



EFICIENCIA TÉCNICA DE PESQUERÍAS CON HETEROGENEIDAD INOBSERVADA

DAVID CASTILLA ESPINO

Departamento de Economía, UNIVERSIDAD DE HUELVA, ESPAÑA

E-mail: david.castilla@dehie.uhu.es

JUAN JOSÉ GARCÍA DEL HOYO

Departamento de Economía, UNIVERSIDAD DE HUELVA, ESPAÑA

E-mail: hoyo@uhu.es

Recibido: 17 de Septiembre de 2019

Aceptado: 22 de Septiembre de 2019

RESUMEN

La producción pesquera está sujeta a una variabilidad significativa la cual se deriva, en parte, de la naturaleza estocástica intrínseca de las pesquerías relacionada principalmente tanto con factores ecológicos y ambientales como con factores relacionados la producción. La consideración de estos factores es necesaria para evitar sesgos en la estimación de los modelos econométricos de producción. El presente artículo aborda la variabilidad en la producción causada por la heterogeneidad observada e inobservada en el marco Análisis de Fronteras Estocásticas junto con la eficiencia técnica y la aleatoriedad. Este artículo ejemplifica la aplicación de un modelo de frontera estocástica de clase latente en el caso de la pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro para tener en cuenta la heterogeneidad en la frontera de producción. Los resultados muestran que la eficiencia técnica media es de alrededor del 55% superiores a las obtenidas en un modelo frontera estocástica estándar. Además, los datos de la muestra ponen de manifiesto la existencia de 2 clases claramente diferenciadas y permiten proporcionar consejo científico para la mejora de la gestión de esta pesquería.

Palabras clave: eficiencia, pesquerías, boquerón, heterogeneidad inobservada.

ABSTRACT

Fisheries production is subject to a significant variability caused no only by the stochastic nature of fisheries due to uncontrolled environmental and biological conditions, but also by factors related to production activity. It is necessary to take into consideration all these factors to avoid biases on production model estimates. This paper aims to go through this variability in Stochastic Frontier Analysis to account for observed and unobserved heterogeneity together with technical efficiency and randomness. This paper exemplifies the application of a Latent Class Stochastic Frontier model to the anchovy fishery of Southeastern Black Sea to account for production frontier heterogeneity. Results show a mean level of technical efficiency of 55%, which is higher than those produced by the standard stochastic frontier model. Moreover, results allow identifying two latent classes in the fleet. They also provide sound scientific advice for de management of the fishery.

Keywords: efficiency, fisheries, anchovy, unobserved heterogeneity.

Clasificación JEL: C23, D24, Q22.

1. INTRODUCCIÓN

El término Economía Azul se arraiga en la conferencia Rio +20 organizada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 2012 que introduce la perspectiva de la *Economía Verde* que se define como *aquella economía que resulta en un mejor bienestar humano y equidad social, reduciendo significativamente los riesgos ambientales y las escaseces ecológicas* (PNUMA, 2012). La *Economía Azul* pone el foco en este contexto en nuestros mares y océanos; y considera que estos constituyen una importante fuente de crecimiento económico (*Crecimiento Azul*) sobre la base de su protección medio ambiental y uso sostenible. La economía Azul traza de este modo, una *trayectoria de desarrollo que permite obtener mayores ingresos de los recursos marinos a la vez que previene su degradación, sobrexplotación y contaminación* (Boonstra *et al.*, 2018).

La actividad pesquera constituye uno de los sectores establecidos de la *Economía Azul* con potencial para generar crecimiento a largo plazo de manera sostenible bajo determinados supuestos como en el caso de la pesca artesanal, la certificación de las capturas, el empleo de tecnologías más eficientes o la especialización (Boonstra *et al.*, 2018; Pauly, 2018). En este sentido, la sostenibilidad social y bio-económica de la pesca se ha convertido en una prioridad ampliamente reconocida por distintas instituciones (Comisión Europea o la Organización de Naciones Unidas entre otros organismos) en el marco del desarrollo de la *Economía Azul*; no obstante existen múltiples retos que deben ser todavía superados para alcanzar este objetivo.

La caracterización de las funciones de producción y la medición por medio de éstas, de la eficiencia y otras magnitudes como la capacidad de pesca, constituye una cuestión relevante de la dimensión socio-económica del ecosistema del negocio de la pesca y prueba de ello, es el extenso tratamiento que estas cuestiones han tenido en la literatura científica sobre pesquerías (véase sección 2). El resultado que se deriva de estos modelos constituye un input relevante para una adecuada gestión de los recursos pesqueros en la medida en que permiten, tanto conocer la adecuada dimensión de las flotas, los factores determinantes de la eficiencia y la capacidad de pesca de las mismas, o las relaciones entre inputs y/o outputs productivos; como evaluar el impacto de la política pesquera.

La producción pesquera está sujeta a una variabilidad significativa la cual se deriva, en parte, de la naturaleza estocástica intrínseca de las pesquerías la cual está relacionada tanto con factores ecológicos y ambientales, como a factores propios de la producción pesquera. La primera fuente de variabilidad da lugar a distintas distribuciones espaciales y temporales de la biomasa; y a cambios en el tamaño de los stocks de peces; la segunda, está asociada a limitaciones de la disponibilidad de inputs, como el hecho de que estos no se puedan llegar a utilizar debido a unas condiciones meteorológicas adversas (Gates, 1984; Sissenwine, 1984). A lo anterior y a los efectos del análisis de la información pesquera, hay que añadir que una importante fuente de incertidumbre adicional la constituye la falta de datos / información sobre la actividad pesquera y la imprecisión de los propios datos empleados en el modelado previo al consejo científico al gestor de pesquerías que lleva a que, en general, haya que considerar la información procesada por las herramientas analíticas con cautela.

Otra fuente de variabilidad de la producción pesquera es resultado de la coexistencia en las flotas que explotan una pesquería de múltiples tipos de tecnologías caracterizadas por distintas configuraciones de inputs y artes de pesca; y las diferencias de eficiencia entre embarcaciones que emplean la misma tecnología (Felthoven *et al.*, 2009).

