



FACULTAD  
DE CIENCIAS  
ECONÓMICAS



Universidad  
Nacional  
de Córdoba

# REPOSITORIO DIGITAL UNIVERSITARIO (RDU-UNC)

## **Economías de escala en la industria del biodiesel: una estimación econométrica no convencional**

Fernando H. Sonnet, Federico Monzani, Silvana Andrea Sattler,  
Enrique Leopoldo Castro González

Ponencia presentada en XLVIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política  
realizado en 2013 en Rosario, Santa Fe. Argentina



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## **Economías de escala en la industria del biodiesel: una estimación econométrica no convencional**

Fernando H. Sonnet  
Federico Monzani<sup>1</sup>  
Silvana Andrea Sattler  
Enrique L. Castro Gonzalez<sup>2</sup>

### Resumen

El objetivo de esta investigación es encontrar evidencia sobre la existencia de economías de escala en la industria del biodiesel de Argentina. Para tal fin, se aplica un modelo con formulación Cobb-Douglas no convencional utilizado por P.W. Gallagher (2005), que observa el comportamiento del coste medio del capital invertido en función de la escala de planta por medio de una función de potencia. Empíricamente, los resultados muestran una predisposición competitiva a construir plantas más grandes. Este fenómeno de presencia implícita de economías de escala, alentaría la concentración de la industria, lo que podría desvirtuar el espíritu de la Ley 26.093.

Palabras Claves: biodiesel, economías de escala, función de potencia.

JEL: F12, Q42.

### Abstract

The aim of this research is to find evidence for the existence of economies of scale in Argentina biodiesel industry. To that end, it applies an unconventional Cobb-Douglas model formulation used by PW Gallagher (2005), which shows, by a power function, the behavior of the average cost of capital invested depending on plant scale. Empirically, the results display a competitive predisposition to build larger plants. This phenomenon implied presence of economies of scale; it would encourage industry concentration, which could undermine the spirit of the Law 26.093.

Key Words: biodiesel, economies of scale, power function

JEL: F12, Q42.

---

<sup>1</sup> El Director del proyecto agradece al Mgt. Federico Monzani su participación en la estimación del modelo y el análisis econométrico.

<sup>2</sup> Instituto de Economía y Finanzas, Facultad de Ciencias Económicas (Universidad Nacional de Córdoba). Av. Valparaíso s/n - Ciudad Universitaria - Córdoba - Argentina  
Tel: (00)-(54)-(351)-4437300. Correo electrónico: silsattler@gmail.com

## **Economías de escala en la industria del biodiesel: una estimación econométrica no convencional**

### **1. Introducción**

El tópico de las economías técnicas productivas tiene su origen en el estudio de las funciones de producción y costos, y más específicamente, en el fenómeno de las economías de escala y la determinación de la curva de planeamiento de las firmas para el horizonte del largo plazo (CMLP). En la literatura sobre Economía, esta temática tiene dos grandes etapas: la primera, se desarrolla hasta fines de los años cuarenta con las contribuciones al estudio de la Teoría de la Firma de perfil neoclásico, que llevaron a cabo J.M. Clark (1923), Cobb y Douglas (1928), J. Viner (1931), J. Robinson (1935), J. Hicks (1939) y P.A. Samuelson (1947). Durante la segunda mitad del siglo XX el avance de la teoría de la producción y costos fue notable considerando el valor de las contribuciones. Ese progreso se extendió a todas las investigaciones relativas al comportamiento de la firma y la estructura industrial; fue primera la obra de G. Debreu (1959) y más tarde la de Shephard (1970) que generalizaron el enfoque neoclásico de la producción y costos a la dimensión multiproducto. Hacia fines de los 70, Fuss y McFadden (1978) consolidaron la teoría con el enfoque de la dualidad. En adelante, el desarrollo de la Teoría de la Firma se orientó a las funciones multiproducto, la configuración de la industria, los problemas y medidas de agregación y los fenómenos de las economías de escala, de alcance y las competencias fundamentales. Las estimaciones de las funciones de costos siguieron al progreso de la Teoría Económica y de los métodos en Econometría. W. Baumol, J. Panzar y R. Willig (1988) citan más de trescientos trabajos sobre investigaciones empíricas de los fenómenos de producción y costos. En su mayoría las formulaciones más utilizadas fueron la de frontera estocástica y la función translogarítmica. Estas últimas, se vincularon más a la necesidad de los gobiernos de conocer los niveles de eficiencia en las empresas de servicios públicos (A. Estache y M. Rossi, 1998).

### **2. Acerca de los modelos de producción y las economías de escala**

Al menos dos artículos pioneros sobre las economías de escala aparecieron hacia fines de la década del 50 en el siglo XX (G. Stigler, 1958; y F.T. Moore, 1959). A partir de estos trabajos empíricos, la inquietud por estimar funciones estadísticas de costos fue ganando importancia durante los 60 (A.A. Walters, 1963). El trabajo precursor de Stigler (1958), publicado en el *Journal of Law and Economics*, investigó la industria siderúrgica norteamericana. A principios de los 70 C.A. Smith (1971) publicó una síntesis de las evidencias empíricas sobre economías de escala y tamaño de las firmas.

El objetivo de este artículo es encontrar alguna evidencia a cerca de las economías de escala para la industria del biodiesel en Argentina aplicando un modelo con formulación Cobb-Douglas no convencional. A partir de una interpretación del fenómeno desarrollada por P.W. Gallagher (2005)<sup>3</sup>, es posible estimar las economías de escala observando el comportamiento del coste medio del capital en función de la escala de planta. Si el volumen físico de la producción es una variable proxy del tamaño de una planta, el coste medio del capital invertido por unidad de producto procesado mostrará una tendencia descendente cuando aumenta la producción. El argumento que sustenta esta proposición tiene naturaleza puramente física.

#### **2.1 Aportes Metodológicos**

---

<sup>3</sup> Moore (1959) fue pionero en expresar las funciones de potencia usadas luego por Gallagher (2005).

