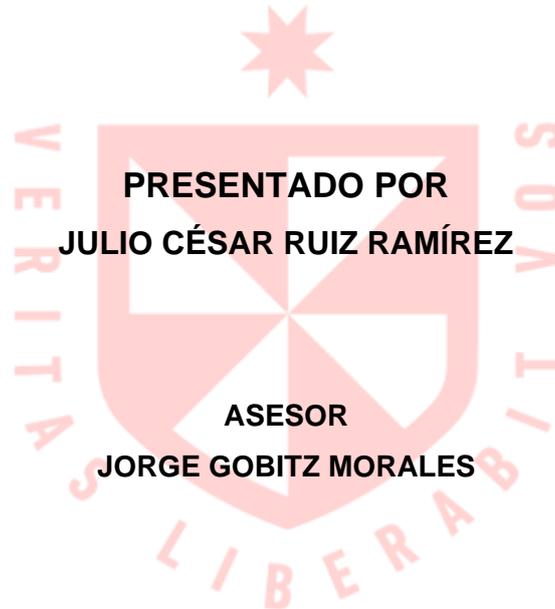




**INSTITUTO DE GOBIERNO Y GESTIÓN PÚBLICA
UNIDAD DE POSGRADO**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE
LOS DERECHOS DE PESCA E IMPLICANCIAS DE
POLÍTICA PESQUERA: EL CASO DE LA PESQUERÍA DE LA
ANCHOVETA PERUANA (*Engraulis ringens*)**



**PRESENTADO POR
JULIO CÉSAR RUIZ RAMÍREZ**

**ASESOR
JORGE GOBITZ MORALES**

**TESIS
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN GOBIERNO Y POLÍTICA
PÚBLICA**

**LIMA – PERÚ
2020**



CC BY-NC-ND

Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



INSTITUTO DE GOBIERNO Y DE GESTIÓN PÚBLICA

SECCIÓN DE POSGRADO

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE LOS DERECHOS
DE PESCA E IMPLICANCIAS DE POLÍTICA PESQUERA: EL CASO DE LA
PESQUERÍA DE LA ANCHOVETA PERUANA (*Engraulis ringens*)**

**TESIS PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN GOBIERNO
Y POLÍTICA PÚBLICA**

**PRESENTADA POR:
JULIO CÉSAR RUIZ RAMÍREZ**

**ASESOR
DR. JORGE GOBITZ MORALES**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
POLÍTICA PÚBLICA**

LIMA, PERÚ

2020

DEDICATORIA

A mi esposa Norma Nancy

A mis padres Julio César † y Calita, y a mis queridos hermanos

A mi recordado tío Gilberto Paredes B.†

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho la oportunidad que me da esta página para dejar testimonio de mi agradecimiento a:

- Jorge Gobitz, asesor de tesis, por sus útiles sugerencias y orientaciones metodológicas para el mejor desarrollo de esta tesis.
- Jorge Csirke, exdirector de Ordenación Pesquera de FAO, por su atenta y cordial disposición para la revisión de este estudio y sus valiosas observaciones y contribuciones técnicas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de Contenidos	iv
Índice de Figuras	vii
Índice de Tablas	ix
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción de la situación problemática	1
1.1.1 Valor Agregado Bruto (VAB) del Sector Pesquero.....	1
1.1.2 El recurso anchoveta	2
1.1.3 Biomasa del recurso anchoveta.....	5
1.1.4 Flota de pesca para el recurso anchoveta	9
1.1.5 Captura del recurso anchoveta.....	11
1.1.6 Precio, costo y beneficio de extracción del recurso anchoveta (prereforma y reforma)	15
1.1.7 Mercado del recurso anchoveta.....	23
1.1.8 Gestión de la pesquería de la anchoveta	25
1.1.9 Los derechos de pesca de la anchoveta	30
1.2 Formulación del problema	39
1.3 Objetivo de la investigación	39
1.4 Justificación de la investigación.....	39
1.4.1 Importancia de la investigación.....	39
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	45
2.1 Antecedentes de la investigación	45
2.2 Bases teóricas.....	48
2.2.1 Modelo biológico de Verhulst-Schaefer	48
2.2.2 Modelo bioeconómico estático de Gordon-Schaefer	54
2.2.3 Modelo bioeconómico dinámico de Clark-Munro.	70
2.2.4 La pesquería de acceso abierto.....	82
2.3 Definición de términos básicos	84
2.3.1 Bioeconomía pesquera	85
2.3.2 Captación de la renta del recurso	86