La adecuada caracterización de la producción requiere tener en cuenta las distintas fuentes de variabilidad de la misma en aras de un consejo científico fiable a los gestores de pesquerías. De este modo, un modelo de producción debe considerar tanto la naturaleza estocástica de la producción pesquera como las distintas fuentes de heterogeneidad observada e inobservada de la producción pesquera y las diferencias en eficiencia. El presente artículo aborda estas cuestiones como objetivo principal en el marco del Análisis de Fronteras Estocásticas (SFA¹) que permite tomar en consideración la eficiencia y la incertidumbre, presentando las alternativas metodológicas disponibles en la literatura científica para considerar la heterogeneidad observada e inobservada. Este artículo ejemplifica estos métodos en el caso de la pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro en el supuesto de heterogeneidad observada e inobservada.

¹ Acrónimo del anglosajón *Stochastic Frontier Analysis*.

El objetivo principal detallado en el párrafo anterior se completa con los objetivos secundarios de caracterizar adecuadamente la tecnología de la producción de la flota que opera en la pesquería de boquerón (*Engraulis encrasicolus*, Linnaeus, 1758) del sureste del Mar Negro asumiendo la existencia de heterogeneidad observada e inobservada en la pesquería mediante un modelo de frontera estocástica de clase latente (Orea y Kumbhakar, 2004; Greene, 2005a); estimar la eficiencia técnica de la flota que opera en esta pesquería; estudiar patrones que expliquen las clases que eventualmente sean identificadas tras la estimación del modelo; y proporcionar consejo científico fiable para una mejor gestión de la pesquería analizada conforme a la nueva especificación de frontera.

La pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro en la que concurren los stocks de boquerón de las Azov y el Mar Negro es explotada en una franja costera de 330 km de las aguas territoriales de Georgia por buques georgianos con base en Poti y Batumi; y barcos turcos apoyados por buques de transporte (Castilla-Espino *et al.*, 2014). Los stocks de boquerón objetivo de esta pesquería se distribuyen siguiendo un patrón estacional en todo el Mar Negro y han estado sujetos a la accidentada evolución histórica de las condiciones ambientales de este mar casi cerrado, únicamente conectado con el Mar Mediterráneo por el Estrecho del Bósforo, en el que han acontecido dos cambios de régimen de suma relevancia en los años 70 y 80 (Oguz, 2005a; b).

Estos dos cambios de régimen dieron lugar a un incremento sustancial de las poblaciones del boquerón del Mar Negro durante los años 70 como consecuencia de importantes reclutamientos derivados de los procesos eutrofización y la sobreexplotación de sus depredadores. Posteriormente, en los años 80, otro cambio de régimen dio lugar a una aguda caída de las poblaciones de pequeños pelágicos debido a su sobreexplotación y la introducción accidental de la ctenófora *Mnemiopsis leidyi* (Agassiz, 1865).

La evolución histórica descrita en los párrafos anteriores unida a otros factores geopolíticos como la desintegración de la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas o la creación de las Zonas Económicas Exclusivas (ZEE) por la Ley del Mar (1982), llevaron a que la pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro no volviera a estar en condiciones de ser explotada hasta finales de la década de los 90 cuando se empezó a notar la falta de presión pesquera. En este momento, la flota pesquera del principal país ribereño (Georgia) que explotaba esta pesquería en aguas territoriales estaba prácticamente desmantelada, de modo que se vio obligado a arrendar la práctica totalidad de su Total Admisible de Capturas (TAC) anual a otros países, principalmente Turquía (Castilla-Espino *et al.*, 2014).

La pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro presenta un sistema de gestión que únicamente se basa en un sistema de licencias concedidas mediante subastas por períodos de 10 años. 4 compañías ganaron la subasta en 2006, las cuales ha explotado la TAC anual de la ZEE de Georgia alquilando buques de Georgia y Turquía. Los buques turcos no pueden emplear artes de arrastre además de estar sujetos a otras restricciones técnicas relacionadas con las características de las artes empleadas. Un 10% de esta TAC anual se reserva a embarcaciones georgianas (FAO, 2006; Duzgunes y Erdogan, 2008; Castilla-Espino *et al.*, 2014).

La pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro constituye un caso de estudio de interés para los objetivos de este artículo por varios factores, a saber, la información disponible sobre la pesquería es escasa, la explotación de dos stocks de boquerón diferentes (Azov y Mar Negro) unida a la extensión del área de pesca que puede llevar a la existencia de diferencias inobservadas en la distribución espacial de los mismos; la amplia variedad de las configuraciones de inputs de las embarcaciones de la flota pesquera que incluye cerqueros y arrastreros; o la coexistencia de diferentes formas de operar de los buques de la pesquería dependiendo de factores de naturaleza institucional tales como la propiedad de la embarcación, entre otras. Estos factores son una importante fuente de heterogeneidad observada e inobservada que si no es considerada, inevitablemente llevará a estimaciones erróneas de la tecnología de la producción y otras magnitudes relacionadas.

Existen evidencias científicas que sugieren que la pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro presenta niveles eficiencia medios de aproximadamente el 58% y bajos niveles de utilización de la capacidad que sugieren altos niveles de sobrecapacidad de la flota que exceden al menos 2 veces la TAC anual fijada utilizando la técnica del Análisis Envolvente de Datos (DEA²- Castilla-Espino *et al.*, 2014).

² Acrónimo del anglosajón *Data Envelopment Analysis*.

Los resultados de este artículo permitirán medir de una manera más apropiada los niveles de eficiencia técnica de la flota e identificar las características de las embarcaciones más eficientes y las que ejercen un mayor poder de pesca, de manera que se proporcionaran consejo científico relevante para orientar mejor la gestión de la pesquería y en particular el sistema de licencias basado en subastas de la pesquería.

El presente artículo aborda, tras esta introducción, la descripción de los datos y de los métodos disponibles para la consideración de la heterogeneidad observada e inobservada en el análisis de fronteras estocásticas; y en particular los modelos de frontera de clase latente aplicados al caso de estudio considerado. En cuarto lugar, se presentan los principales resultados obtenidos tras la estimación del modelo de frontera estocástica de clase latente de la pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro. Finalmente, se resumen las principales conclusiones alcanzadas y se discuten las mismas realizando propuestas mejora.

2. DATOS

Los datos empleados en este artículo consisten un panel desequilibrado de tres temporadas (2005-2008) de capturas y características técnicas de 54 buques que operan en la pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro, concretamente en la ZEE de Georgia, empleando artes de cerco y arrastre pelágico para la captura de boquerón (Castilla-Espino *et al.*, 2014).