Las contribuciones y desarrollos en metodología para la determinación y el conocimiento de las funciones de costos se inscriben en tres grandes líneas a partir de los años 50: enfoque econométrico y sus diferentes métodos estadísticos, el enfoque de la dualidad, y el enfoque de la contabilidad gerencial conocido como método económico-ingenieril.<sup>4</sup> Especialmente, para algunos proyectos se suele aplicar esta técnica formulada por French, Sammet y Bessler (1956); el mismo fue aplicada por Sonnet y Asís (2011) para la determinación de una función de costos de una maderera. El método de la frontera estocástica (sea con Mínimo Cuadrados Ordinarios, MCO, o Máxima Verosimilitud, MV) y las estimaciones con modelos translogarítmicos dependerán de la información que pueda ser provista por las compañías aceiteras radicadas en Argentina y la Cámara de Biocombustibles. Por otra parte, se ha revisado la literatura de los trabajos empíricos sobre costos en la industria de los biocombustibles constituida por firmas aceiteras dedicadas al biodiesel, y firmas fabricantes de alcohol bioetanol, particularmente.

## **2.2 Fuentes de investigaciones empíricas recientes en biocombustibles**

No son pocos los trabajos desarrollados en materia de estimación de costos en la industria de los biocombustibles y sus implicancias sobre la oferta y la competitividad de las firmas; las fuentes más ricas se encuentran en los artículos que aparecen en Energy Policy, Biomass & Bioenergy y Bioresource Technology publicados por Elsevier, y varios trabajos difundidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, el Ministério de Desenvolvimento y Comércio Exterior de Brasil y los documentos técnicos y directivas de la European Commission.

Los aspectos metodológicos desde un punto de vista académico y global, fueron presentados en el punto anterior. Sin embargo, es necesario realizar una descripción de los más utilizados en distintos trabajos que se consultaron y fueron considerados como relevantes y pertinentes al tema. Cabe indicar además, que la selección guarda una relación con cada objetivo planteado: cuestiones de inversión de capital, procesos tecnológicos, estructura de costos y regulación, que son los ejes del proyecto.

### **2.2.1 Costos de capital y procesos tecnológicos**

Una de las aristas sobresalientes en el estudio de las economías de escala es la relación entre el tamaño de planta y los costos de capital. Se ha demostrado (P.W. Gallagher, 2005) que en la industria del etanol, los costos de capital se incrementan menos que proporcionalmente cuando crece la capacidad de la planta. Esto está condicionado por las características del proceso tecnológico, sea que se trate de molienda en seco o húmeda de las materias primas. Sin embargo, la cuestión de la proporcionalidad señalada sigue siendo dominante. Cuando los contenedores de las materias primas imponen un costo de capital apreciable en la estructura de costos de la firma, se observa que la superficie de los materiales utilizados crece menos que proporcionalmente respecto del volumen o capacidad; apareciendo de manera visible, las economías de escala. Gallagher (2005) aplica un modelo de flujos de capital para incorporar los costos de inversión en las funciones de costos. En esta investigación se aplica el modelo de Gallagher.

### **2.2.2 Estructura de costos**

Entre los trabajos empíricos modernos hay algunos interesantes realizados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Shapouri et. al (1998), estudiaron la

---

<sup>4</sup> Para consultar la aplicación empírica de estas contribuciones se recomienda el Capítulo 17 (pp.580-594) Tomo II en el texto Economía de Empresas, (F. Sonnet, I. Asís) Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas U.N.C. (Octubre 2011).

estructura de costos del bioetanol para 28 firmas localizadas en una región, revelando la gran significación de los costos variables en el costo medio total. Considerando que las firmas compran la materia prima y demás insumos, en condiciones de competencia perfecta, se observa que los costos operativos varían con la escala de planta. Según los autores, estos costos pueden variar entre 1,08 dólares por galón en una planta pequeña y 0,89 dólares por galón en una planta grande, mientras que en las plantas de escala mediana este valor ronda los 0,97 dólares por galón. Los autores citados descubrieron que las procesadoras con tecnologías húmedas tienen costos operativos más o menos constantes con la escala; en cambio, las que trabajan con tecnologías de molienda en seco, muestran reducciones de costos sustanciales cuando crece la escala de producción.

Por otro lado, el trabajo de Haas et. al (2005) también proporcionó evidencias sobre los perfiles de costos. Aunque el costo de la materia prima es significativo en la fabricación del biodiesel (88%), demuestra que los costos de capital son cruciales al momento de definir la estructura de los demás costos y su incidencia, fijando así el posicionamiento competitivo de la firma. Los autores de esta investigación también comprobaron que las diferentes alternativas de procesos tecnológicos modifican la estructura de costos, lo mismo que el tamaño de las plantas y sus posibilidades de adaptación. Haas (2005) muy aproximado al método económico ingenieril, detalla los diagramas de procesos en la obtención del biodiesel a partir de la soja; mediante un software de programación matemática inserta los datos en cada etapa del proceso y determina los costos operativos y de capital. Estos últimos, considerados de infraestructura, se clasifican en capacidades de almacenaje, equipos de procesos y apoyo a procesos (enfriamiento, vapor, aireo y sistemas de electricidad).

El trabajo de Freedman et. al. (1984) es un aporte a la Econometría muy importante y que fue aplicado con modelos estocásticos y translogarítmicos. Trabaja con las bases del método económico-ingenieril en un software de tecnologías de procesos que va incorporando información contable a lo largo de la cadena de producción. Concluye que los costos de operación con tecnologías en seco, pueden reducir los costos entre un 5% y un 10% por galón obtenido de biodiesel, cuando la recuperación del aceite y fibras del maíz se desarrollan en firmas de gran escala (Freedman 1984, pp. 6-8).

Otro de los interesantes trabajos consultados, es el de B. Amigun y H. von Blottnitz (2011) que analiza los costos operativos de las plantas de bioetanol en una destilería rural de Sudáfrica.

### **2.2.3 Industrias con regulación**

En este aspecto de la temática del proyecto se puede destacar el trabajo de S. Rozakis y J. Sourie (2005) realizado para Francia. Los autores toman como escenario el Programa de Apoyo a los Biocombustibles Líquidos aplicado por el gobierno a partir del año 1993. El programa contempla exenciones impositivas a las cadenas de fabricación de biocombustibles. Se establecen los niveles de actividad de antemano y se asignan los beneficios a las distintas cadenas. Estos autores, diseñan un modelo microeconómico de actividades en biocombustibles; se trata de un modelo de optimización con restricciones que representa a la cadena producción-energía. El modelo determina los costos, los excedentes y los niveles de exención para las firmas involucradas. Cada cadena consta de cinco etapas: producción de la biomasa, recolección, primera y segunda transformación, demanda de biocombustibles y de productos.