2.3.3 Derechos de pesca	90
2.3.4 Economía pesquera	90
2.3.5 Esfuerzo de pesca, captura por unidad de esfuerzo y coeficiente de capturabilidad	93
2.3.6 Gestión pesquera	98
2.3.7 Modelo bioeconómico	103
2.3.8 Optimización dinámica	104
2.3.9 Principio del máximo de Pontryagin	105
2.3.10 Regulación pesquera	106
2.3.11 Rendimiento Máximo Sostenible (MSY).....	111
2.3.12 Rendimiento Máximo Económico (MEY).....	111
2.3.13 Renta económica	112
2.3.14 Renta del recurso.....	113
2.3.15 Teoría moderna del capital	116
2.3.16 Teoría del control óptimo	119
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES	123
3.1 Formulación de la hipótesis general.....	123
3.2 Variables y definición operacional.....	123
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	126
4.1 Diseño metodológico	126
4.2 Diseño muestral.....	133
4.3 Técnicas de recolección de datos	133
4.4 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información	135
CAPÍTULO V: RESULTADOS	136
5.1 Estimación del esfuerzo pesquero estandarizado y de la CPUE estandarizada ...	136
5.2 Estimación de los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo a y b	137
5.3 Estimación de los parámetros biológicos y tecnológicos K y q	140
5.4 Cálculo del MSY, MEY, OSY y sus correspondientes niveles de esfuerzo y biomasa.....	142
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	156
6.1 Derecho de Pesca.....	156
6.2 Captura y esfuerzo de pesca.....	160
6.3 Biomasa	161
6.4 Implicancias de política	163
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES	165
CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES	167

FUENTES DE INFORMACIÓN	168
ANEXO A: Teoría del Control Óptimo - Principio del Máximo de Pontryagin	169
ANEXO B: Modelo autónomo lineal simple de gestión óptima de la pesca formulado por Clark y Munro.....	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Participación del Sector Pesquero en el PBI (2007 – 2016).....	1
Figura 2. Producción del Sector Pesquero (2007 – 2016).....	2
Figura 3. Biomasa y cuota de captura de anchoveta durante la primera temporada de pesca en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017).....	7
Figura 4. Ratio cuota/biomasa de anchoveta durante la primera temporada de pesca en la zona norte-centro (2004 – 2017).....	7
Figura 5. Biomasa y cuota de captura de anchoveta durante la segunda temporada de pesca en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017).....	8
Figura 6. Ratio cuota/biomasa de anchoveta durante la segunda temporada de pesca en la zona norte-centro (2004 – 2017).....	9
Figura 7. Flota de pesca del recurso anchoveta, según número de embarcaciones (2007 – 2016).....	10
Figura 8. Captura de anchoveta en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017).....	12
Figura 9. Captura de anchoveta en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017).....	12
Figura 10. Cuota y Captura de anchoveta, primera temporada de pesca en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017).....	14
Figura 11. Cuota y Captura de anchoveta, segunda temporada de pesca en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017).....	15
Figura 12. Precio de especies pelágicas, excluyendo al atún, según índice precios de peces de FAO (2006 – 2017).....	17
Figura 13. Exportación de harina de pescado (2007 – 2017).....	24
Figura 14. Exportación de aceite de pescado (2007 – 2017).....	25
Figura 15. Evolución de los días de pesca de anchoveta y de flota, 2004 - 2017.....	27
Figura 16. Volumen diario de desembarque de anchoveta (TM), 2004-2017.....	28
Figura 18. Evolución del valor del derecho de pesca de anchoveta US\$/TM.....	41
Figura 19. Rendimiento Máximo Sostenible (MSY).....	49
Figura 21. Curvas de captura, ingresos y costos, según modelo Gordon-Schaefer.....	58
Figura 22. Curvas de relaciones de biomasa, captura, esfuerzo y costos.....	62
Figura 23. Relaciones entre captura, esfuerzo, costos y niveles de población.....	65