La Tabla 1 muestra las principales características técnicas de las embarcaciones operativas incluidas en el censo de flota oficial. Como se puede observar, todas las embarcaciones de origen turco (19) emplean artes de cerco en aplicación de las restricciones de artes existentes en la normativa aplicable, mientras que la amplia mayoría de las embarcaciones de origen georgiano (35) emplean artes de arrastre pelágico.

Las embarcaciones turcas son, en general de mayor dimensión que las georgianas destacando la elevada potencia de los motores de las embarcaciones turcas que está motivado por el empleo de luces en la captura de boquerón. Es notorio el hecho de que el segmento de la flota de origen turco presenta en general una mayor variabilidad en cuanto a sus características técnicas (Tabla 1).

El modelo de frontera estocástica de clase latente se ha estimado empleando una muestra cuya representatividad media es de aproximadamente el 58% de las capturas totales de boquerón y que incluye a los buques con capturas registradas de los que se dispone la información relativa a la tecnología necesaria para la estimación del modelo.

Tabla 1
Características técnicas de la flota operativa en el período 2005-2008

Origen	Arte de pesca	Característica	Número	Media	Desviación típica
Georgia	Arrastre	Eslora (m)		20.97	7.06
		Tonelaje (GT)	32	67.43	46.78
		Tripulación (nº)		7.00	1.66
		Potencia (kw)		151.68	61.46
	Cerco	Eslora (m)		15.97	6.07
		Tonelaje (GT)	3	40.60	36.42
Tripulación (nº)			5.67	0.47	
Turquía	Cerco	Potencia (kw)		186.67	179.88
		Eslora (m)		39.61	6.67
		Tonelaje (GT)	19	114.68	52.87
		Tripulación (nº)		25.79	3.10
		Potencia (kw)		2253.79	793.38

Fuente: elaboración propia a partir de los datos oficiales del censo de 2009

3. MÉTODOS

3.1. Análisis de la eficiencia: modelos de fronteras estocásticas

El análisis econométrico de la eficiencia fue desarrollado a partir de los trabajos pioneros de Aigner *et al.* (1977); y Meeusen y van Den Broeck (1977) basándose en el concepto de eficiencia de Debreu-Farrell (Debreu, 1951; Farrell, 1957) dando origen a la técnica del análisis de fronteras estocásticas (SFA) que junto con el análisis envolvente de datos (DEA - Charnes *et al.*, 1979; 1981) son las principales alternativas disponibles para la medición de la eficiencia de unidades de decisión y/o sectores productivos.

La caracterización de las funciones de producción y la medición de la eficiencia técnica, esto es, la habilidad de una unidad de decisión para producir más, dados unos niveles determinados de inputs; y otras magnitudes como la capacidad de pesca, esto es, la máxima producción que una unidad de decisión puede producir dados sus inputs fijos y plena utilización de sus inputs variables; a partir de las mismas mediante el DEA y el SFA son una fuente de información relevante para una adecuada gestión de los recursos pesqueros. Esto se debe a que permiten tanto conocer la adecuada dimensión de las flotas, los factores determinantes de la eficiencia y la capacidad de pesca de las mismas o las relaciones entre inputs y/o outputs productivos entre otros aspectos relevantes; como evaluar el impacto de la política pesquera.

En particular, la técnica SFA (Kumbhakar y Lovell, 2000; Coelli *et al.*, 2005; Kumbhakar *et al.*, 2015) es la aplicada en este trabajo en la medida que permite caracterizar las funciones de producción, realizar inferencia sobre los parámetros de las misma, y tomar en consideración la incertidumbre en contraposición con la técnica DEA. Esta incertidumbre es especialmente relevante considerarla cuando se emplean datos de pesquerías relativos a unidades de decisión pequeñas (embarcaciones) sujetas a mucho ruido (Verschelde *et al.*, 2016) y a una gran variedad de factores ecológicos, ambientales y productivos incontrolables (Gates, 1984; Sissenwine, 1984).

El SFA es una técnica econométrica que puede emplear datos de corte transversal o de panel que permite estimar los parámetros (α, β) de la frontera de producción (capturas) de una pesquería $[f(\bullet)]^3$, esto es la captura máxima que una embarcación i (y_i) puede alcanzar dados su nivel de inputs (x_{it}) que configuran su actividad y poder de pesca (esfuerzo pesquero) en el momento t . El SFA es un modelo econométrico de error compuesto (ε_{it}) de dos tipos de error: uno que recoge los shocks aleatorios que afectan a la producción (v_{it}) y otro (u_{it}), de una sola cola, que representa la ineficiencia técnica de la embarcación que lleva a que sus niveles de producción efectivos sean inferiores a los que potencialmente puede alcanzar dado su esfuerzo pesquero [ecuación (1)].

$$y_{it} = f(\alpha; \beta, x_{it}) \cdot e^{\varepsilon_i}; \varepsilon_i = v_i - u_i \quad (1)$$

El procedimiento de estimación del modelo SFA de la ecuación (1) más generalizado es el inicialmente propuesto en Aigner *et al.* (1977); y Meeusen y van Den Broeck (1977) de estimación por máxima verosimilitud, aunque existen otras múltiples alternativas disponibles dependiendo de si se emplean datos de corte transversal o de panel. El procedimiento requiere fuertes supuestos distribucionales en relación con el término de error compuesto y las variables del modelo. En el caso de que se trate de un modelo de datos de panel como es el caso de la ecuación (1) son comunes los procedimientos de estimación de efectos fijos y efectos aleatorios (Kumbhakar y Lovell, 2000).

La estimación de medidas individuales de eficiencia técnica (E_{it}) en el contexto del procedimiento de estimación de máxima verosimilitud se lleva cabo mediante la estimación del exponente natural de la esperanza matemática del error de una sólo cola condicionado al error compuesto [ecuación (2)] o de la esperanza matemática del exponente natural del error de una sólo cola condicionado al error compuesto [ecuación (2)] conforme a los procedimientos descritos en Jondrow *et al.* (1982); y Battese y Coelli (1988).

