</b>	<b>54.085.235</b>	<b>55.742.079</b>	<b>57.462.975</b>	<b>59.251.219</b>	<b>61.110.315</b>	<b>63.043.994</b>	<b>65.056.227</b>	<b>67.151.245</b>	<b>69.333.552</b>	<b>71.607.952</b>	<b>73.979.563</b>	
	Contenedores transbordo	7.422.072	15.748.450	23.506.003	27.316.272	29.404.941	31.644.949	34.047.438	36.624.382	38.664.343	39.630.952	40.621.726	41.637.269	42.678.201	43.745.156	44.838.784	45.959.754	47.108.748	48.286.467	49.493.628	50.730.969	51.999.243	
	Contenedores local	1.187.175	2.633.786	4.048.861	4.734.933	5.102.482	5.497.324	5.921.498	6.377.199	6.732.361	6.900.670	7.073.186	7.250.016	7.431.267	7.617.048	7.807.474	8.002.661	8.202.728	8.407.796	8.617.991	8.833.441	9.054.277	
<b>GASTOS</b>		<b>7.480.916</b>	<b>13.251.336</b>	<b>21.271.777</b>	<b>26.285.902</b>	<b>28.577.336</b>	<b>30.545.184</b>	<b>32.508.385</b>	<b>34.611.247</b>	<b>36.347.233</b>	<b>37.459.728</b>	<b>38.614.713</b>	<b>39.814.340</b>	<b>41.060.899</b>	<b>42.356.823</b>	<b>43.704.705</b>	<b>45.102.956</b>	<b>46.563.097</b>	<b>48.084.019</b>	<b>49.669.056</b>	<b>51.321.767</b>	<b>53.045.945</b>	
<b>CONTENEDORES</b>		<b>6.528.828</b>	<b>11.851.173</b>	<b>17.309.854</b>	<b>21.497.651</b>	<b>23.514.961</b>	<b>25.190.259</b>	<b>26.841.151</b>	<b>28.610.509</b>	<b>30.003.742</b>	<b>30.769.510</b>	<b>31.555.001</b>	<b>32.360.734</b>	<b>33.187.242</b>	<b>34.035.072</b>	<b>34.904.788</b>	<b>35.792.623</b>	<b>36.707.753</b>	<b>37.646.552</b>	<b>38.609.649</b>	<b>39.597.690</b>	<b>40.611.341</b>	
	Personal operativo	3.201.667	6.971.025	10.567.011	13.864.608	14.921.784	16.059.570	17.284.112	18.602.026	19.608.164	20.098.368	20.600.827	21.115.848	21.643.744	22.184.838	22.739.459	23.307.945	23.890.644	24.487.910	25.100.108	25.727.610	26.370.801	
	Personal Estructura	1.578.380	1.811.152	2.143.761	2.280.849	2.349.275	2.419.753	2.492.345	2.567.116	2.644.129	2.723.453	2.805.157	2.889.311	2.975.991	3.065.270	3.157.229	3.251.945	3.349.504	3.449.989	3.553.489	3.660.093	3.769.896	
	Consumos	257.333	593.475	946.263	1.108.479	1.193.001	1.283.967	1.381.870	1.487.237	1.567.678	1.606.870	1.647.042	1.688.218	1.730.424	1.773.684	1.818.026	1.863.477	1.910.064	1.957.815	2.006.761	2.056.930	2.108.353	
	Seguros	391.041	579.162	768.133	828.395	909.772	936.422	964.016	992.600	1.020.333	1.045.881	1.072.071	1.098.919	1.126.442	1.154.656	1.183.580	1.213.231	1.243.628	1.274.790	1.306.736	1.339.487	1.373.063	
	Fijo	373.183	540.005	707.484	757.736	833.700	854.543	875.906	897.804	920.249	943.255	966.837	991.008	1.015.783	1.041.177	1.067.207	1.093.887	1.121.234	1.149.265	1.177.997	1.207.447	1.237.633	
	Variable	17.857	39.157	60.649	70.659	76.072	81.879	88.110	94.796	100.084	102.626	105.234	107.911	110.659	113.479	116.373	119.344	122.394	125.525	128.740	132.041	135.431	