Figura 24. Curvas de ingreso total, costo total y renta del recurso, según modelo Gordon-Schaefer.....	69
Figura 25. Biomasa y captura óptimas, según modelo Clark-Munro	80
Figura 26. Derecho de pesca en el nivel de captura óptima y esfuerzo óptimo	133
Figura 27. Estimación de los coeficientes de captura a y b.....	137
Figura 28. Captura por Unidad de Esfuerzo y Esfuerzo “Tiempo de Búsqueda”	140
Figura 29. Captura por Unidad de Esfuerzo y Esfuerzo “Duración del Viaje”	140
Figura 30. Rendimiento Máximo Sostenible (MSY): Captura vs Esfuerzo	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Costos fijos y variables de la actividad extractiva de anchoveta, 2006 y 2011 ...	19
Tabla 2. Costos fijos y variables de la actividad extractiva de anchoveta - 2009.....	20
Tabla 3. Costos fijos y variables de extracción de anchoveta, 2009 -2013.....	21
Tabla 4. Beneficios de la actividad extractiva de anchoveta, 2006 y 2011.....	22
Tabla 5. Cambios normativos relativos a los derechos de pesca de la anchoveta	32
Tabla 6. Derechos de pesca recaudados por extracción de anchoveta (2012 – 2016)	36
Tabla 7. Tipos de regulaciones pesqueras	107
Tabla 8. Captura, esfuerzo pesquero estandarizado y CPUE estandarizada	136
Tabla 9. Coeficientes estimados de captura por unidad de esfuerzo a y b	138
Tabla 10. Estimación de los parámetros biológicos y tecnológicos K y q.....	141
Tabla 11. Coeficientes de captura y parámetros biológicos y económicos 2004-2008...	143
Tabla 12. Cálculo del Rendimiento Máximo Sostenible	144
Tabla 13. Cálculo del Rendimiento Máximo Económico	147
Tabla 14. Cálculo del Rendimiento Óptimo Sostenible	148
Tabla 15. Renta del Recurso Óptima a diversos niveles de tasa social de descuento ...	150
Tabla 16. Derecho de pesca a diversos niveles de tasa social de descuento	154

RESUMEN

Se propone la aplicación de un modelo bioeconómico dinámico para el cálculo de los derechos de pesca de la anchoveta (*Engraulis ringens*). El modelo bioeconómico dinámico de Clark y Munro (1975), empleado en la presente tesis, se sustenta en las teorías del capital, de la inversión y del control óptimo. Se evalúa su aplicación a series de datos de pesca de la zona norte-centro, correspondientes al período previo a la reforma de ordenación pesquera de la anchoveta, 2004-2008, y al período de reforma de ordenación pesquera, 2009-2017. Las series de datos de captura y de esfuerzo, se obtuvieron del “Programa de Vigilancia y Control de la Pesca y Desembarque en el Ámbito Marítimo”, a cargo de empresas privadas de inspección seleccionadas por la administración pesquera. El número total de embarcaciones anchoveteras de la zona de pesca, se dividió en tres grupos y se estandarizó el esfuerzo pesquero y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE). La medida de esfuerzo pesquero seleccionada, resultó compatible sólo con el período de prereforma, obteniéndose los parámetros del rendimiento máximo sostenible (MSY), mediante el método de Verhulst- Schaefer; del rendimiento máximo económico (MEY), a través del método de Gordon-Schaefer; y, del rendimiento óptimo sostenible (OSY), por el método de Clark-Munro. Finalmente, los derechos de pesca se calcularon a partir de la renta del recurso óptima en el nivel de OSY estimada mediante el método de Clark-Munro.

Palabras clave: anchoveta, derechos de pesca, biomasa, captura, esfuerzo de pesca, CPUE, modelo bioeconómico dinámico, teoría del capital, teoría de la inversión, teoría del control óptimo, renta del recurso, valor presente, política.