³ Las especificaciones de la frontera de capturas más comúnmente empleadas son la *Cobb-Douglas* y la forma funcional flexible logarítmica transcendental (*Translog*).

$$Et_i = e^{-E(u_i/\varepsilon_i)} \quad (2)$$

$$Et_i = E\left(e^{-u_i}/\varepsilon_i\right) \quad (3)$$

La aplicabilidad del SFA al sector pesquero y la importancia de los resultados de investigación derivadas de la misma es constatable por el extenso número de aplicaciones que tienen por objeto la medición de la eficiencia técnica de pesquerías (Kirkley *et al.*, 1995; 1998; Sharma y Leung, 1999; Pascoe *et al.*, 2001; 2007; Felthoven, 2002; Fousekis, 2002; Fousekis y Klonaris, 2003; García-del-Hoyo *et al.*, 2004; Orea *et al.*, 2005; Kompas y Che, 2005; Kumbhakar *et al.*, 2013; 2016; Tidd *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2016; Chavez Estrada *et al.*, 2018) y la capacidad de pesca (Castilla-Espino *et al.*, 2014; 2005; Reid *et al.*, 2003; Squires *et al.*, 2010; Felthoven, 2002; Felthoven *et al.*, 2009; Felthoven y Morrison Paul, 2004; Kumbhakar *et al.*, 2013a; Vestergaard *et al.*, 2003), no sólo a nivel de pesquerías locales sino también a una mayor escala geográfica en lo que respecta a la aplicación de la política pesquera desde la perspectiva regional hasta la internacional (Lee y Rahimi Midani, 2015; Alem *et al.*, 2018).

El SFA ha sido objeto de un intenso desarrollo durante las últimas cuatro décadas y está actualmente alcanzando su madurez tanto en lo que se refiere a las bases teóricas del mismo como a los planteamientos econométricos, siendo objeto de múltiples avances (Parmeter y Kumbhakar, 2014; Kumbhakar y Schmidt, 2016; Kumbhakar *et al.*, 2017). Estos avances han puesto de manifiesto que mucho de los resultados de aplicaciones han perdido validez por distintos problemas de naturaleza teórica y econométrica (endogeneidad, especificación, heterogeneidad observada e inobservada,...).

3.2. Heterogeneidad observada e inobservada en los modelos de fronteras estocásticas

La producción pesquera está sujeta a una variabilidad significativa causada por la aleatoriedad y la heterogeneidad entre las embarcaciones de las flotas que explotan una pesquería en las que coexisten múltiples tipos de tecnologías y cuyas embarcaciones presentan diferencias de eficiencia técnica (véase sección 1).

La variabilidad intrínseca de las pesquerías introduce importantes componentes de heterogeneidad observada e inobservada que conduce, si no es considerada, a estimaciones inadecuadas de la frontera de capturas. En particular, su no consideración puede tener como consecuencia la estimación sesgada de la tecnología subyacente o la obtención de medidas de eficiencia técnica erróneas al confundirse ésta con otros factores.

La heterogeneidad observada puede afectar a la parte determinista de la frontera o al término de error asimétrico representativo de la ineficiencia técnica [v_{it} - ecuación (1)]. El primero de los casos se aborda mediante la inclusión de distintos factores / variables de naturaleza cuantitativa o cualitativa en el modelo considerado en la especificación estándar presentada en la ecuación (1). El segundo de los casos es considerado mediante la creación de una estructura que modele los parámetros de la distribución del error asimétrico representativo de la ineficiencia.

Las especificaciones propuestas en la metodología cuando la heterogeneidad afecte a la ineficiencia contemplan, en el supuesto de que el error asimétrico esté distribuido de acuerdo con una distribución *Seminormal* o *Normal truncada* en 0 con parámetros μ y σ^2 , que el primer parámetro [ecuación (4)] y/o el segundo [ecuación (5)] estén explicados por distintos factores observados en función de la naturaleza de la heterogeneidad que afecte al término de ineficiencia (Caudill *et al.*, 1995; Battese y Coelli, 1995; Wang, 2002).

$$\mu_{it} = f(\delta, z_{it}) \quad (4)$$

$$\sigma_{it}^2 = f(\gamma, z_{it}) \quad (5)$$

Otro enfoque empleado en la literatura del SFA para abordar la heterogeneidad observada es el denominado de metafronteras estocásticas de producción. Este enfoque se emplea en el caso en el que las embarcaciones de una flota operen con distintas tecnologías, v. g. distintos artes de pesca. Este

método requiere identificar a priori j grupos conocidos de buques que operan bajo la misma y diferente tecnologías intra e intergrupos respectivamente⁴; y estimar una frontera estocástica producción para cada uno de ellos en una primera etapa; y a continuación, en una segunda etapa, estimar con todas las embarcaciones otra frontera de producción, denominada metafrontera, que envuelva a las fronteras de los j grupos mediante métodos de programación matemática (Battese *et al.*, 2004) o de fronteras estocásticas (Huang *et al.*, 2014; Alem *et al.*, 2018; Lee y Huang, 2018). Este procedimiento permite además obtener puntuaciones de eficiencia técnica comparables intra e inter grupos; y una medida de la brecha tecnológica existente entre los distintos grupos de embarcaciones.

La heterogeneidad inobservada puede ser abordada en el supuesto de que ésta no varía en el tiempo y es específica de cada embarcación mediante un modelo estándar de efectos fijos (Schmidt y Sickles, 1984) con datos de panel. Esto último implicaría que la heterogeneidad inobservada distinta de la introducida por la propia eficiencia técnica no puede ser diferenciada de esta última. La distinción entre la heterogeneidad inobservada e ineficiencia de este enfoque constituye una importante limitación de este modelo y ha dado lugar a distintas propuestas metodológicas en la literatura científica, entre las que destacan por el extenso número de aplicaciones a las que han dado lugar, las siguientes:

- Modelos de efectos fijos y aleatorios verdaderos (Greene, 2005a; b).
- Modelo mixto o de parámetros aleatorios (Tsionas, 2002; Huang, 2004; Greene, 2005a).
- Modelo de frontera estocástica de clase latente (Orea y Kumbhakar, 2004; Greene, 2005a).

