

---

## DETERMINACION DE FUNCIONES DE CONGESTION PORTUARIA

**Alejandro Bontes G. - Edison Acuña L.**  
Ings. Civiles Industriales, INECON Ltda.  
Villavicencio 361 of. 105, Santiago  
F: 6339142, Fax: 6335092

**Jaime Gibson A.**  
Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones  
Amunátegui 139, 4º piso, Santiago.

### RESUMEN

En el marco de la ejecución del estudio "Desarrollo de un Sistema de Tarificación Portuaria", que INECON tuvo a su cargo a petición del MINTRATEL, se formularon y estimaron funciones de congestión portuaria. El objetivo principal de dicho estudio fue la elaboración de una metodología para el cálculo de tarifas de muellaje y su aplicación a los 10 puertos administrados por EMPORCHI, a cuyo efecto es indispensable contar con dichas funciones. Ellas deben ser confiables y simples de aplicar.

Se adoptó un enfoque econométrico ante la inadecuación de modelos formales de teoría de colas para representar puertos con varios sitios y altos niveles de ocupación. El modelo adoptado contiene como variables independientes la tasa de ocupación  $\mu$  y el tamaño del puerto, medido a través del número de sitios equivalentes. La variable dependiente es la razón tiempo de espera/tiempo de servicio. El modelo fue calibrado con datos de San Antonio, Valparaíso y San Vicente-Talcahuano.

El trabajo describe el análisis de los datos y la fundamentación de la decisión sobre cómo agregarlos en el tiempo para calcular la tasa de ocupación y la razón tiempo de espera-tiempo de servicio, aspecto muy influyente en la calidad de la estimación. A continuación, se presenta el proceso de especificación y estimación del modelo. En una primera etapa, se trabaja a nivel de cada puerto y luego se genera un modelo agregado que contiene el tamaño del puerto como variable. Se hace una discusión sobre la calidad estadística de la estimación y la bondad del modelo, en términos de su comportamiento para fines predictivos.



## 1. INTRODUCCIÓN

En el marco del diseño de un sistema tarifario y su aplicación a los puertos administrados por Emporchi, trabajo desarrollado por INECON Ltda. a petición del Mintratel (Inecon, 1994), fue necesario establecer una expresión analítica que permitiera predecir el nivel de congestión de un puerto ante distintos grados de ocupación de sus frentes de atraque. Ello motivado por la necesidad de que las tarifas proporcionen una señal que refleje el grado de escasez de dicho recurso (frentes de atraque) para lo cual es indispensable el cálculo de costos marginales.

En general, existen 3 métodos para la estimación de funciones de congestión. Uno de ellos consiste en el desarrollo de modelos teóricos basados en la teoría de colas, los cuales tienen la desventaja de ser muy complejos ya que en la mayor parte de los casos no hay soluciones analíticas a las ecuaciones de comportamiento y se debe recurrir a soluciones numéricas. Otro método, radica en la confección de modelos de simulación computacionales que representen los fenómenos de espera que se observan en los puertos, no obstante poseen la desventaja de ser muy difíciles de calibrar y prácticamente imposibles de incorporar dentro del marco de una ley o reglamento tarifario. Finalmente, existen los modelos econométricos que a pesar de tener una menor capacidad predictiva, poseen claras ventajas para su utilización en un sistema tarifario, las cuales se enumeran a continuación:

- Son relativamente simples de estimar y actualizar,
- Son más flexibles y pueden ser aplicados a terminales portuarios de distintas características.
- Es factible incorporarlos a una ley o reglamento tarifario.
- La información necesaria para su estimación se encuentra disponible.
- Las expresiones que se obtienen son derivables analíticamente.

Teniendo en consideración las cualidades comentadas y el hecho de que ya fueron utilizados en estudios anteriores (Instituto de Economía U.C., 1988), se optó por usar modelos econométricos.