ABSTRACT

The application of a dynamic bioeconomic model is proposed to calculate the anchovy fishing fees (*Engraulis ringens*). The dynamic bioeconomic model of Clark and Munro (1975), used in this thesis, is based on the theory of capital, the theory of investment and the theory of optimal control. . Its application to fisheries data series for the north-central zone of the coast, corresponding to the period prior to the anchovy management reform, 2004-2008, and the fisheries management reform period, 2009-2017, is evaluated. The series of catch and fishing effort data, were obtained from the "Program of Surveillance and Control of Fishing and Landing in the Maritime Area", in charge of private inspection companies selected by the fisheries administration. The total number of anchovy vessels in the fishing zone was divided into three groups, and fishing effort and catch per unit of effort (CPUE) were standardized. The selected fishing effort measure was compatible only with the pre-reform period, obtaining the maximum sustainable yield (MSY) parameters, using the Verhulst-Schaefer method; of the maximum economic yield (MEY), through the Gordon-Schaefer method; and, of the optimal sustainable yield (OSY), by the Clark-Munro method. Finally, the fishing fees were calculated from the optimal rent of the resource at the OSY level estimated by the Clark-Munro method.

Key words: anchovy, fishing fees, biomass, catch, fishing effort, CPUE, dynamic bioeconomic model, capital theory, investment theory, optimal control theory, resource rent, present value, policy.

PAPER NAME	AUTHOR
Julio Ruiz Tesis Doctoral POSTSUSTENT ACI% C3% 93N 2020.docx	JULIO CESAR RUIZ RAMIREZ

WORD COUNT	CHARACTER COUNT
36235 Words	189864 Characters

PAGE COUNT	FILE SIZE
204 Pages	2.4MB

SUBMISSION DATE	REPORT DATE
Jan 29, 2024 10:35 AM GMT-5	Jan 29, 2024 10:41 AM GMT-5

● 20% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 18% Internet database
- 8% Publications database
- Crossref database
- Crossref Posted Content database
- 9% Submitted Works database

● Excluded from Similarity Report

- Bibliographic material
- Quoted material
- Manually excluded sources

INTRODUCCIÓN

El derecho de pesca es el monto que los armadores de embarcaciones pesqueras de mayor escala y de menor escala, están obligados a pagar al Estado por extraer recursos hidrobiológicos que constituyen patrimonio de la Nación, según la Ley General de Pesca.

La forma y modo de cálculo de los derechos de pesca del recurso anchoveta, ha sufrido cambios a lo largo del tiempo. Tradicionalmente, el derecho de pesca de este recurso, se estableció como un porcentaje de la Unidad Impositiva Tributaria (UIT), pero a partir del año 2006 empezó a aplicarse el valor FOB de la harina de pescado como unidad referencial, debido a la tendencia creciente del precio mundial de la harina de pescado, producto principal del procesamiento de este pequeño recurso pelágico.

El derecho de pesca es un concepto asociado directamente con la actividad extractiva; sin embargo, como podrá advertirse, ni la UIT ni el valor FOB, tienen vinculación directa con la actividad extractiva del recurso. Grafton (1995), aplica en su estudio hasta cuatro métodos para calcular el pago que deben realizar los armadores pesqueros al Estado por la extracción de un recurso sujeto a un sistema de gestión por cuotas individuales transferibles (ITQ); todos ellos, asociados a los beneficios o potenciales beneficios derivados de la pesca, es

decir, vinculados directamente a la actividad extractiva y, en particular, a la renta que genera el recurso pesquero.

Los derechos de pesca han sido conceptualizados de diversas maneras en las pesquerías del mundo. En algunos países, es un impuesto o corresponde a una licencia de pesca; en otros, el concepto de base es la renta del recurso (Galarza y Collado, 2013).

Varios autores han definido el término “renta del recurso”. Rogers y Webster (2007), se refieren a la renta del recurso como el exceso de beneficios o beneficio “supernormal” sobre el nivel ganado en un mercado competitivo. La renta del recurso, afirman, es igual a la diferencia entre los ingresos y los costos (incluyendo un rendimiento competitivo del capital). Bjørndal y Bezabih (2010), precisan que el costo incluye la depreciación y un retorno normal del capital. Y, Wessel (1967), citado en Campbell y Haynes (1990), es bastante claro cuando sostiene que la renta del recurso refleja los excedentes después de haberse recuperado todos los costos, incluyendo la necesaria rentabilidad del capital que justifica la inversión.