	Reparaciones y mantenimiento	560.674	759.257	1.112.266	1.377.083	1.964.800	2.155.346	2.209.229	2.264.460	2.321.071	2.379.098	2.438.576	2.499.540	2.562.029	2.626.079	2.691.731	2.759.024	2.828.000	2.898.700	2.971.168	3.045.447	3.121.583	
	Gastos Generales	539.734	1.137.102	1.772.421	2.038.237	2.176.330	2.335.202	2.509.578	2.697.070	2.842.366	2.915.839	2.991.329	3.068.898	3.148.613	3.230.544	3.314.763	3.397.000	3.485.914	3.577.348	3.671.388	3.768.122	3.867.645	
<b>CÁNONES</b>		<b>952.088</b>	<b>1.400.163</b>	<b>2.009.099</b>	<b>2.136.488</b>	<b>2.216.962</b>	<b>2.301.508</b>	<b>2.390.382</b>	<b>2.483.863</b>	<b>2.568.760</b>	<b>2.638.461</b>	<b>2.710.316</b>	<b>2.784.411</b>	<b>2.860.836</b>	<b>2.939.684</b>	<b>3.021.055</b>	<b>3.105.053</b>	<b>3.191.790</b>	<b>3.281.382</b>	<b>3.373.952</b>	<b>3.469.630</b>	<b>3.568.555</b>	
	Canon de Ocupación	846.788	1.157.315	1.566.015	1.605.166	1.645.295	1.686.427	1.728.588	1.771.803	1.816.098	1.861.500	1.908.038	1.955.739	2.004.632	2.054.748	2.106.117	2.158.769	2.212.739	2.268.057	2.324.759	2.382.878	2.442.449	
	Canon de Actividad	105.300	242.848	443.084	531.322	571.667	615.080	661.794	712.061	752.663	776.961	802.279	828.673	856.204	884.936	914.938	946.284	979.051	1.013.324	1.049.193	1.086.752	1.126.105	
<b>EBITDA</b>		<b>1.447.731</b>	<b>5.867.516</b>	<b>10.552.221</b>	<b>11.339.182</b>	<b>11.912.445</b>	<b>13.018.221</b>	<b>14.353.019</b>	<b>15.789.137</b>	<b>16.951.317</b>	<b>17.455.287</b>	<b>17.978.271</b>	<b>18.521.233</b>	<b>19.085.199</b>	<b>19.671.257</b>	<b>20.280.566</b>	<b>20.918.706</b>	<b>21.578.407</b>	<b>22.265.307</b>	<b>22.980.896</b>	<b>23.726.761</b>	<b>24.504.593</b>	
<b>AMORTIZACIÓN DEL ACTIVO FIJO</b>		<b>1.761.402</b>	<b>2.989.992</b>	<b>4.016.059</b>	<b>4.869.929</b>	<b>5.032.931</b>	<b>4.950.463</b>	<b>4.867.522</b>	<b>4.867.522</b>	<b>4.876.978</b>	<b>4.799.461</b>	<b>4.764.528</b>	<b>4.688.496</b>	<b>4.686.450</b>	<b>4.673.315</b>	<b>4.590.649</b>	<b>4.590.649</b>	<b>4.601.457</b>	<b>4.601.457</b>	<b>4.587.407</b>	<b>4.583.087</b>	<b>4.677.150</b>	
	Obra civil	637.186	1.097.980	1.584.133	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	
	Equipos	763.286	1.365.473	1.905.388	2.328.602	2.491.604	2.770.066	2.770.066	2.770.066	2.779.522	2.702.005	2.667.072	2.591.040	2.588.994	2.575.859	2.575.859	2.575.859	2.586.667	2.586.667	2.572.618	2.568.297	2.662.360	
	Otros	360.930	526.538	526.538	526.538	526.538	165.608	82.667	82.667	82.667	82.667	82.667	82.667	82.667	82.667	0	0	0	0	0	0	0	
<b>RTDO. DE EXPLOTACIÓN ANTES IMPUESTOS</b>		<b>-313.670</b>	<b>2.877.525</b>	<b>6.536.162</b>	<b>6.469.253</b>	<b>6.879.514</b>	<b>8.067.759</b>	<b>9.485.498</b>	<b>10.921.615</b>	<b>12.074.338</b>	<b>12.655.826</b>	<b>13.213.743</b>	<b>13.832.737</b>	<b>14.398.748</b>	<b>14.997.941</b>	<b>15.689.918</b>	<b>16.328.057</b>	<b>16.976.950</b>	<b>17.663.850</b>	<b>18.393.489</b>	<b>19.143.674</b>	<b>19.827.444</b>	