## 2. ANTECEDENTES PREVIOS: EL MODELO DEL ESTUDIO UC

En un estudio de tarifas portuarias realizado anteriormente (Instituto de Economía Universidad Católica, 1988) con el objeto de determinar curvas de congestión, necesarias para aplicar el sistema diseñado, se llevó a cabo un ajuste de tipo econométrico a datos existentes en los puertos para los años 1987 y 1988. La especificación de la función empleada es del tipo:

$$\frac{W}{S} = A e^{-B\mu} \quad (1)$$

donde:

- W/S = relación entre el tiempo de demora esperado de una nave y su tiempo de servicio (para cada puerto).  
 $\mu$  = porcentaje de ocupación del puerto. Este coeficiente lo define EMPORCHI como las horas-sitio en que los sitios equivalentes con que cuenta el puerto fueron ocupados por naves que pueden o no haber realizado faenas.  
 A, B = parámetros a estimar (para cada puerto).



Los valores de los parámetros obtenidos, se muestran en la Tabla 1.

TABLA N° 1  
ESTIMACIÓN DEL MODELO DE CONGESTIÓN UC

Puerto	A	B	R <sup>2</sup>
Valparaíso	0.00140 (15.1)*	0.05176 (7.59)*	0.89
San Antonio	0.00176 (1.32)*	0.05269 (4.71)*	0.72
Talcahuano	0.00888 (-9.61)*	0.04881 (7.73)*	0.73
San Vicente	0.00579 (-5.82)	0.04912 (4.77)*	0.56

\* Valor del estadígrafo t para cada coeficiente.

Adicionalmente, con el objeto de hacer el modelo econométrico obtenido más general y aplicable a otros puertos sin información, el estudio de la UC ajustó un nuevo modelo considerando en este caso como variable independiente el número de sitios existente en cada puerto. El modelo ajustado fue el siguiente:

$$\frac{W}{S} = A e^{B\mu} e^{dn} \quad (2)$$

en que:

- n = número de sitios existentes en el puerto.  
 $\mu$  = porcentaje de ocupación.  
A, B, d = parámetros a determinar.

La metodología usada fue la de construir una familia de curvas de espera, agregándose al modelo ya obtenido la variable número de sitios n, regresionando la base de datos con las curvas de espera que ya se conocían y tomando como variables explicativas a  $\mu$  y n. Los casos resueltos fueron :

- i = 1 Valparaíso n(1) = 7 (todos valores de 1987)  
i = 2 San Antonio n(2) = 3  
i = 3 Talcahuano n(3) = 1  
i = 4 San Vicente n(4) = 2

Los valores encontrados para los parámetros fueron los siguientes (estadígrafos t entre paréntesis):

- A = 0.01463594 (19.34)  
B = 0.04632976 (16.06)  
d = -0.03304779 (-8.91)

con un ajuste

$$R^2 = 0.90$$



### 3. ESTIMACION DE UN NUEVO MODELO ECONOMETRICO

En el desarrollo del estudio, se estimó necesario determinar un nuevo modelo econométrico, en atención a los siguientes aspectos:

- Para niveles altos de ocupación, como los que se observaron en San Vicente en 1991, el modelo U.C. sobreestima los niveles de espera observados.
- Existen pronunciadas diferencias entre el valor de los parámetros asociados al modelo general U.C. y aquellos obtenidos en los modelos específicos, situación que hace dudar sobre su estabilidad y por tanto de los resultados de su aplicación a los distintos puertos.
- Los rangos de ocupación cubiertos por los datos utilizados por la U.C. no son muy amplios y no cubren, por ejemplo, niveles de ocupación como los observados en San Vicente durante 1991.
- La periodización adoptada en el estudio U.C. para analizar esperas y niveles de ocupación es mensual, lo que determina la existencia de un número reducido de datos para el análisis estadístico.
- Los datos utilizados por la U.C. pueden considerarse antiguos dado que las prácticas operacionales en los puertos cambian, y que los tipos y mezclas de naves que se observaron durante 1991 son diferentes a los de 1987.

#### 3.1 INFORMACION UTILIZADA

Para obtener los valores de espera y estadía de las naves en los puertos se utilizó como información básica los siguientes documentos: cartas de atraque e informes de naves a la gira, correspondientes a los puertos de San Antonio, Valparaíso y San Vicente - Talcahuano para el año 1991 y San Vicente - Talcahuano para el período comprendido entre Julio 1992 y Junio 1993. En el caso de los puertos de San Vicente - Talcahuano se utilizó información de dos períodos puesto que en uno de ellos San Vicente contaba con dos sitios y se observó una alta congestión, mientras que en el otro más reciente este puerto contaba con tres sitios y otros niveles de ocupación y congestión.