Si la renta del recurso es la sobreutilidad o beneficio neto adicional al retorno normal del capital invertido, cabe preguntarse, entonces, a quién pertenecería dicho beneficio. Gordon (1954), pionero de la economía pesquera, despeja esta cuestión, al afirmar que “en la pesquería marina, el recurso natural no es

propiedad privada; por lo tanto, nadie puede apropiarse de la renta que pueda generar.”

En consecuencia, desde una perspectiva teórica, la renta del recurso pertenecería al Estado, en su calidad de propietario del recurso, cuyo monto podría considerarse como el derecho de pesca que el armador pesquero se obliga a pagar al Estado.

En tal sentido, cabe preguntarse si la renta del recurso puede constituirse en la base teórica para el cálculo del derecho de pesca del recurso anchoveta.

Para tal efecto, la presente tesis aplica el modelo bioeconómico de optimización dinámica en tiempo continuo de Clark y Munro (1975), el cual maximiza la renta del recurso. Su herramental teórico está constituido por la teoría del capital, la teoría de la inversión y la teoría del control óptimo basada en el principio del máximo de Pontryagin. Clark y Munro (1975), desarrollaron en su modelo las viejas ideas de Anthony Scott (1955) —uno de los pioneros de la economía de los recursos naturales— explicitadas en su libro *Natural Resources Economics: The Economics of Conservation*, donde deja sentado por primera vez y en forma “absolutamente clara que la economía de los recursos naturales es, primero y ante todo, una aplicación de las teorías del capital y de la inversión de los economistas” (Clark y Munro, 2017). Algunos textos de economía de recursos naturales se refieren a la ecuación del modelo Clark-Muro, como la “regla de inversión en recursos” o la “regla fundamental

de la explotación de los recursos renovables” (Bjørndal, T. y Gordon, D.V., 2007).

El modelo matemático Clark-Munro, es una formulación dinámica predictiva que aplica la “teoría del capital que trata sobre los stocks y aborda la cuestión de cuál es el stock de capital óptimo de un tipo particular de stock; la teoría de la inversión que trata sobre los flujos y aborda la cuestión de cuál es la tasa óptima a la que debe aumentarse el stock de capital, o disminuirse, si el stock actual está por debajo o por encima del nivel de stock óptimo” (Ackley, 1978; citado en Clark y Munro, 2017), y la teoría del control óptimo que maximiza la renta del recurso.

Pero, la aplicación del análisis teórico del capital a los recursos naturales y la formulación dinámica del problema de la conservación (inversión positiva en un recurso), no estaría exenta de dificultad. El propio Scott Gordon –creador del modelo bioeconómico estático- admitiría esta dificultad en la Conferencia FAO de 1956: “Esto es un problema muy complicado y sospecho que tendremos que recurrir a los economistas matemáticos para que nos ayuden a aclararlo” (Bjørndal y Munro, 2012). Curiosamente, el año 1975, Colin W. Clark y Gordon Munro, matemático y economista canadienses, respectivamente, encontrarían la solución matemática al “problema muy complicado” que aludía Scott Gordon.

Si bien, el modelo dinámico Clark-Munro resultó ser fácilmente comprensible e intuitivamente atractivo para los economistas, como lo describen Bjørndal y Gordon (2007), el análisis de la gestión pesquera se encuentra firmemente influido por el modelo estático Gordon-Schaefer. Tal vez, la explicación se deba al hecho que la mayor parte de los analistas pesqueros en el mundo son biólogos pesqueros, no economistas pesqueros.