El modelo de efectos fijos verdaderos incorpora la heterogeneidad inobservada en un efecto fijo invariante en el tiempo (α_i) e introduce un error asimétrico representativo de la ineficiencia (u_{it}) en el modelo básico de efectos fijos empleando la formulación presentada en la ecuación (6), la cual puede ser estimada mediante el método de la máxima verosimilitud (Greene, 2005a).

$$y_{it} = f(\alpha_i; \beta, x_{it}) \cdot e^{\varepsilon_i}; \varepsilon_{it} = v_{it} - u_{it} \quad (6)$$

El modelo de efectos aleatorios verdaderos incorpora la heterogeneidad inobservada en un efecto aleatorio invariante en el tiempo (w_i) e introduce un error asimétrico representativo de la ineficiencia (u_{it}) en el modelo básico de efectos aleatorios empleando la formulación presentada en la ecuación (7), la cual puede ser estimada mediante el método de la máxima verosimilitud (Greene, 2005a).

$$y_{it} = f(\alpha + w_i; \beta, x_{it}) \cdot e^{\varepsilon_i}; \varepsilon_{it} = v_{it} - u_{it} \quad (7)$$

El modelo de parámetros aleatorios permite que la heterogeneidad inobservada varíe de una forma más general entre embarcaciones introduciendo en el modelo parámetros aleatorios que varían para cada embarcación de acuerdo con la formulación presentada en la ecuación (8) la cual puede ser estimada por máxima verosimilitud tras asumir distintos supuestos distribucionales (Greene, 2005a).

$$y_{it} = f(\alpha_i; \beta_i, x_{it}) \cdot e^{\varepsilon_i}; \varepsilon_{it} = v_{it} - u_{it} \quad (8)$$

Los modelos de frontera estocástica de clase latente suponen la existencia de un número finito de especificaciones de frontera de producción no conocidas a priori de grupos (clases) de embarcaciones a diferencia de lo que ocurre en el caso de los modelos de metafronteras estocásticas de producción, las cuales adolecen del inconveniente de que no tienen en consideración la información inter-grupos para estimar la tecnología (Orea y Kumbhakar, 2004). El modelo subyacente que permite identificar las distintas clases latentes puede asumir probabilidades a priori fijas o parametrizarlas de acuerdo con un modelo *logit* multinomial. Las probabilidades a posteriori pueden ser obtenidas mediante la aplicación del teorema de Bayes (véase sección 3.3).

3.3. Modelo de fronteras estocásticas de clase latente

Un modelo de frontera estocástica de clase latente tiene la especificación que se presenta en la ecuación (9) donde j identifica los distintos grupos o clases (Orea y Kumbhakar, 2004; Greene, 2005a).

⁴ Algunos autores han optado por definir los grupos mediante el empleo de análisis por conglomerados (Maudos *et al.*, 2002).

$$y_{it} = f(\alpha; \beta, x_{it})/j \cdot e^{\varepsilon_i/j}; \varepsilon_i/j = v_i/j - u_i/j \quad (9)$$

El modelo presentado en la ecuación (9) puede ser estimado por el método de la máxima verosimilitud partiendo de la función de verosimilitud de cada clase (LF_{ijt}), las cual puede ser obtenidas por medio de la expresión presentada en la ecuación (10), donde $e^{\varepsilon_{it}/j} = y_{it} - (\alpha + \beta_j' x_{it})$, $\sigma_j = (\sigma_{uj}^2 + \sigma_{vj}^2)^{1/2}$, $\lambda_j = \sigma_{uj}/\sigma_{vj}$; y $\phi(\bullet)$ y $\Phi(\bullet)$ son las funciones de densidad y de distribución Normal estándar respectivamente.

$$LF_{ijt} = f(y_{it}/x_{it}, \alpha_j, \beta_j, \sigma_j, \lambda_j) = \frac{\Phi\left(\frac{-\lambda_j e^{\varepsilon_{it}/j}}{\sigma_j}\right)}{\Phi(0)} \cdot \frac{1}{\sigma_j} \cdot \phi\left(\frac{e^{\varepsilon_{it}/j}}{\sigma_j}\right) \quad (10)$$

El logaritmo de la función de verosimilitud del modelo completo se puede obtener mediante la expresión presentada en la ecuación (11) donde P_{ij} son las probabilidades de pertenencia a priori a una clase determinada las cuales pueden ser fijas o parametrizadas mediante un modelo *logit* multinomial como el presentado en la ecuación (12) donde q_i son las covariables invariantes en el tiempo que explican las clases y δ_j un vector de parámetros a estimar. Las probabilidades a posteriori ($P_{j/i}$) se pueden obtener mediante la aplicación del teorema de Bayes representado en la ecuación (13).

$$\ln LF = \sum_{i=1}^N \ln \sum_{j=1}^J P_{ij} \prod_{t=1}^T LF_{ijt} \quad (11)$$

$$P_{ij} = \frac{e^{\delta_j' q_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\delta_j' q_i}} \quad (12)$$

$$P_{j/i} = \frac{P_{ij} \cdot LF_{ij}}{\sum_{j=1}^J P_{ij} \cdot LF_{ij}} \quad (13)$$

4. RESULTADOS

Se ha estimado una frontera estocástica de capturas de clase latente utilizando una especificación de la tecnología de producción tipo *Cobb-Douglas*; y suponiendo una estructura distribucional del error compuesto *Normal-Seminormal*, eficiencia variante en el tiempo y que las probabilidades a priori son fijas, de acuerdo con las ecuaciones (14) y (15) en las que la variable dependiente es la captura anual de la embarcación (y_{it}) y las variables independientes son el esfuerzo pesquero (E_{it}), la potencia de los motores (K_{it}), la eslora (L_{it}) y una variable ficticia que distingue los buques que emplean artes de cerco (Battese y Coelli, 1992; Orea y Kumbhakar, 2004; Greene, 2005a)

$$\ln y_{it} = \alpha/j + \beta_E/j \cdot \ln E_{it} + \beta_K/j \cdot \ln K_{it} + \beta_L/j \cdot \ln L_{it} + \gamma_G \cdot G_i + v_{it}/j - u_{it}/j \quad (14)$$

$$u_{it}/j = e^{\eta/j \cdot (t-T)} \cdot u_i/j \quad (15)$$

La Tabla 2 presenta los resultados de la estimación del modelo para las tres temporadas de datos disponibles empleando el panel desequilibrado descrito en la sección 2. La significación de σ_u permite concluir la de existencia de ineficiencia en modelo de fronteras estocásticas estándar, por otra parte el modelo de clase latente estimado es preferible al modelo de fronteras estocásticas Battese y Coelli (1992) estándar conforme al criterio de *Akaike* corregido por grados de libertad.