## **3. El modelo usado por Gallagher: algunas evidencias**

En la década del '60 varios autores dedicados a la microeconomía de la producción hicieron aportes con trabajos empíricos sobre las economías de escala. Gallagher utiliza una función de potencia para reflejar la relación del costo de capital con la capacidad productiva

de la planta; en lugar de utilizar una función de producción y su dual -función de costo-, que necesitan de un conjunto de datos técnicos (capital y trabajo). La razón de adoptar esa formulación fue que las funciones de producción son poco operativas cuando hay que aplicarlas a diferentes tamaños de planta; por este motivo, y por las dificultades en el ámbito de la estadística de generar índices que amalgamen el uso de los factores, es que han aparecido estas funciones de potencia.

A partir de la idea de que las economías de escala son un atributo frente a la ausencia de divisibilidad de la capacidad, sólo pueden lograrse operando con grandes denominadores comunes como lo son los equipos y la instalación de planta. Aunque el tamaño del equipo y sus indivisibilidades son variables significativas para un estudio de las economías de escala, esto no limita a que estas variables (equipos, indivisibilidad, economías de escala) muestren una determinada relación. Desde un punto de vista ingenieril, se sostiene que los costos de producir un bien – el servicio de los silos- están relacionados con la superficie del equipamiento afectado, mientras que el aumento de la capacidad de servicio está de acuerdo al volumen, y es por ello que se pueden producir las economías de escala. En el caso de un silo, el costo del acero que se necesita para construirlo aumenta en menor proporción que la capacidad de almacenamiento. Estos fenómenos son observados en la industria del Petróleo, Química y Almacenaje en general. Características comunes a estas industrias pareciera observarse en la industria de Biocombustible en Argentina. Por tales motivos, se pretende deducir cual es la capacidad productiva instalada óptima que minimice costos de inversión y obtener un conjunto de conclusiones sobre la tendencia de la industria, es decir, a construir plantas cada vez más grandes o más pequeñas.

#### **4. Algunas evidencias de simulación con los parámetros resultantes de la estimación econométrica sobre la muestra de la industria del biodiesel**

En concordancia a lo expresado, se puede reflejar en forma matemática, mediante la funciones de potencia, expresiones que permiten deducir la relación entre el capital invertido y la capacidad productiva instalada.

Los parámetros utilizados surgieron de la estimación econométrica del modelo para un conjunto de industrias que se presentará a continuación.

Sea la función potencia<sup>5</sup>:

$$K = AQ^\alpha \quad (1)$$

Siendo:

K = Inversión de Capital, determinado en alguna unidad monetaria;

A= Ordenada de origen;

Q= Capacidad Productiva Instalada (o de planta);

$\alpha$ = Parámetro.

Se adopta, por ahora, el supuesto que este modelo es atemporal, por cuanto no incluye ninguna dimensión referida al transcurso del tiempo.

Cuando  $\alpha=1$ , los costos de capital se incrementan en la misma proporción que el tamaño de la planta; en cambio, si  $\alpha < 1$  los costos de capital se incrementan en menor proporción que el tamaño de la planta, existiendo economías en los costos de capital; lo

---

<sup>5</sup> La forma de expresar la función de potencia es muy semejante a la inversa de lo que en economía se llama función Cobb-Douglas.

contrario ocurre para el caso en que  $\alpha > 1$ , es decir se producen deseconomías en los costos de capital; lo que no se debe confundir con economías o deseconomías de escala.

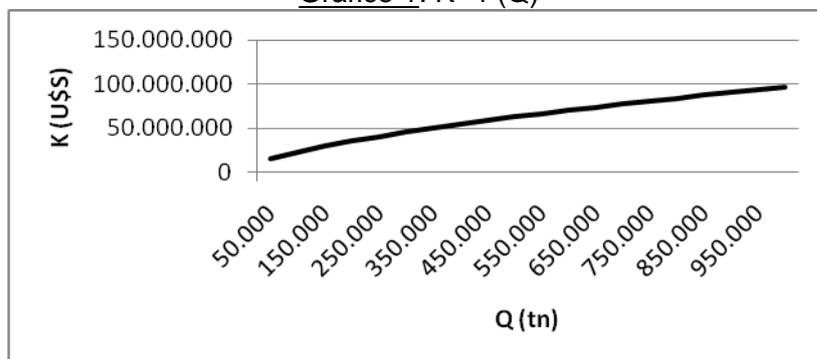
En la estimación del modelo propuesto, se tomó una muestra de 12 empresas fabricantes de biodiesel considerando sus capacidades instaladas de planta, Q (en toneladas métricas) y la inversión de capital, K en las plantas (medidas en dólares), con datos obtenidos por Mathew J. A, Goldsztein H (2008). La muestra de empresas con los datos preparados para estimar los modelos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Muestra de empresas

Empresa	Grupo Empresario	Q (tn)	K (U\$S)	K (U\$S/tn)	Ln Q (tn)	Ln K (U\$S)	Ln K (U\$S/tn)
Renova	Glencore & Vicentin	200.000	35.000.000	175	12,21	17,37	5,16
Vicentin		50.000	15.000.000	300	10,82	16,52	5,7
EcoFuel S.A	AGD & Bunge	200.000	40.000.000	200	12,21	17,5	5,3
Louis Dreyful		300.000	45.000.000	150	12,61	17,62	5,01
GEA Diesel	Grupo Eurnequian	250.000	40.000.000	160	12,43	17,5	5,08
Unitec Bio		200.000	45.000.000	225	12,21	17,62	5,42
Explora Patagonia Bioenergía	Douglas Albreach	120.000	20.000.000	166,7	11,7	16,81	5,12
Molinos Río de la Plata		250.000	40.000.000	160	12,43	17,5	5,08
Green Fuel	Noble Group: Raiser & ENARSA	100.000	25.000.000	250	11,51	17,03	5,52
Cargil		300.000	40.000.000	133,3	12,61	17,5	4,89
A.C.A		200.000	30.000.000	150	12,21	17,22	5,01
		200.000	45.000.000	225	12,21	17,62	5,42
Total		2.524.000	420.000.000	166,4	14,74	19,86	5,11