No se utilizó para este efecto la información del resto de los puertos porque no presentan espera de naves estadísticamente significativas. Por otro lado, se consideró el número de sitios existentes y operativos en cada puerto en los períodos mencionados.

El objetivo del proceso fue obtener puntos representativos de (W/S) versus porcentajes de ocupación observados en cada período, donde W y S corresponden al tiempo de espera y tiempo de servicio que se observaron en el sistema durante un período determinado, medidos en horas; y la ocupación corresponde al tiempo total de servicio generado en el sistema dividido por el largo del período considerado y dividido por el número de sitios en operación en dicho período<sup>1</sup>.

1 Cabe destacar que la relación W/S, considerando tiempos totales, es igual a la relación  $tw/ts$  utilizando tiempos promedios por nave. Para efectos de la estimación de las funciones se prefirió usar la primera.



### 3.2 DEPURACION DE LOS DATOS

La información utilizada para los ajustes tuvo que ser exhaustivamente revisada previamente a fin de detectar y subsanar en lo posible una serie de problemas que ésta contiene y adoptar ciertos criterios para su posterior uso.

- \* Los principales errores encontrados en los datos provienen de campos vacíos en las Cartas de Atraque. Para solucionar este problema, se utilizó el resto de la información disponible (boletines, informes de actividades, etc), se solicitó al puerto respectivo aquellos datos faltantes y por último, se completaron a partir de la información contenida en la misma base de datos (aunque no correspondiera exactamente al dato faltante utilizando para ello algunas aproximaciones razonables). También se encuentran inconsistencias en la información que quedan más allá de un simple error de tipeo, y que sugieren el empleo de diferentes mecanismos o técnicas para la medición, estimación o cálculo de parámetros físicos. Las naves se repiten con cierta frecuencia en un mismo puerto (o aparecen asociadas a varios puertos) y poseen características físicas distintas (variaciones considerables de eslora, manga y/o TRG).
- \* No todas las Cartas de Atraque se completan de idéntica manera. En algunos puertos, los campos asociados a Fecha-Hora Fondeo y Fecha-Hora Disponibilidad Atraque se llenan sólo con la fecha y no con la hora, lo que impide completar los tiempos de espera faltantes.
- \* Datos erróneos, casos en que por ejemplo, la fecha de atraque es anterior a la fecha de fondeo. Otras veces, se advierte el error en que en dos cartas consecutivas (asociadas a barcos distintos) se asigna el mismo sitio de atraque, durante las mismas horas (del mismo día), teniendo ambas los campos idénticos. Datos ilegibles, aunque no puede considerarse que esto constituya un porcentaje importante de las Cartas de Atraque, en algunos casos, no se entiende claramente lo que se anotó.
- \* Las expresiones utilizadas en los distintos puertos no siempre corresponden a conceptos únicos, variando éstos en función de la operación normal de ellos. Así, en algunos puertos que no atienden generalmente a naves pesqueras pequeñas, éstas aparecen sólo en las Cartas de Atraque Simplificadas, al contrario de lo que ocurre en puertos donde la actividad pesquera es muy importante.
- \* Las causales de espera consideradas en los datos atribuibles a congestión fueron las siguientes:
  - Congestión en el puerto
  - Causas climáticas
  - Espera de sitio adecuado (eslora y/o calado)
  - Espera de sitio específico

Se descartaron como esperas asociadas al fenómeno de congestión, aquellas ocasionadas por:

- Espera de sitio "preferido"
- Espera por carga
- Fumigación
- Otros



Lamentablemente, en una nave específica puede ocurrir más de una causal durante el período de espera, en cuyo caso no se cuenta con la información en el formulario de naves a la gira para separar las causales. La sospecha del problema solamente se puede detectar por medio del examen de los puntos extraños en el gráfico de los datos. En estos casos notables se consultó al puerto específico el problema donde se pudo dilucidar la espera real por medio de antecedentes de bitácoras. En los casos en que no se pudo hacer esto el punto sospechoso no fue considerado en la base de información.