Las probabilidades a priori estimadas para las clases consideradas son ambas significativas al nivel de 5% o menos y no resultaron factibles desde el punto de vista económico modelos con mayor número de clases definidas. Todos los parámetros estimados presentan los signos esperados en la tecnología de producción. Por otra parte, las variables más significativas de la clase 1 son el esfuerzo, la eslora y la tasa de crecimiento de la ineficiencia (η) lo que implica que la eficiencia técnica muestra un patrón creciente conforme a la especificación de la ecuación (15). Las variables más significativas

de la clase 2 son el esfuerzo y la potencia; aunque el nivel de significación es bajo condicionado por el escaso número de embarcaciones que componen la clase 2 (Tabla 2).

Tabla 2
Estimaciones del modelo de frontera estocástica de capturas de clase latente

Variable	Clase j=1			Clase j=2		
	Estimador	Error típico	z	Estimador	Error típico	z
Constante (α)	-5.00***	1.92	-2.61	-6.59	4.49	-1.47
Esfuerzo pesquero (E)	1.31***	0.21	6.33	0.78	0.63	1.24
Potencia (K)	0.23	0.35	0.66	20.30	1.53	1.32
Eslora (L)	3.45***	0.73	4.72	1.71	1.75	0.98
Arte de pesca (G)	0.13	0.75	0.17	-3.78	3.73	-1.01
σ	0.67***	0.11	6.19	0.87***	0.09	9.60
λ	0.77	1.28	0.60	3.32	45.80	0.07
η	0.46*	0.26	1.78	-0.77	2.24	-0.34
Pj	0.69***	0.15	4.55	0.31**	0.15	2.08

***significación del 1%, **significación del 5%, *significación del 10%

Fuente: elaboración propia

La Tabla 3 presenta los valores medios de las estimaciones de la eficiencia técnica conforme a los modelos de frontera estándar de Battese y Coelli (1992 - SFA) y el modelo de frontera estocástica de clase latente (LCSFA) obtenidas conforme a la especificación de Jondrow *et al.* (1982). Los resultados ponen de manifiesto que la no consideración de las clases sesga a la baja la estimación de los valores de la eficiencia técnica y que en general la eficiencia de las embarcaciones de arrastre es ligeramente superior que la de las embarcaciones de cerco, siendo de menor eficiencia técnica las de la clase 2 comparadas con las de la clase 1.

Tabla 3
Estimaciones de la eficiencia técnica de los modelos estimados

Clase	Arte	Et (SFA)	Et (LCSFA)
1	Cerco	0.48	0.53
	Arrastre	0.51	0.56
2	Arrastre	0.49	0.51

Fuente: elaboración propia

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

La naturaleza estocástica de las pesquerías y las múltiples fuentes de heterogeneidad observada e inobservada llevan a la necesidad de que los modelos destinados a la estimación de la especificación de la frontera de producción y la obtención de otras magnitudes relacionadas tengan que ser estimados teniéndolas en cuenta de modo que no se produzcan sesgos en las mismas.

El análisis de fronteras estocásticas, además de considerar los factores estocásticos que afectan a la producción y la heterogeneidad derivada de las diferencias en eficiencia técnica, proporciona entre otras ventajas, múltiples especificaciones que permiten abordar la heterogeneidad observada e inobservada en los términos descritos en la sección 3.

El presente artículo ha ilustrado la utilización de los modelos de fronteras estocásticas de clase latente en el caso de la pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro que se explota en aguas de la ZEE de Georgia. Esta pesquería se caracteriza por disponerse de escasa información y existir múltiples fuentes

de heterogeneidad observada e inobservada, constituyendo un interesante caso de estudio (véase sección 1).

Los resultados de la estimación del modelo para un panel desequilibrado de 3 temporadas de las flotas implicadas en la pesquería permiten concluir que la definición de dos clases proporciona valor añadido conforme tanto al criterio estadístico de información de *Akaike* como al criterio analítico derivado de los resultados alcanzados. De acuerdo con el criterio analítico, la Tabla 4 muestra las características técnicas de las embarcaciones que componen las dos clases concluyéndose lo siguiente:

- *Clase 1.* Esta clase incluye embarcaciones de cerco, principalmente turcas, y de arrastre georgianas cuyo arqueo es relativamente alto y el ancho de las artes de arrastre es por lo general superior a los 28 metros.
- *Clase 2.* Esta clase incluye embarcaciones de arrastre georgianas de volumen relativamente pequeño y con artes de ancho inferior a 28 metros. La eficiencia técnica de estas embarcaciones es relativamente inferior a la de las arrastreras de la clase 1.

Tabla 4
Características técnicas de las embarcaciones por clases

Clase	Origen	Arte	Número	Potencia (Kw)	Eslora (m)	Tonelaje (GT)	Tripulación
1	Georgia	Cerco	2.00	240.00	18.50	52.00	6.00
		Arrastre	20.00	152.85	22.73	77.49	7.55
	Turquía	Cerco	13.00	2415.46	41.39	128.54	26.54
2	Georgia	Arrastre	8.00	159.38	19.36	49.54	6.50

Fuente: elaboración propia

Las medidas de dimensión juegan un papel significativo en las embarcaciones de la clase 1 donde parece que la potencia ya existente está cercana a los máximos, mientras que las embarcaciones de la clase 2, de menor dimensión, parecen tener margen para mejorar la productividad. La clase 1 presenta un patrón significativo de evolución creciente de la eficiencia técnica en el período considerada (Tabla 2).

Los resultados ponen de manifiesto que existen diferencias no consideradas explícitamente en las características técnicas de la flota que opera en la pesquería que determinan en parte la heterogeneidad identificada por las clases latentes. No obstante, es posible que existan otras causas que determinan la heterogeneidad inobservada que no pueden ser dilucidadas con la información disponible, tales como diferencias en los stocks objetivos de las embarcaciones consideradas, cambios en la localización espacial de los stocks de peces, diferencias en la selectividad de las artes de pesca; o un impacto dispar de la climatología en las embarcaciones.

Los niveles de eficiencia técnica bajos, similares a los obtenidos en otros estudios con técnicas no paramétricas, confirman los problemas potenciales de sobrecapacidad que afecta a la pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro. Esta sobrecapacidad se concentra, a la luz de los resultados, en el segmento de flota integrado en la clase 1 y, en particular, en las embarcaciones que emplean artes de arrastre pelágico.

La implantación de un sistema de gestión de pesquerías apropiado en la pesquería de boquerón del sureste del Mar Negro debería contemplar sólo el empleo de embarcaciones con artes de cerco que con un nivel de eficiencia técnica ligeramente inferior al de las embarcaciones con arrastre pelágico, tienen un menor impacto en los fondos marinos y son más selectivas.