Fuentes: Capturing latecomer advantage in the adoption of biofuels: The case of Argentina, John A. Mathews, Hugo Goldstein Energy Policy (2008)

Gráfico 1:  $K = f(Q)$



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 1, refleja la presencia de economías de escala en la construcción de la planta, en la medida que la tasa de crecimiento del capital es descendente con el ritmo de crecimiento de la producción. Como se observa en el citado gráfico, se representan los

niveles de K en función a Q, reemplazando la expresión (1) por los valores estimados (A=17202,32 y  $\alpha=0,625$ ):

$$K = 17202,32 * Q^{0,625}$$

La Tabla 2 presenta los niveles de Q, K y K/Q para los parámetros B=9,75; A=17202,32;  $\alpha=0,625$ . Es importante tener presente la interpretación del valor de  $\alpha$ , que representa la elasticidad producto de la inversión, la cual, al ser menor que 1 expresa que a medida que se incrementa la capacidad productiva instalada la inversión lo hará en menor proporción.

Uno de los supuestos fundamentales adoptado en este trabajo, es que se ha seguido el esquema de la teoría económica neoclásica tradicional; es por ello, que las variables son atemporales y aespaciales.<sup>6</sup>

Tabla 2: Niveles de Q, K y de K/Q

<b>Q</b>	50.000	100.000	150.000	200.000	250.000	300.000	350.000	400.000	450.000	500.000
<b>K</b>	14.874.531	22.939.662	29.555.891	35.377.796	40.672.374	45.581.415	50.191.428	54.560.019	58.727.950	62.725.376
<b>K/Q</b>	279,63	242,13	209,63	182,13	159,63	142,13	129,63	122,13	119,63	122,13

Continuación: 550.000 < Q < 1.000.000

<b>Q</b>	550.000	600.000	650.000	700.000	750.000	800.000	850.000	900.000	950.000	1.000.000
<b>K</b>	66.575.388	70.296.152	73.902.286	77.405.763	80.816.551	84.143.053	87.392.437	90.570.881	93.683.752	96.735.754
<b>K/Q</b>	129,63	142,13	159,63	182,13	209,63	242,13	279,63	322,13	369,63	422,13

Fuente: Elaboración propia.

Con el objeto de trabajar con una regresión lineal, se toma logaritmo natural de la expresión (1), obteniendo lo siguiente:

$$\ln K = \ln A + \alpha \ln Q \quad (2)$$

Otra simulación relativa al mismo fenómeno se presenta en el gráfico siguiente, que surge de tomar logaritmos naturales a la relación  $K = 17202,32 * Q^{0,625}$ , donde A=17202,32 y  $\alpha=0,625$ . Así se obtiene, aplicando Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) a (2):

$$\ln K = 9,7528 + 0,625 * \ln Q \quad (2')$$

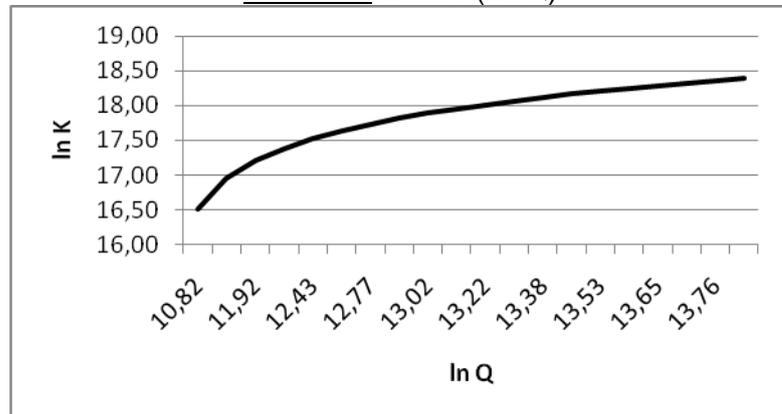
(8,82) (6,85)

$$R^2 = 0,82; \text{ Error típico (se)} = 0,16$$

<sup>6</sup> Es importante recordar, que en la composición de la variable K/Q se ha hecho abstracción de la variable temporal t, esto es, es una variable de inversión instantánea sin analizar los efectos y componentes de la renta anual equivalente del capital a lo largo de su vida útil hasta la recuperación total de la inversión. Si se hubiera incorporado la dimensión temporal en el análisis se habría necesitado información de la tasa de descuento aplicable al capital para el horizonte de la vida útil de cada planta; dado que la muestra es pequeña y además las capacidades son diferentes, frente a la necesidad de estratificar la muestra, no habría sido posible realizar las estimaciones.

Donde los números entre paréntesis representan los estadísticos t de los respectivos parámetros.

Gráfico 3: Ln K=f (Ln Q)



Fuente: Elaboración propia.

Luego, se puede llevar a cabo el análisis mediante el costo unitario de la inversión, al dividir a la expresión (1) por Q (capacidad productiva instalada):

$$\frac{K}{Q} = A Q^{\alpha-1} \quad (3)$$

Tomando logaritmo natural de la función (3) se obtendrá:

$$\ln\left(\frac{K}{Q}\right) = \ln A + (\alpha - 1)\ln Q \quad (4)$$

Bajo esta función, de costo de capital unitarios, si  $\alpha = 1$  el costo unitario es constante, si  $\alpha < 1$  el costo unitario decrece a medida que incrementa Q, y si  $\alpha > 1$  el costo unitario crece a medida que incrementa Q.

Se estima (4) utilizando MCO a los datos:

$$\ln(K/Q) = 9,752 - 0,3743 \cdot \ln Q \quad (4')$$

(8,82) (-4,1)

$$R^2 = 0,63; \text{ se} = 0,16$$

siendo  $B=9,752$ ;  $(1-\alpha)=0,3743$ . Al ser  $(\alpha-1) = -0,3743$ , refleja que la tasa de crecimiento del costo unitario de la inversión en capital es decreciente, es decir que el costo unitario de inversión en capital crece en menor proporción que el crecimiento de la capacidad productiva de planta.