- \* En el caso del puerto de San Vicente, dado que EMPORCHI allí también asigna las naves al molo 500, solamente se registra la espera de la nave en San Vicente y no la que se produce en dicho molo. Sólo se considera ésta para efectos de la asignación de sitio. En estos casos se resolvió mediante consulta a operaciones en el puerto.

Cabe señalar que Emporchi ha realizado esfuerzos para mejorar la calidad de la información contenida en las Cartas de Atraque motivo por el cual, en la actualidad, muchos de los problemas mencionados han disminuido o han sido superados.

### 3.3 ELECCION DE PERIODO PARA CALCULAR VARIABLES

Hay dos elementos que influyen fuertemente en la determinación y confiabilidad de los parámetros obtenidos mediante una función econométrica. Uno de ellos se refiere a la cantidad de datos disponibles para efectuar la estimación de los parámetros, es decir, es distinto estimar los valores de W/S y ocupación cuando se consideran datos mensuales que cuando se consideran datos semanales o diarios. Evidentemente la representatividad de los datos es mayor mientras menor es la periodización empleada por capturar mejor la relación entre las variables y cubrir un mayor rango de variación.

Por otra parte, al disminuir demasiado la periodización se producen efectos intertemporales entre la ocupación y la espera, es decir, la ocupación del sistema de un período influye en las esperas medibles en el siguiente. Esto se denominó efecto rezago. En las Figura 3-1 se grafica este efecto en el caso del puerto de Valparaíso, el cual se genera en buena medida por la heterogeneidad de las naves y de sus tiempos de servicio.

Para elegir la periodización adecuada se construyó un índice que permite medir la influencia del efecto de rezago y otro para medir la representatividad de los datos. Para el caso de los rezagos se construyó el siguiente índice:

$$I_{rez} = \frac{\sum_{t=0}^m f_t \left( (\mu_{t+1} - \mu_t) * \left[ \binom{W}{S}_{t+1} - \binom{W}{S}_t \right] \right)}{m} \quad (3)$$



donde:

- $I_{re}$  corresponde al índice de rezago y toma valores entre 0 y 1.
- $m$  es el número de observaciones utilizadas que se relaciona con los períodos a través de la relación 365/per donde  $per$  es la periodización empleada en días.
- $\mu_t$  es la ocupación del puerto en el período  $t$ ;
- $(W/S)_t$  es la relación tiempo de espera en el sistema, tiempo de servicio en el sistema en el período  $t$ .
- $f_t(x)$  es una función que toma el valor 1 si  $x > 0$  en el período  $t$ , y 0 si  $x \leq 0$  en el período  $t$ .

Cabe destacar que este análisis considera períodos de uno, dos, tres y siete días, habiéndose descartado previamente períodos de quince y treinta días por su escasa representatividad.

Para el caso de la representatividad se construyó un índice basado en la cantidad de información que aporta cada uno de los períodos con que se puede elaborar un modelo. El índice utilizado es el siguiente:

$$I_{rep} = \frac{\log\left(\frac{365}{per}\right)}{\log\left(\frac{365}{I}\right)} \quad (4)$$

donde:

- $I_{rep}$  es el índice de representatividad y se ha relativizado para que su rango sea entre 0 y 1.
- $per$  es el período utilizado en días.

Para determinar un índice conjunto del efecto rezago y de representatividad de la información, en primer lugar se calculó el índice de rezago promedio de todos los puertos analizados o, en términos más precisos, de los períodos de disponibilidad de datos en cada uno de ellos. Ello se justifica puesto que aún cuando el fenómeno de rezagos puede ser distinto en cada puerto no hay una preferencia determinada por ninguno de ellos.

El valor resultante se ponderó en igual proporción con el índice de representatividad de los datos a fin de obtener un índice conjunto de los dos efectos analizados. Los resultados de los índices obtenidos se muestran en la Tabla 2 y se grafican en la figura 3-2. De allí se puede concluir que, de acuerdo con la metodología empleada, resulta mejor adoptar períodos de 2 o 3 días, indiferentemente. No obstante, finalmente se eligió el primero puesto que estaba cercano a la estadía promedio de las naves en servicio en los puertos examinados.