Tabla B.1: Cuenta de Pérdidas y Ganancias del concesionario de la terminal prevista para cada uno de años de la concesión.

	Año 2004	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024
<b>INGRESOS POR TARIFAS</b>	3.201.667	6.971.025	10.567.011	13.864.608	14.921.784	16.059.570	17.284.112	18.602.026	19.608.164	20.098.368	20.600.827	21.115.848	21.643.744	22.184.838	22.739.459	23.307.945	23.890.644	24.487.910	25.100.108	25.727.610	26.370.801
<b>GASTOS</b>	435.000	978.750	1.522.500	1.740.000	1.827.000	1.918.350	2.014.268	2.114.981	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000
<b>RTDO. DE EXPLOTACIÓN ANTES IMPUESTOS</b>	2.766.667	5.992.275	9.044.511	12.124.608	13.094.784	14.141.220	15.269.845	16.487.045	17.433.164	17.923.368	18.425.827	18.940.848	19.468.744	20.009.838	20.564.459	21.132.945	21.715.644	22.312.910	22.925.108	23.552.610	24.195.801

Tabla B.2: Cuenta de Pérdida y Ganancias de la sociedad de estiba y desestiba prevista durante la concesión.

	Año 2004	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024
Cifras en Euros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<b>INGRESOS</b>	9.886.561	21.109.522	34.966.974	41.305.745	44.451.033	47.825.262	51.445.337	55.329.425	58.510.917	60.276.939	62.109.607	64.012.270	65.988.487	68.042.043	70.176.965	72.397.535	74.708.314	77.114.159	79.620.246	82.232.087	84.955.563
<b>TOTAL VENTAS</b>	9.886.561	21.109.522	34.966.974	41.305.745	44.451.033	47.825.262	51.445.337	55.329.425	58.510.917	60.276.939	62.109.607	64.012.270	65.988.487	68.042.043	70.176.965	72.397.535	74.708.314	77.114.159	79.620.246	82.232.087	84.955.563
<b>GASTOS</b>	12.732.768	-22.079.909	20.266.462	28.580.180	37.693.701	40.839.788	44.004.424	47.369.808	50.726.432	52.584.750	53.106.473	53.636.905	54.198.359	54.772.901	55.369.335	55.980.297	56.619.004	57.277.322	57.956.949	58.662.574	59.407.477
<b>CONTENEDORES</b>	7.009.206	16.698.945	20.547.992	28.861.711	32.876.537	34.960.330	36.978.341	39.110.863	41.139.675	42.362.830	42.892.086	43.432.566	44.001.738	44.588.232	45.195.959	45.818.900	46.469.301	47.140.051	47.831.482	48.548.152	49.304.548
Personal operativo	2.195.205	8.686.075	8.686.075	15.178.266	17.776.956	18.816.893	19.909.542	21.055.155	22.258.091	22.976.610	22.976.367	22.977.377	22.978.153	22.979.355	22.980.490	22.981.694	22.982.870	22.984.120	22.985.306	22.986.417	22.987.572
Personal Estructura	1.578.380	1.811.152	2.143.761	2.280.849	2.349.275	2.419.753	2.492.345	2.567.116	2.644.129	2.723.453	2.805.157	2.889.311	2.975.991	3.065.270	3.157.229	3.251.945	3.349.504	3.449.989	3.553.489	3.660.093	3.769.896
Consumos	257.333	593.475	946.263	1.108.479	1.193.001	1.283.967	1.381.870	1.487.237	1.567.678	1.606.870	1.647.042	1.688.218	1.730.424	1.773.684	1.818.026	1.863.477	1.910.064	1.957.815	2.006.761	2.056.930	2.108.353
Seguros	391.041	579.162	768.133	828.395	909.772	936.422	964.016	992.600	1.020.333	1.045.881	1.072.071	1.098.919	1.126.442	1.154.656	1.183.580	1.213.231	1.243.628	1.274.790	1.306.736	1.339.487	1.373.063
Fijo	373.183	540.005	707.484	757.736	833.700	854.543	875.906	897.804	920.249	943.256	966.837	991.008	1.015.783	1.041.177	1.067.207	1.093.887	1.121.234	1.149.265	1.177.997	1.207.447	1.237.633
Variable	17.857	39.157	60.649	70.659	76.072	81.879	88.110	94.796	100.084	102.626	105.234	107.911	110.659	113.479	116.373	119.344	122.394	125.525	128.740	132.041	135.431
Reparaciones y mantenimiento	560.674	759.257	1.112.266	1.377.083	1.964.800	2.155.346	2.209.229	2.264.460	2.321.071	2.379.098	2.438.576	2.499.540	2.562.029	2.626.079	2.691.731	2.759.024	2.828.000	2.898.700	2.971.168	3.045.447	3.121.583
Gastos Generales	539.734	1.137.102	1.772.421	2.038.237	2.176.330	2.335.202	2.509.578	2.697.070	2.842.366	2.915.839	2.991.329	3.068.898	3.148.613	3.230.544	3.314.763	3.397.000	3.485.914	3.577.348	3.671.388	3.768.122	3.867.645
Costes adicionales por esfuerzo b_1	1.291.387	2.757.335	4.567.402	5.395.375	5.806.214	6.246.958	6.719.813	7.227.155	7.642.723	7.873.401	8.112.785	8.361.312	8.619.446	8.887.683	9.166.547	9.456.599	9.758.434	10.072.687	10.400.033	10.741.193	11.096.935
Costes adicionales por esfuerzo b_2	195.453	375.386	551.671	655.026	700.190	765.790	791.947	820.070	843.283	842.677	848.760	848.991	860.641	870.961	883.593	895.929	910.887	924.602	936.601	950.463	979.501
<b>CÁNONES</b>	5.723.562	-38.778.854	-281.530	-281.530	4.817.164	5.879.459	7.026.083	8.258.945	9.586.756	10.221.920	10.214.387	10.204.339	10.196.621	10.184.669	10.173.376	10.161.398	10.149.703	10.137.271	10.125.467	10.114.422	10.102.929
Fijo	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000	-5.000.000
Variable	10.723.562	-33.778.854	4.718.470	4.718.470	9.817.164	10.879.459	12.026.083	13.258.945	14.586.756	15.221.920	15.214.387	15.204.339	15.196.621	15.184.669	15.173.376	15.161.398	15.149.703	15.137.271	15.125.467	15.114.422	15.102.929
<b>EBITDA</b>	-2.846.207	43.189.431	14.700.512	12.725.565	6.757.331	6.985.474	7.440.913	7.959.617	7.784.485	7.692.189	9.003.134	10.375.364	11.790.128	13.269.142	14.807.629	16.417.237	18.089.310	19.836.837	21.663.297	23.569.513	25.548.087
<b>AMORTIZACIÓN DEL ACTIVO FIJO</b>	1.761.402	2.989.992	4.016.059	4.869.929	5.032.931	4.950.463	4.867.522	4.867.522	4.876.978	4.799.461	4.764.528	4.688.496	4.686.450	4.673.315	4.590.649	4.590.649	4.601.457	4.601.457	4.587.407	4.583.087	4.677.150
Obra civil	637.186	1.097.980	1.584.133	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789	2.014.789
Equipos	763.286	1.365.473	1.905.388	2.328.602	2.491.604	2.770.066	2.770.066	2.770.066	2.779.522	2.702.005	2.667.072	2.591.040	2.588.994	2.575.859	2.575.859	2.575.859	2.586.667	2.586.667	2.572.618	2.568.297	2.662.360
Otros	360.930	526.538	526.538	526.538	526.538	165.608	82.667	82.667	82.667	82.667	82.667	82.667	82.667	82.667	0	0	0	0	0	0	0
<b>RTDO. DE EXPLOTACIÓN ANTES IMPUESTOS</b>	-4.607.609	40.199.439	10.684.453	7.855.636	1.724.400	2.035.011	2.573.391	3.092.095	2.907.507	2.892.728	4.238.606	5.686.868	7.103.678	8.595.827	10.216.981	11.826.589	13.487.853	15.235.380	17.075.890	18.986.426	20.870.937