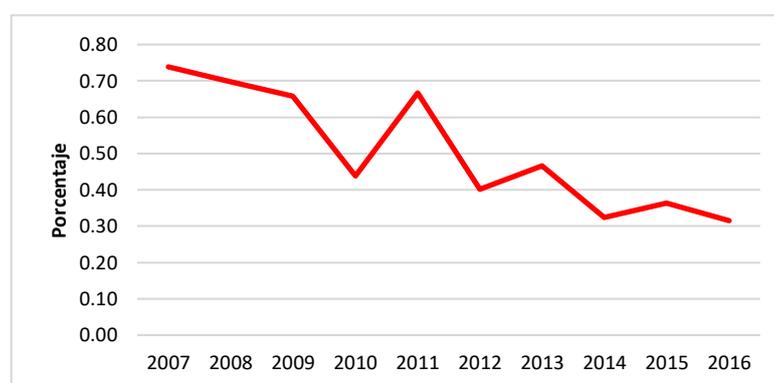
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la situación problemática

1.1.1 Valor Agregado Bruto (VAB) del Sector Pesquero

Cifras¹ reportadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (Inei), muestran una tendencia decreciente del Valor Agregado Bruto (VAB) del Sector Pesquero durante el período 2007 – 2016. El año 2007 el VAB, fue S/. 2.364 millones y el año 2016, S/. 1.578 millones de nuevos soles; mientras que, el PBI mostró una tendencia creciente: S/. 319.693 millones y S/. 501.098 millones, respectivamente. La participación del Sector Pesquero en la formación del PBI, durante dicho período, fue 0,74% el 2007 y 0,31% el 2016, tal como se muestra en la Figura 1:

Figura 1. Participación del Sector Pesquero en el PBI (2007 – 2016)

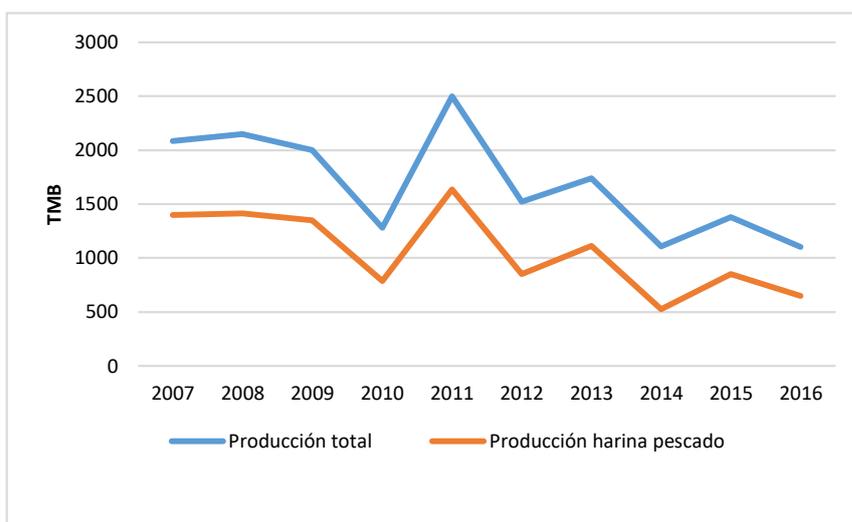


Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática
Elaboración propia

¹ Valores a precios constantes de 2007 y valores proyectados a partir de 2013

La caída de la participación del Sector Pesquero en la formación del PBI en más del 50%, se debe al crecimiento del PBI y a la reducción de la producción pesquera marcada por el descenso de la elaboración de harina de pescado, tal como se muestra en la Figura 2:

Figura 2. Producción del Sector Pesquero (2007 – 2016)



Fuente: Ministerio de la Producción
Elaboración propia

1.1.2 El recurso anchoveta

El recurso anchoveta (*Engraulis ringens*), es el principal recurso hidrobiológico del Perú y una de las mayores pesquerías pelágicas del mundo, con una biomasa estimada de 8,9 millones de toneladas el año 2017, según el “Informe de Evaluación Hidroacústica de Recursos

Pelágicos – Crucero 1703-04”². Su captura se realiza en dos temporadas de pesca al año: abril – julio y octubre – diciembre, en la zona norte-centro del litoral, preferentemente. En la zona sur existe otro stock (Ñiquen *et al.*, 2000), donde se pesca casi todo el año en volúmenes reducidos. La talla mínima legal de captura de este recurso es de 12 cm y se utiliza la red de cerco como arte de pesca. El tamaño mínimo de captura coincide con la longitud a la primera madurez sexual mencionada por Oliveros *et al.* (2010), la cual se alcanza aproximadamente al año de vida, según los datos de edades y longitudes medias de la anchoveta reportados por Vélchez *et al.* (1991).