REFERENCES

- AIGNER, D., LOVELL, C. A. K. y SCHMIDT, P. (1977): "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models". *Journal of Econometrics*, 6: pp. 21-37.
- ALEM, H., LIEN, G., HARDAKER, J. B. y GUTTORMSEN, A. (2018): "Regional differences in technical efficiency and technological gap of Norwegian dairy farms: a stochastic meta-frontier model". *Applied Economics*, pp. 1-13.
- BATTESE, G. E. y COELLI, T. J. (1988): "Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data". *Journal of Econometrics*, 38: pp. 387-399.

- BATTESE, G. E. y COELLI, T. J. (1992): "Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India". *Journal of Productivity Analysis*, 3: pp. 153-169.
- BATTESE, G. E. y COELLI, T. J. (1995): "A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data". *Empirical Economics*, 20: pp. 325-332.
- BATTESE, G. E., RAO, D. S. P. y O'DONNELL, C. J. (2004): "A Metafrontier Production Function for Estimation of Technical Efficiencies and Technology Gaps for Firms Operating Under Different Technologies". *Journal of Productivity Analysis*, 21: pp. 91-103.
- BOONSTRA, W. J., VALMAN, M. y BJÖRKVIK, E. (2018): "A sea of many colours – How relevant is Blue Growth for capture fisheries in the Global North, and vice versa?". *Marine Policy*, 87: pp. 340-349.
- CASTILLA-ESPINO, D., GARCÍA-DEL-HOYO, J. J. y SHARP, B. M. (2005): "Capacity and capacity utilization of the «voracera» fleet in the strait of Gibraltar". *Marine Resource Economics*, 20: pp. 367-384.
- CASTILLA-ESPINO, D., GARCÍA-DEL-HOYO, J. J., METREVELI, M. y BILASHVILI, K. (2014): "Fishing capacity of the southeastern Black Sea anchovy fishery". *Journal of Marine Systems*, 135: pp. 160-169.
- CAUDILL, S. B., FORD, J. M. y GROPPER, D. M. (1995): "Frontier Estimation and Firm-Specific Inefficiency Measures in the Presence of Heteroscedasticity". *Journal of Business & Economic Statistics*, 13: pp. 105-111.
- CHARNES, A., COOPER, W. W. y RHODES, E. (1979): "Measuring the Efficiency of Decision Making Units, short communication". *European Journal of Operational Research*, 3: pp. 339.
- CHARNES, A., COOPER, W. y RHODES, E. (1981): "Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through". *Management Science*, 27: pp. 668-697.
- CHAVEZ ESTRADA, G. A., QUIROGA SUAZO, M. A. y DRESDNER CID, J. D. (2018): "The Effect of Collective Rights-Based Management on Technical Efficiency: The Case of Chile's Common Sardine and Anchovy Fishery". *Marine Resource Economics*, 33: pp. 87-112.
- CHEN, L., GUPTA, R., MUKHERJEE, Z. y WANKE, P. (2016): "Technical efficiency of Connecticut Long Island Sound lobster fishery: a nonparametric approach to aggregate frontier analysis". *Natural Hazards*, 81: pp. 1533-1548.
- COELLI, T., RAO, P. D. S., O'DONELL, C. J. y BATTESE, G. (2005): *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer.
- DEBREU, G. (1951): "The Coefficient of Resource Utilization". *Econometrica*, 19: pp. 273.
- DUZGUNES, E. y ERDOGAN, N. (2008): "Fisheries Management in the Black Sea Countries". *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8: pp. 181-192.
- FAO (2006): *Fisheries and aquaculture in Georgia. Current status and planning*. FAO.
- FARRELL, M. J. (1957): "The Measurement of Productive Efficiency". *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120: pp. 253.
- FELTHOVEN, R. G. (2002): "Effects of the American Fisheries Act on capacity, utilization and technical efficiency". *Marine Resource Economics*, 17: pp. 181-205.
- FELTHOVEN, R. G. y MORRISON PAUL, C. J. (2004): "Multi-output, nonfrontier primal measures of capacity and capacity utilization". *American Journal of Agricultural Economics*, 86: pp. 619-633.
- FELTHOVEN, R. G., HORRACE, W. C. y SCHNIER, K. E. (2009): "Estimating heterogeneous capacity and capacity utilization in a multi-species fishery". *Journal of Productivity Analysis*, 32: pp. 173-189.
- FOUSEKIS, P. (2002): "Distance vs. Ray Functions: An Application to the Inshore Fishery of Greece". *Marine Resource Economics*, 17: pp. 251-267.
- FOUSEKIS, P. y KLONARIS, S. (2003): "Technical efficiency determinants for fisheries: a study of trammel netters in Greece". *Fisheries Research*, 63: pp. 85-95.
- GARCÍA-DEL-HOYO, J. J., CASTILLA-ESPINO, D. y JIMÉNEZ TORIBIO, R. (2004): "Determination of technical efficiency of fisheries by stochastic frontier models: A case on the Gulf of Cádiz (Spain)". *ICES Journal of Marine Science*, 61: pp. 416-421.
- GATES, J. M. (1984): "Principal Types of Uncertainty in Fishing Operations". *Marine Resource Economics*, 1: pp. 31-49.
- GREENE, W. (2005a): "Reconsidering Heterogeneity in Panel Data Estimators of the Stochastic Frontier Model". *Journal of Econometrics*, 126: pp. 269-303.
- GREENE, W. (2005b): "Fixed and Random Effects in Stochastic Frontier Models". *Journal of Productivity Analysis*, 23: pp. 7-32.
- HUANG, H. (RIVER) (2004): "Estimation of Technical Inefficiencies with Heterogeneous Technologies". *Journal of Productivity Analysis*, 21: pp. 277-296.
- HUANG, C. J., HUANG, T. H. y LIU, N. H. (2014): "A new approach to estimating the metafrontier production function based on a stochastic frontier framework". *Journal of Productivity Analysis*, 42: pp. 241-254.
- JONDROW, J., KNOX LOVELL, C. A., MATEROV, I. S. y SCHMIDT, P. (1982): "On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model". *Journal of Econometrics*, 19: pp. 233-238.
- KIRKLEY, J., SQUIRES, D. y STRAND, I. (1995): "Assessing technical efficiency in commercial fisheries: the Mid-Atlantic sea scallop fishery". *American Journal of Agricultural Economics*, 77: pp. 686-697.
- KIRKLEY, J., SQUIRES, D. y STRAND, I. E. (1998): "Characterizing Managerial Skill and Technical Efficiency in a Fishery". *Journal of Productivity Analysis*, 9: pp. 145-160.
- KOMPAS, T. y CHE, T. N. (2005): "Efficiency gains and cost reductions from individual transferable quotas: A stochastic cost frontier for the Australian South East Fishery". *Journal of Productivity Analysis*, 23: pp. 285-