**TABLA N° 2**  
**INDICADORES PARA LA ELECCIÓN DE PERÍODO**

Longitud Período (días)	Indice Rezago	Indice Representatividad	Indicador Conjunto
1	0,394	1.000	0,6969
2	0,563	0,883	0,7230
3	0,630	0,814	0,7221
7	0,713	0,670	0,6917

## 4. ESTIMACION DEL MODELO

### 4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Para la estimación de un modelo de tipo econométrico utilizando los nuevos datos cabe hacer notar las siguientes consideraciones:

- a) Para el caso específico de San Vicente-Talcahuano, sobre todo antes de que se construyera el nuevo sitio, se detectó que había una gran cantidad de naves chiperas que esperaban solamente sitios en San Vicente, puesto que por su tamaño no podían atenderse en otros sitios, aún estando éstos desocupados. En estos casos la ocupación que percibe la nave es de aproximadamente 100% por lo que hubo que corregir dichos puntos en el gráfico (W/S) versus ocupación.
- b) Para la determinación de cada punto  $(W/S, \mu_t)$ , donde  $t$  corresponde al período de dos días considerado, se debe determinar la espera ( $W$ ) que se calcula sumando todas las horas a la gira de las naves cuyo tiempo de espera tiene una intersección no nula con el período  $t$  en cuestión. Del mismo modo se calcula el tiempo de servicio ( $S$ ) en dicho período, sumando las horas de servicio. Por otro lado la ocupación se calcula como:
- c) En la determinación del modelo econométrico se utilizaron los siguientes números de sitios según puerto:

$$\mu_t = \frac{100 S_t}{N^o \text{ de sitios} * \text{per} * 24} \quad (5)$$

- Valparaíso  $n(1) = 9$  (Incluye Muelle Barón)
- San Antonio  $n(2) = 8$
- Talcahuano - San Vicente  $n(3) = 4$  (Año 1991) (Incluye Molo 500)
- Talcahuano - San Vicente  $n(4) = 4$  (07/92 - 07/93) (No incluye molo 500)



## 4.2 RESULTADOS CON ESPECIFICACION FUNCIONAL DE LA UC

Los resultados de una especificación de función exponencial como la utilizada por la UC (ec. 1) pero aplicada a los nuevos datos se indican en la Tabla 3. Para la estimación de los parámetros se prefirió utilizar métodos no lineales en vez de proceder a la transformación de la función especificada en lineal y estimar los parámetros con mínimos cuadrados ordinarios. Ello puesto que en muchos casos se observaron puntos con valores no nulos de ocupación que no presentaban espera, por lo que no podrían ser considerados como información en una posible linealización del modelo.

TABLA N° 3  
ESTIMACIÓN DE MODELOS PARTICULARES POR PUERTO

	San Antonio		Valparaíso		Sn Vicente-Talc.		Sn Vicente-Talc.	
	(Año 1991)	A	(Año 1991)	B	(Año 1991)	A	(7/92-6/93)	B
Valor	0,0251	0,0366	0,0261	0,03451	0,0593	0,03154	0,0509	0,0315
Error St.	0,0051	0,3165	0,0050	0,2452	0,0119	0,2216	0,0111	0,2467
Est. t	4,9	11,6	5,2	14,1	5,0	14,2	4,6	12,8
Error St. Reg.	0,1124		0,1330		0,2534		0,2579	
R <sup>2</sup>	0,3938		0,5139		0,7256		0,6227	
R <sup>2</sup> ajust.	0,3904		0,5112		0,7235		0,6205	
D-W	1,76		2,05		2,29		2,08	
No Obs.	182		179		136		176	

Utilizando los nuevos datos, y la especificación general del modelo utilizada por la UC, expresada en la ecuación (2), se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}
 A &: 0,073587 (8,00); \\
 B &: 0,0321 (27,84); \\
 d &: -0,099187 (-8,67); \\
 R^2 &: 0,7512.
 \end{aligned}$$

Entre paréntesis se indica el estadígrafo t.