“Los límites geográficos de la distribución de anchoveta abarcan el litoral peruano y el chileno, entre los 03°30’ y 37°00’S. En esta área se distinguen dos stocks: el stock norte-centro de Perú, entre los 03°30’-16°S, que registra las mayores concentraciones, y el stock sur Perú-norte de Chile, entre los 16°- 24°S.

La anchoveta durante la primavera y el verano, presenta una distribución estrecha dentro de una franja costera hasta las 20-30 millas de la costa; en el otoño e invierno su distribución se incrementa logrando alcanzar las 100 millas, y en algunas ocasiones, más allá de las 100

² Según Oficio N° 145-2017-IMARPE/CD del Instituto del Mar del Perú, citado en la Resolución Ministerial N° 173-2017-PRODUCE.

millas de la costa. La profundidad en la que habita esta especie fluctúa entre los 0 y 60 m. (Ñiquen y Bouchon, 1991).

Por acción del Evento “El Niño” la distribución y concentración de esta especie cambia, mostrando desplazamientos en tres dimensiones. En primera instancia se acercan a la costa y simultáneamente van profundizándose, para finalmente iniciar su migración hacia el sur de los 10°S.” (Ñiquen *et al.*, 2000)

“La anchoveta es una especie pelágica con longitud total (LT) máxima entre 20,0 y 20,5 cm (Jordán, 1976, Palomares *et al.*, 1987, Ñiquen *et al.*, 2000, Bertrand, 2005), de corta vida, alcanza aproximadamente los cuatro años (Palomares *et al.*, 1987, Ñiquen *et al.*, 2000, Bertrand *et al.*, 2008), vive formando agregaciones y/o cardúmenes de grandes densidades (Sætersdal y Valdivia, 1964, Csirke, 1989^a, Bertrand *et al.*, 2008) y presenta alta sensibilidad a la variabilidad ambiental (Jordán 1976, Chávez *et al.*, 2003, Gutiérrez *et al.*, 2007, Swartzman *et al.*, 2008)” (Perea *et al.*, 2011).

Según Vílchez *et al.* (1991), el recurso anchoveta, comprendido en los grupos con longitudes medias de 7,5; 10,5; 13,5 y 17,0 cm, corresponden a edades promedios de 0,4; 0,9; 1,1 y 2,0 años respectivamente, de acuerdo a los parámetros de crecimiento de Palomares *et al.* (1983).

“La anchoveta es una especie que desova parcialmente y presenta un máximo periodo de desove desde agosto hasta marzo (Santander y Flores, 1983). La mayor intensidad del desove se produce en septiembre (Einarsson *et al.*, 1966), durante el invierno austral, con un segundo máximo durante febrero y marzo (Sætersdal y Valdivia, 1964, Csirke *et al.*, 1996), correspondiente al verano austral” (Perea *et al.*, 2011).

De acuerdo a la tabla de variables, parámetros y constantes en el modelo de la dinámica poblacional de la anchoveta peruana, aplicada por Oliveros *et al.* (2010), la longitud a la madurez, la longitud máxima de un adulto y la tasa de crecimiento individual de la anchoveta es de 12 cm; 20,6 cm y $1,26 \text{ año}^{-1}$, respectivamente. Sin embargo, cabe indicar que Oliveros (2009), menciona, entre otros puntos de referencia de la anchoveta peruana, una tasa intrínseca de crecimiento de $0,955 \text{ año}^{-1}$.