Tabla B.3: Cuenta de Pérdida y Ganancias del concesionario de la terminal adoptando el canon y la tarifa de la estiba y desestiba definidos en la tesis.

	Año 2004	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024
<b>INGRESOS POR TARIFAS</b>	2.195.205	8.686.075	8.686.075	15.178.266	17.776.956	18.816.893	19.909.542	21.055.155	22.258.091	22.976.610	22.976.367	22.977.377	22.978.153	22.979.355	22.980.490	22.981.694	22.982.870	22.984.120	22.985.306	22.986.417	22.987.572
<b>GASTOS</b>	478.500	1.076.625	1.674.750	1.914.000	2.009.700	2.110.185	2.215.694	2.326.479	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500	2.392.500
Anteriores	435.000	978.750	1.522.500	1.740.000	1.827.000	1.918.350	2.014.268	2.114.981	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000	2.175.000
Adicionales por esfuerzo b_3	43.500	97.875	152.250	174.000	182.700	191.835	201.427	211.498	217.500	217.500	217.500	217.500	217.500	217.500	217.500	217.500	217.500	217.500	217.500	217.500	217.500
<b>RTDO. DE EXPLOTACIÓN ANTES IMPUESTOS</b>	1.716.705	7.609.450	7.011.325	13.264.266	15.767.256	16.706.708	17.693.848	18.728.676	19.865.591	20.583.110	20.583.867	20.584.877	20.585.653	20.586.855	20.587.990	20.589.194	20.590.370	20.591.620	20.592.806	20.593.917	20.595.072

Tabla B.4: Cuenta de Pérdida y Ganancias de la sociedad de estiba y desestiba con la nueva tarifa.