Tabla 3:  $\ln (K/Q)= f (\ln Q)$

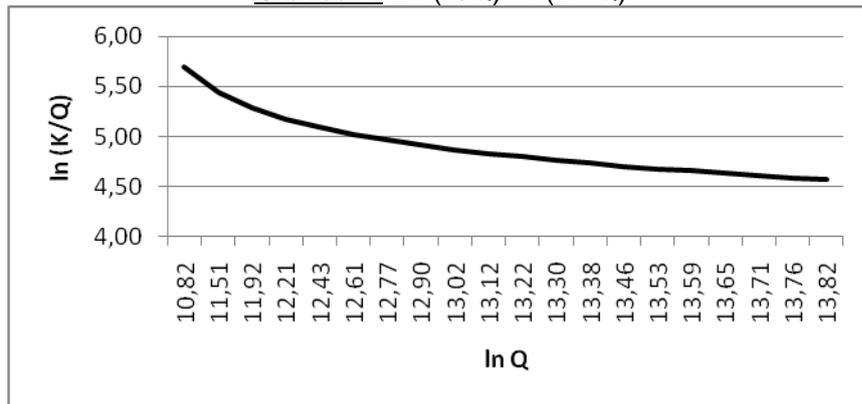
<b>ln (K / Q)</b>	5,69	5,43	5,28	5,17	5,09	5,02	4,96	4,91	4,87	4,83
<b>ln Q</b>	10,82	11,51	11,92	12,21	12,43	12,61	12,77	12,9	13,02	13,12

Continuación:  $550.000 < Q < 1.000.000$

<b>ln (K / Q)</b>	4,8	4,76	4,73	4,7	4,68	4,65	4,63	4,61	4,59	4,57
<b>ln Q</b>	13,22	13,3	13,38	13,46	13,53	13,59	13,65	13,71	13,76	13,82

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2:  $\ln (K/Q)= f (\ln Q)$



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se ha estimado una función de costos de inversión unitaria cuadrática, ya que se podría definir si la industria se encuentra en el tramo decreciente o creciente de los costos unitarios de inversión, como también estimar el costo unitario mínimo de inversión:

$$\frac{K}{Q} = \alpha - \beta Q + \gamma Q^2 \quad (5)$$

La hipótesis es que  $\gamma \neq 0$ , para que la función sea cuadrática, pero conjuntamente se debe producir que  $\gamma > 0$  para que exista un rango donde incrementan los costos unitarios de inversión. El costo mínimo se puede obtener haciendo la derivada primera e igualando a cero, para con ello estimar cual es la capacidad productiva instalada que minimice los costos de inversión unitarios (esto es cuando la derivada primera se iguala a cero y la derivada segunda es positiva, lo que reflejaría la existencia de un mínimo):

$$\frac{\partial \frac{K}{Q}}{\partial Q} = \beta + 2\gamma Q = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\beta}{2\gamma} = Q \quad (7)$$

Se estima (5) utilizando MCO y se obtiene:

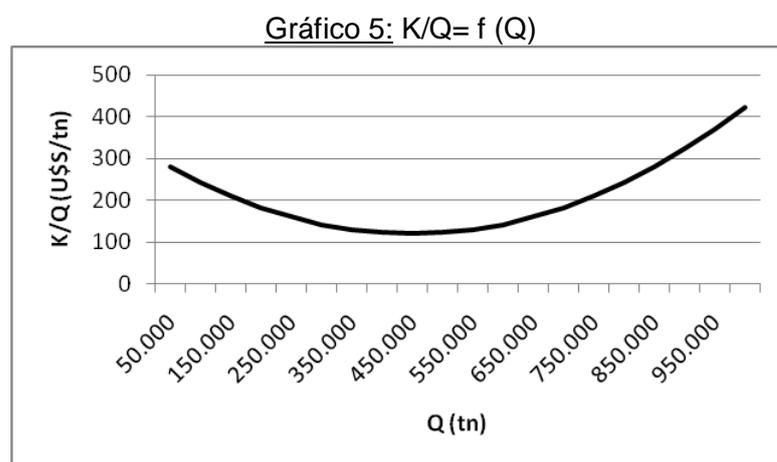
$$\frac{K}{Q} = 322,13 - 0,0009Q + 0,000000001Q^2 \quad (5')$$

$$(6,4) \quad (-1,54) \quad (0,53)$$

$$R^2 = 0,65; \text{ se} = 32,36$$

El valor que representa el nivel de capacidad productiva de la planta que minimiza el costo unitario en un valor de U\$S 128,66 es de 434.778 tn (se cumple con la condición de que la derivada segunda es positiva).

Cabe señalar, que los estimadores de los parámetros en esta función cuadrática, no resultan significativos. Sin embargo, es un aporte fructífero, al tener presente que los datos disponibles corroboran que el tamaño de planta apenas supera el mínimo señalado.<sup>7</sup>



Fuente: Elaboración propia.

Para los datos de la simulación, se obtiene:

$$\ln(K/Q) = \ln 322,13 - 0,0009 \cdot \ln Q + 2 \cdot 0,000000001 \cdot \ln Q \quad (8)$$

siendo:

$$a=322,13; b=0,0009; c=0,000000001.$$

La Tabla 4, refleja una aproximación para una simulación de capacidad productiva instalada Q para una planta hipotética y los costes medios decrecientes del capital sin una dimensión temporal.

**Tabla 4: Relación:  $\ln(K/Q) = f(\ln Q)$ :**

<b>ln (K / Q)</b>	5,7652	5,7646	5,7642	5,764	5,7638	5,7636	5,7635	5,7633	5,7632	5,7631
<b>ln Q</b>	10,82	11,51	11,92	12,21	12,43	12,61	12,77	12,9	13,02	13,12

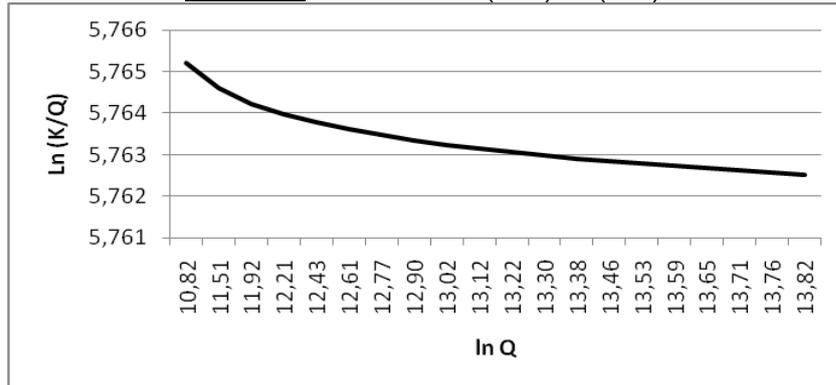
Continuación: 550.000 < Q < 1.000.000

<b>ln (K / Q)</b>	5,7631	5,763	5,7629	5,7628	5,7628	5,7627	5,7627	5,7626	5,7626	5,7625
<b>ln Q</b>	13,22	13,3	13,38	13,46	13,53	13,59	13,65	13,71	13,76	13,82

Fuente: Elaboración propia.