A partir de ellos se puede observar lo siguiente:

- En el caso de modelos individuales por puertos, los valores relativos entre puertos de los parámetros guardan la misma relación que en el estudio UC, pero los valores absolutos muestran diferencias importantes. Por un lado, A es bastante mayor y B es sensiblemente menor. Ello está más acorde con los datos sobre todo en la zona donde se observa congestión que es la zona clave de la función. Esto se explica debido a que la base de



**TABLA N° 2**  
**INDICADORES PARA LA ELECCIÓN DE PERÍODO**

Longitud Período (días)	Indice Rezago	Indice Representatividad	Indicador Conjunto
1	0,394	1.000	0,6969
2	0,563	0,883	0,7230
3	0,630	0,814	0,7221
7	0,713	0,670	0,6917

## 4. ESTIMACION DEL MODELO

### 4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

Para la estimación de un modelo de tipo econométrico utilizando los nuevos datos cabe hacer notar las siguientes consideraciones:

- a) Para el caso específico de San Vicente-Talcahuano, sobre todo antes de que se construyera el nuevo sitio, se detectó que había una gran cantidad de naves chiperas que esperaban solamente sitios en San Vicente, puesto que por su tamaño no podían atenderse en otros sitios, aún estando éstos desocupados. En estos casos la ocupación que percibe la nave es de aproximadamente 100% por lo que hubo que corregir dichos puntos en el gráfico (W/S) versus ocupación.
- b) Para la determinación de cada punto  $(W/S, \mu_t)$ , donde  $t$  corresponde al período de dos días considerado, se debe determinar la espera (W) que se calcula sumando todas las horas a la gira de las naves cuyo tiempo de espera tiene una intersección no nula con el período  $t$  en cuestión. Del mismo modo se calcula el tiempo de servicio (S) en dicho período, sumando las horas de servicio. Por otro lado la ocupación se calcula como:
- c) En la determinación del modelo econométrico se utilizaron los siguientes números de sitios según puerto:

$$\mu_t = \frac{100 \cdot S_t}{N^{\circ} \text{ de sitios} * \text{per} * 24} \quad (5)$$

- Valparaíso  $n(1) = 9$  (Incluye Muelle Barón)
- San Antonio  $n(2) = 8$
- Talcahuano - San Vicente  $n(3) = 4$  (Año 1991) (Incluye Molo 500)
- Talcahuano - San Vicente  $n(4) = 4$  (07/92 - 07/93) (No incluye molo 500)



## 4.2 RESULTADOS CON ESPECIFICACION FUNCIONAL DE LA UC

Los resultados de una especificación de función exponencial como la utilizada por la UC (ec. 1) pero aplicada a los nuevos datos se indican en la Tabla 3. Para la estimación de los parámetros se prefirió utilizar métodos no lineales en vez de proceder a la transformación de la función especificada en lineal y estimar los parámetros con mínimos cuadrados ordinarios. Ello puesto que en muchos casos se observaron puntos con valores no nulos de ocupación que no presentaban espera, por lo que no podrían ser considerados como información en una posible linealización del modelo.

TABLA N° 3  
ESTIMACIÓN DE MODELOS PARTICULARS POR PUERTO

	San Antonio (Año 1991)		Valparaíso (Año 1991)		Sn Vicente-Talc. (Año 1991)		Sn Vicente-Talc. (7/92-6/93)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Valor	0,0251	0,0366	0,0261	0,03451	0,0593	0,03154	0,0509	0,0315
Error St.	0,0051	0,3165	0,0050	0,2452	0,0119	0,2216	0,0111	0,2467
Est. t	4,9	11,6	5,2	14,1	5,0	14,2	4,6	12,8
Error St. Reg.	0,1124		0,1330		0,2534		0,2579	
R <sup>2</sup>	0,3938		0,5139		0,7256		0,6227	
R <sup>2</sup> ajust.	0,3904		0,5112		0,7235		0,6205	
D-W	1,76		2,05		2,29		2,08	
No Obs.	182		179		136		176	

Utilizando los nuevos datos, y la especificación general del modelo utilizada por la UC, expresada en la ecuación (2), se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}
 A &: 0,073587 (8,00); \\
 B &: 0,0321 (27,84); \\
 d &: -0,099187 (-8,67); \\
 R^2 &: 0,7512.
 \end{aligned}$$

Entre paréntesis se indica el estadígrafo t.