- KUMBHAKAR, S. C. y LOVELL, C. A. K. (2000): *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge Univ. Press.
- KUMBHAKAR, S. C. y SCHMIDT, P. (2016): "Endogeneity Problems in Econometrics". *Journal of Econometrics*, 190: pp. 209-374.
- KUMBHAKAR, S. C., ASCHE, F. y TVETERAS, R. (2013): "Estimation and decomposition of inefficiency when producers maximize return to the outlay: An application to Norwegian fishing trawlers". *Journal of Productivity Analysis*, 40: pp. 307-321.
- KUMBHAKAR, S. C., WANG, H.J. y HORNCastle, A. (2015): *A Practitioner's Guide to Stochastic Frontier Analysis Using Stata*. Cambridge University Press.
- KUMBHAKAR, S. C., ASCHE, F., ROLL, K. y TVETERAS, R. (2016): "A General Error Revenue Function Model with Technical Inefficiency: An Application to Norwegian Fishing Trawler". En Greene, W. H. et al. (eds): *Productivity and Efficiency Analysis* (pp. 51-70). Springer.
- KUMBHAKAR, S. C., PARMETER, C. F. y ZELENYUK, V. (2017): "Stochastic Frontier Analysis: Foundations and Advances". *Working Paper of the Departamento of Economics of the University of Miami*, 2017-10.
- LEE, S. G. y RAHIMI MIDANI, A. (2015): "Comparison of efficiency levels using meta-frontier analysis of global fisheries for the period 1960–2010". *Fisheries Science*, 81: pp. 247-254.
- LEE, C. C. y HUANG, T. H. (2018): "What causes the efficiency and the technology gap under different ownership structures in the Chinese banking industry?". *Contemporary Economic Policy*, en prensa.
- MAUDOS, J., PASTOR, J. M. y PÉREZ, F. (2002): "Competition and efficiency in the Spanish banking sector: The importance of specialization". *Applied Financial Economics*, 12: pp. 505-516.
- MEEUSEN, W. y VAN DEN BROECK, J. (1977): "Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error". *International Economic Review*, 18: pp. 435.
- OGUZ, T. (2005a): "Black Sea Ecosystem Response to Climatic Teleconnections". *Oceanography*, 18: pp. 122-133.
- OGUZ, T. (2005b): "Long-term impacts of anthropogenic forcing on the Black Sea ecosystem". *Oceanography*, 18: pp. 112-121.
- OREA, L. y KUMBHAKAR, S. C. (2004): "Efficiency measurement using a latent class stochastic frontier model". *Empirical Economics*, 29: pp. 169-183.
- OREA, L., ALVAREZ, A. y PAUL, C. J. M. (2005): "Modeling and measuring production processes for a multi-species fishery: alternative technical efficiency estimates for the northern Spain hake fishery". *Natural Resource Modeling*, 18: pp. 183-213.
- PARMETER, C. F. y KUMBHAKAR, S. C. (2014): "Efficiency Analysis: A Primer on Recent Advances". *Foundations and Trends® in Econometrics*, 7: pp. 191-385.
- PASCOE, S., ANDERSEN, J. y WILDE, J. W. DE (2001): "The impact of management regulation on the technical efficiency of vessels in the Dutch beam trawl fishery". *European Review of Agricultural Economics*, 28: pp. 187-206.
- PASCOE, S., KOUNDOURI, P. y BJØRNDAL, T. (2007): "Estimating targeting ability in multi-species fisheries: a primal multi-output distance function approach". *Land Economics*, 83: pp. 382-397.
- PAULY, D. (2018): "A vision for marine fisheries in a global blue economy". *Marine Policy*, 87: pp. 371-374.
- PNUMA (2012): *Briefing Green Economy – what do we mean by green economy?* PNUMA.
- REID, C. ET AL. (2003): "An analysis of fishing capacity in the western and central Pacific Ocean tuna fishery and management implications". *Marine Policy*, 27: pp. 449-469.
- SCHMIDT, P. y SICKLES, R. C. (1984): "Production Frontiers and Panel Data". *Journal of Business & Economic Statistics*, 2: pp. 367-374.
- SHARMA, K. R. y LEUNG, P. (1999): "Technical Efficiency of the Longline Fishery in Hawaii: An Application of a Stochastic Production Frontier". *Marine Resources Economics*, 13: pp. 259-274.
- SISSEWINE, M. P. (1984): "The Uncertain Environment of Fishery Scientists and Managers". *Marine Resource Economics*, 1: pp. 1-30.
- SQUIRES, D., JEON, Y., GRAFTON, R. Q. y KIRKLEY, J. (2010): "Controlling excess capacity in common-pool resource industries: the transition from input to output controls". *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 54: pp. 361-377.
- TIDD, A. N., REID, C., PILLING, G. M. y HARLEY, S. J. (2016): "Estimating productivity, technical and efficiency changes in the Western Pacific purse-seine fleets". *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 73: pp. 1226-1234.
- TSIONAS, E. G. (2002): "Stochastic frontier models with random coefficients". *Journal of Applied Econometrics*, 17: pp. 127-147.
- VERSCHELDE, M., DUMONT, M., RAYP, G. y MERLEVEDE, B. (2016): "Semiparametric stochastic metafrontier efficiency of European manufacturing firms". *Journal of Productivity Analysis*, 45: pp. 53-69.
- VESTERGAARD, N., SQUIRES, D. y KIRKLEY, J. (2003): "Measuring capacity and capacity utilization in fisheries: The case of the Danish Gill-net fleet". *Fisheries Research*, 60: pp. 357-368.
- WANG, H. J. (2002): "Heteroscedasticity and non-monotonic efficiency effects of a stochastic frontier model". *Journal of Productivity Analysis*, 18: pp. 241-253.