<sup>7</sup> Ver Apéndice A.

Gráfico 6: Relación:  $\ln(K/Q) = f(\ln Q)$ :



Fuente: Elaboración propia.

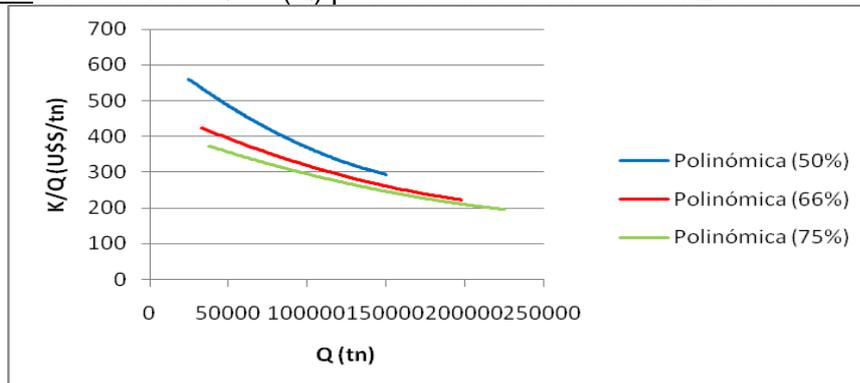
El nivel de uso de la capacidad instalada es importante para evaluar las economías de escala. Aquí se han estimado para tres niveles: 50% de uso de la capacidad (límite mínimo), 66% (límite inferior de uso de capacidad normal) y 75 % (límite superior de uso de capacidad normal admisible). Los cuadros y gráficos siguientes exhiben que en cualquier caso habrá economías de escala pero los costos serán mayores a medida que la capacidad utilizada descende.

Tabla 5: Relación K/Q - Q para distintos niveles de utilización de capacidad

	Q 50%		Q 66%		Q 75%	
K / Q	Q 50%	K/Q	Q 66%	K/Q	Q 75%	
350,000	2,929	265,152	3,683	233,333	4,089	
600,000	3,198	454,545	4,039	400,000	4,494	
400,000	2,996	303,030	3,771	266,667	4,189	
300,000	2,852	227,273	3,581	200,000	3,974	
320,000	2,884	242,424	3,624	213,333	4,022	
450,000	3,055	340,909	3,849	300,000	4,278	
333,333	2,905	252,525	3,651	222,222	4,053	
320,000	2,884	242,424	3,624	213,333	4,022	
500,000	3,107	378,788	3,918	333,333	4,357	
266,667	2,793	202,020	3,504	177,778	3,885	
300,000	2,852	227,273	3,581	200,000	3,974	
450,000	3,055	340,909	3,849	300,000	4,278	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7: Relación  $K/Q = f(Q)$  para distintos niveles de utilización de capacidad



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se ensayaron tres regresiones con parámetros de ordenadas al origen diferentes e igual elasticidad producto del capital promedio invertido:

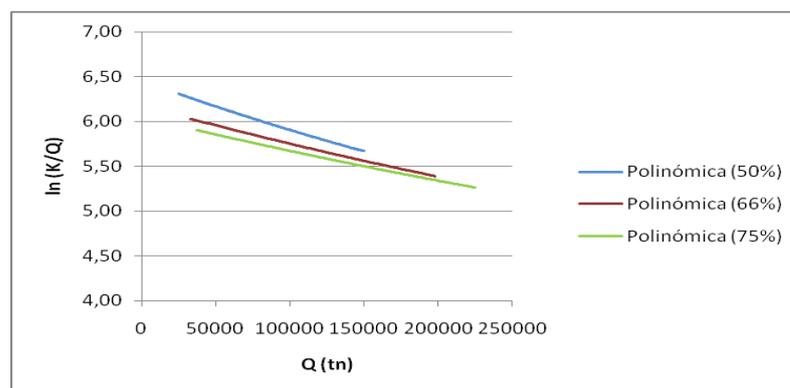
<b>Q50%:</b>	$\ln (K/Q)= 10,186 - 0,3743 \ln Q$
<b>Q66%:</b>	$\ln (K/Q)= 10,013 - 0,3743 \ln Q$
<b>Q75%:</b>	$\ln (K/Q)= 9,9328 - 0,3743 \ln Q$

Tabla 6: Relación  $\ln (K/Q)$ -Q para distintos niveles de utilización de capacidad

Q 50%		Q 66%		Q 75%	
$\ln K / Q$	Q 50%	$\ln K / Q$	Q 66%	$\ln K / Q$	Q 75%
5,858	2,929	5,580	3,683	5,452	4,089
6,397	3,198	6,119	4,039	5,991	4,494
5,991	2,996	5,714	3,771	5,586	4,189
5,704	2,852	5,426	3,581	5,298	3,974
5,768	2,884	5,491	3,624	5,363	4,022
6,109	3,055	5,832	3,849	5,704	4,278
5,809	2,905	5,532	3,651	5,404	4,053
5,768	2,884	5,491	3,624	5,363	4,022
6,215	3,107	5,937	3,918	5,809	4,357
5,586	2,793	5,308	3,504	5,181	3,885
5,704	2,852	5,426	3,581	5,298	3,974
6,109	3,055	5,832	3,849	5,704	4,278

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8: Relación  $\ln (K/Q) = f(Q)$  para distintos niveles de utilización de capacidad



Fuente: Elaboración propia.