A partir de ellos se puede observar lo siguiente:

- En el caso de modelos individuales por puertos, los valores relativos entre puertos de los parámetros guardan la misma relación que en el estudio UC, pero los valores absolutos muestran diferencias importantes. Por un lado, A es bastante mayor y B es sensiblemente menor. Ello está más acorde con los datos sobre todo en la zona donde se observa congestión que es la zona clave de la función. Esto se explica debido a que la base de



datos utilizada cubre un mayor rango de variación en los niveles de ocupación, que la usada en el estudio UC, y al empleo de un período más representativo.

- b) En el caso del modelo general, los resultados son más estables con respecto a puertos individuales que en el caso del modelo UC. Por otro lado, se detecta una influencia más significativa del No de sitios.
- c) Sin embargo, este modelo presenta el problema de que el parámetro  $B$  no depende del número de sitios, supuesto que no va de acuerdo a la teoría ni tampoco explica las variaciones del valor de  $B$  en los modelos particulares (efecto número de sitios para congestión baja).
- d) Los coeficientes de correlación obtenidos son más bajos que aquellos determinados por el estudio UC. No obstante, esto era esperable ya que la base de datos utilizada tiene una mayor desagregación que la considerada en dicho estudio, la cual consideró una periodización mensual.

### 4.3 NUEVA ESPECIFICACION GENERAL

A fin de considerar el efecto tamaño en el parámetro  $B$  se especificó para éste una función del tipo:

$$B = B_o * F(n) \quad (6)$$

Como características de la función  $F$  se consideró que ésta debe ser decreciente y asintótica con el número de sitios  $n$  de tal modo que evaluada en  $n = 15$  y  $n = 16$ , que es un tamaño de frente de atraque suficientemente grande, tome valores aproximadamente iguales.

Analizando el comportamiento de los datos y las restricciones mencionadas, se supuso una función  $F$  del tipo:

$$F(n) = (1 - \frac{f}{n}) \quad (7)$$

donde  $f$  es un parámetro a determinar en la regresión.

De lo anterior, la especificación del modelo general quedó así:

$$\frac{W}{S}(\mu, n) = A * e^{(B_o * (1 - \frac{f}{n}) * \mu + d * n)} \quad (8)$$

En la Tabla 4 se exponen los resultados de la regresión para el modelo general especificado, a partir de ellos se puede notar lo siguiente:

- a) Los parámetros  $A$  y  $B$  obtenidos tienen una alta significancia estadística, muy similar a la que presentan en los modelos particulares estimados.



- b) El parámetro  $f$  utilizado para establecer una formulación lógica de las funciones de congestión aparece significativo sólo a un nivel de 70%, sin embargo el modelo así obtenido permite una extrapolación mejor a casos no cubiertos por la muestra de sitios.

**TABLA N° 4**  
**ESTIMACIÓN DEL MODELO GENERAL DE CONGESTIÓN**

	<b>Parámetro</b>			
	<b>A</b>	<b>Bo</b>	<b>d</b>	<b>f</b>
Valor parámetro	0.068932	0.030800	-0.084613	-0.154620
Error Estándar	0.013188	0.00252	0.025188	0.27653
Estadígrafo t	5.227	12.215	-3.359	-0.559
Error Estándar Regr.	0.20117			
R Cuadrado	0.75150			
R. Cuad. Ajustado	0.15041			
Estadístico D-W	2.1637			
Nº de Observaciones	689			

## 5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos para la especificación del modelo general utilizado se desprenden los siguientes comentarios:

- El fenómeno muestra alta variabilidad lo que indica que hay otros factores que pueden estar incidiendo y que no alcanzan a ser captados con la información disponible. Es probable que el tipo de nave o su tamaño influya sobre la periodización adecuada.
- No obstante lo anterior, el resultado es satisfactorio para propósitos de tarificación pues el modelo general muestra buen comportamiento:
  - Los valores de sus coeficientes presentan buena consistencia con los de los puertos individuales.
  - Hay una razonable sensibilidad a tamaño del puerto, lo que es importante para aplicación a casos heterogéneos.
  - El modelo muestra una tendencia razonable cuando aumenta la congestión, lo que se observa en los datos para San Vicente. En este aspecto, supera las limitaciones denotadas en el trabajo UC.