Con la inquietud de analizar los diferentes niveles de construcción de planta, se desarrollaron los gráficos 7 y 8, distinguiendo las curvas del comportamiento de la inversión media para un aprovechamiento del 50%, 66% y 75% de la capacidad de planta instalada.

## 5. Conclusiones

Esta manera de pensar la microeconomía de la producción, por medio de una función de potencia, pareciera ser un método relativamente simple para analizar las economías de escala en la industria y de esta forma superar los obstáculos de realizar un estudio detallado de las funciones de producción. Se argumenta que las economías de escala es un atributo a la falta de indivisibilidad de las unidades productivas y que son factibles de ocurrir en industrias con alto grado de inversión en capital (ej. con plantas de alta capacidad productiva), de capital intensivo, de procesos continuos y productora de bienes homogéneos y estandarizados (para que el problema de mezcla de productos no afecten los cambios en capacidad).

Sin embargo, se debe ser consciente que algunas empresas pueden construir deliberadamente capacidades productivas instaladas más grandes, con el objeto de hacer más fácil cualquier expansión futura. En este caso, los resultados serían sesgados.

Para el caso del biodiesel en la Argentina, pareciera razonable pensar que, de acuerdo a lo de arriba expresado y de las funciones utilizadas, el costo de la inversión total crece en menor proporción que el incremento de la capacidad productiva instalada, dicho en otros términos, la tasa de crecimiento del costo de la inversión crece a tasas decrecientes a medida que incrementa la capacidad productiva de la planta, esto se aprecia cuando se observa el costo de inversión unitaria que decrece a medida que incrementa la capacidad productiva instalada.

Bajo estas condiciones sería razonable intuir que existe una tendencia de las firmas a construir plantas cada vez más grandes y que detrás de ello existan ciertas evidencias de economías de escala, lo que podría conducir hacia una mayor concentración de la industria del biodiesel.

## 6. Bibliografía

- Amigun, B., Von Blottnitz, H., (2011). "Operating costs analysis of an annexed ethanol distillery in a rural landlocked African country". *Environmental Progress & Sustainable Energy* 30. 500-515. American Institute of Chemical Engineers. (AIChE).
- Baumol, W.J., Panzar, J.C., Willig, R.D. (1988). *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*. Revisited Edition. Harcourt Brace Jovanovich Publishers. Cap. 15.
- Cobb, C. W., & Douglas, P. H. (1928). "*A theory of production*". *The American Economic Review*, 18(1), 139-165.
- Estache, A., Rossi, M. (1998). Estimación de una frontera de costos estocástica del sector agua para el continente asiático y región del Pacífico. Documento de Trabajo de la UADE. Instituto de Economía.
- Fuss M., McFadden D. (1978). "*Production economics: A dual approach to theory and applications*". North-Holland,
- Gallagher P. W, Brubaker H, Shapouri H (2005), "*Plant Size: Capital Cost Relationships in the Dry Mill Ethanol Industry*". *Biomass Bioenergy*, N° 28, 2005, pp. 565-571.
- Haas, J.M., McAloon, A.I., Yee, W.C., Foglia, T.A. (2005) "A process model to estimate biodiesel production costs". *Bioresource Technology*, 97. 671-678. Elsevier.
- Mathew J. A, Goldsztein H (2008), "*Capturing Latecomer Advantages in the Adoption of Biofuels: The Case of Argentina*". *Energy Policy*, Julio 2008, pp. 1-12

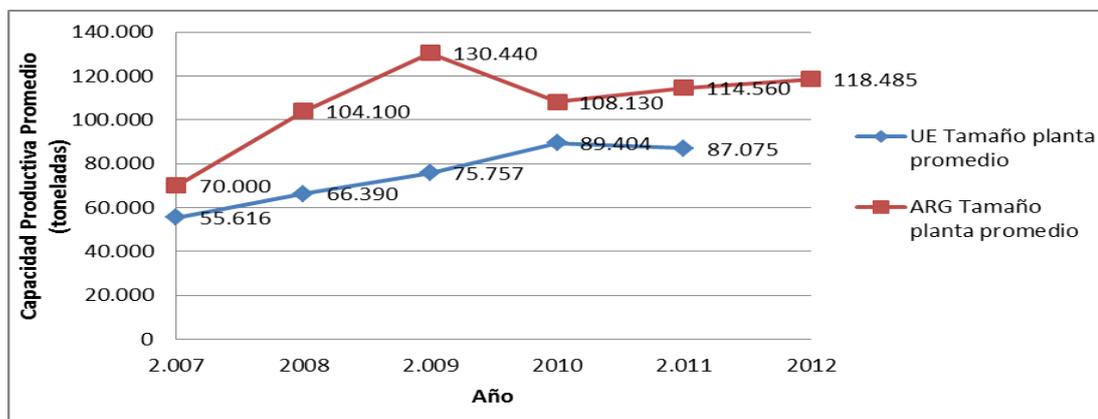
- Moore F. T (1959), *"Economies of Scale: Some Statistical Evidence"*. Quarterly Journal of Economics 1959 (73) 2: 232-45.
- Rozakis, S. Sourie, J.C. (2005). "Microeconomic modelling of biofuel system in France to determine tax exemption policy under uncertainty" Energy Policy, 33. 171-182. Elsevier.
- Shapouri, H., Gallagher, P., Graboski, M. (1998). Ethanol cost-of-production survey. Economic Report. USDA. 1998.
- Shapouri, Hosein, Paul Gallagher, and Michael S. Graboski. (2002), *"Ethanol Cost-of-Production Survey"*. Agricultural Economic Report No. 808, U.S. Department of Agriculture, Office of Energy Policy and New Uses. January 2002.
- Shephard, R.W. (1953). Cost and Production Functions. Princeton University Press. 1953.
- Smith, C.A. (1971) "Survey of empirical evidence on economies of scale" en G.C. Archibald Eds. Readings in the Theory of the Firm. Penguin.
- Sonnet F., S.A. Sattler, M.L. Rossini, F. Monzani, A.M. Moneta Pizarro, E. L. Castro González (2011) "El impacto del biodiesel sobre los recursos y la disponibilidad de materias primas del agro: un modelo con aproximación empírica" en DVD del III Congreso regional de Economía Agraria XVI Congreso de Economistas Agrarios de Chile XLII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria, y en Libro de Resúmenes pp. 99-100.
- Sonnet F., S.A. Sattler, M.L. Rossini, E. L. Castro González (2011) "El mercado de Biocombustibles: una oportunidad para el crecimiento y desafío frente a los alimentos" en DVD de las XIV Jornadas Nacionales de la Empresa Agropecuaria.
- Sonnet F., S.A. Sattler, F. Monzani, E. L. Castro González (2011) "Análisis del mercado y de las controversias frente al biocombustible" en DVD de VII Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales.
- Sonnet F., S.A. Sattler, J.L. Navarrete, M.L. Rossini, D. Calvo Sanz (2010), "Biocombustibles y Regulación: Análisis Económico y Efectos de la Ley Nacional 26093/06" Anales de la XLV<sup>o</sup> Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política en www.aaep.org.ar. y en Libro de Resúmenes AAEP pp. 203.
- Sonnet F., S.A. Sattler, J.L. Navarrete, M.L. Rossini, F. Monzani, A.M. Moneta Pizarro (2011), "Biodiesel en Argentina: Aplicación del Modelo IMPACT" Anales de la XLVI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política en www.aaep.org.ar. y en Libro de Resúmenes AAEP pp. 190.
- Sonnet, F.H., Asís I. del Valle, (2006) Economía de Empresas. Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas. U.N.C. Cuarta Edición. Tomo I. Cap. 12 y 13.
- Stigler, G. J. (1958). *"The economies of scale"*. Journal of Law and Economics,1, 54-71.
- Walters, A.A. (1963). "Econometric production and cost functions". Econometrica. 1963.

## APÉNDICE A:

### A1. Tamaño de Planta Promedio

La idea de esta sección es mostrar que ha sucedido con la industria de biodiesel en términos de tamaño de planta promedio en los últimos años.

Gráfico A1: Evolución del tamaño promedio de las plantas de biodiesel en la Argentina



Fuente: Elaboración propia en base a datos CADER, Secretaría de energía de la Nación y European Biodiesel Board.

Como se observa en el Gráfico B1, el tamaño promedio en la Argentina ha estado creciendo continuamente; en 2007 el tamaño promedio fue de 70.000 toneladas/año, éstas llegaron a su máximo en el 2009 con un promedio mayor a 130.400 toneladas/año. Se puede observar que el tamaño promedio de la capacidad productiva disminuyó en un 17% en el 2010 (con la incorporación de seis plantas PyMEs, con capacidad menor a 50.000 toneladas), año que en el que se implementa el corte obligatorio.

Las expectativas futuras, en cuanto a plantas de mayor tamaño, no son buenas. Cabe señalar que las exportaciones de biodiesel cayeron por primera vez en 2012 desde el nacimiento de esta industria (-7,4% anual), como consecuencia de un conflicto comercial con la Unión Europea (UE), el que todavía a la fecha de publicación de este artículo no se ha solucionado. Esto ha provocado, una gran incertidumbre que frena nuevas inversiones en plantas de biodiesel. Las más perjudicadas son las grandes empresas (con más de 50.000 toneladas anuales de capacidad) que destinan la mayor parte de su producción para exportar y han sufrido un aumento considerable de su capacidad ociosa.

Es importante tener presente, que la industria de biodiesel nacional es reconocida mundialmente por sus economías de escala, por el tamaño de la industria, y por su eficiencia. Por ejemplo, para el año 2011 la Unión Europea tiene 254 plantas instaladas con una capacidad total de 22,1 millones de toneladas/año, o sea un tamaño promedio por planta de 87.075 toneladas.

## **A2. Capacidad productiva**

**Tabla A 1: Capacidad productiva y asignación de las empresas que conforman la industria para el año 2012**

<b>Empresas de biodiesel</b>	<b>Capacidad de producción toneladas/año</b>	<b>Asignación toneladas/año al mercado interno</b>
Biocombustibles Tres Arroyos S.A.	6.600	6.600
BH Biocombustibles S.R.L.	10.800	10.800
Héctor Bolzán y Cía. S.R.L.	10.800	10.800
Soyenergy S.A.	18.100	18.000
Pitey S.A.	18.000	18.000
Colalao del Valle S.A.	18.000	18.000
Prochem Bio S.A.	20.000	20.000
ERA S.R.L	22.000	22.000
Rosario Bioenergy S.A.	38.400	38.400
Advanced Organic Materials S.A.	48.000	48.000
Biomadero S.A.	48.000	48.000
Aripár Cereales S.A.	50.000	50.000
ENRESA	50.000	50.000
Agrupación de Colaboración San Antonio	50.000	50.000
Cremer y Asociados S.A.	50.000	50.000
Maikop S.A.	80.000	72.000
Diaser S.A.	96.000	83.203
Molinos Río de la Plata S.A.	100.000	46.339
Explora S.A.	120.000	84.488
Vicentin S.A.	158.400	54.725
Viluco S.A.	200.000	105.374
Unitec Bio S.A.	230.000	110.283
Cargill S.A.C.I	240.000	46.339
Patagonia Bioenergía S.A.	250.000	55.165
L.D.C Argentina S.A. (Dreyfus)	305.000	49.838
Renova S.A.	481.000	57.118
T 6 Industrial S.A. (Ecofuel)	480.000	89.227
<b>Total 27 empresas</b>	<b>3.199.100</b>	<b>1.312.697</b>

Fuente: Resolución 56/2012 de la Secretaría de Energía de la Nación.

En la Tabla A1 se muestra la capacidad anual medida en toneladas para las distintas plantas vigente en 2012, se observa que las plantas más grandes son Renova S.A. y T6 Industrial S.A., las cuales poseen 481.000 y 480.000 toneladas anuales respectivamente, esto es un 10% más aproximadamente que el tamaño óptimo de planta estimado de 434.778 toneladas.

Por otra parte, podemos clasificar a las plantas en grandes y chicas siguiendo el criterio de la Ley 26.093. Esta establece que aquellas que no superen las 50.000 toneladas anuales tienen prioridad para obtener el cupo de ventas destinado al mercado interno, por lo que existían 15 empresas en 2012 con un promedio de 30.528 toneladas de capacidad. Por otro lado, las grandes, las cuales superan las 50.000 toneladas y exportan la mayor parte de su producción, eran 12 con una capacidad promedio de 228.367 toneladas.