1.1.3 Biomasa del recurso anchoveta

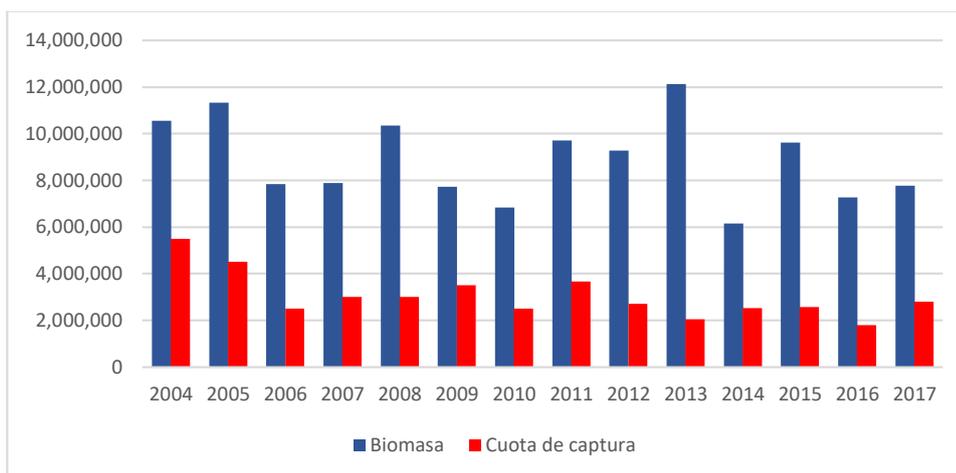
El Instituto del Mar del Perú (Imarpe), desde 1975 utiliza técnicas hidroacústicas destinadas a determinar la distribución y abundancia de recursos pelágicos, entre los cuales destacan la anchoveta, la sardina, el jurel y la caballa. El método es aplicado sistemáticamente desde 1983

y sus resultados, en lo que respecta a biomasa o estimados de biomasa, sirven como referencia para establecer cuotas de captura (Gutiérrez, 2000).

Al respecto, conviene indicar que, si bien Imarpe propone una cuota de pesca de anchoveta en base a la biomasa estimada por técnicas hidroacústicas, que mide la cantidad de peces vivos, el cumplimiento de la cuota establecida para una temporada de pesca por la autoridad pesquera, se determina en base al peso registrado por los instrumentos de pesaje continuos automáticos de las plantas de procesamiento de harina y aceite de pescado, cuyo peso es menor en un 14% al peso vivo capturado, según reporta Oliveros (2009). Esto significa que se estaría capturando una cantidad superior a la cuota autorizada de anchoveta cuando se da por terminada la temporada de pesca, lo cual estaría afectando la pesca sostenible de este recurso.

Durante el período 2004–2017, el máximo nivel de biomasa de anchoveta registrado en la zona norte-centro para una primera temporada de pesca, fue de 12,1 millones de toneladas, el año 2013; y el mínimo nivel 6,1 millones toneladas, el año 2014, conforme se muestra en la Figura 3. El promedio fue de 8,8 millones de toneladas.

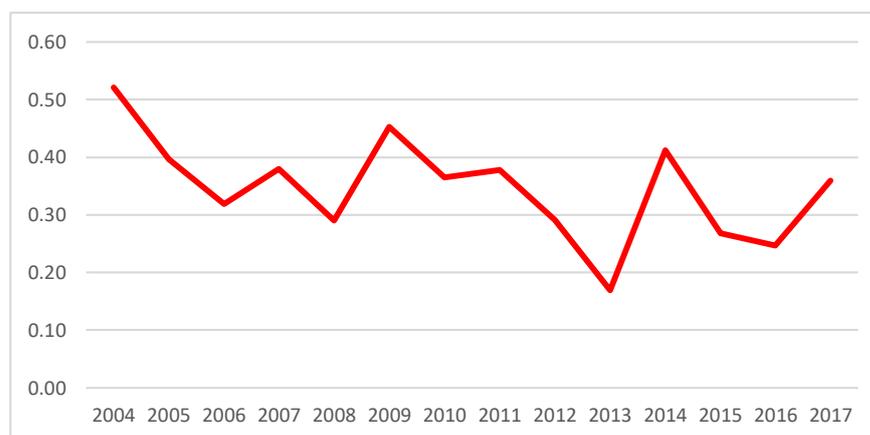
Figura 3. Biomasa y cuota de captura de anchoveta durante la primera temporada de pesca en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017)



Fuente: Resoluciones ministeriales, Diario Oficial "El Peruano" (Normas legales)

El ratio cuota/biomasa durante la primera temporada de pesca del período 2004-2017, tuvo una variación entre 0.52 – 0.17, conforme se muestra en la Figura 4. Cabe indicar que el ratio más alto corresponde al año 2004 y el más bajo al año 2013; año en el cual, se estimó la biomasa más alta para una primera temporada de pesca durante dicho período. El ratio promedio del período fue de 0,35.

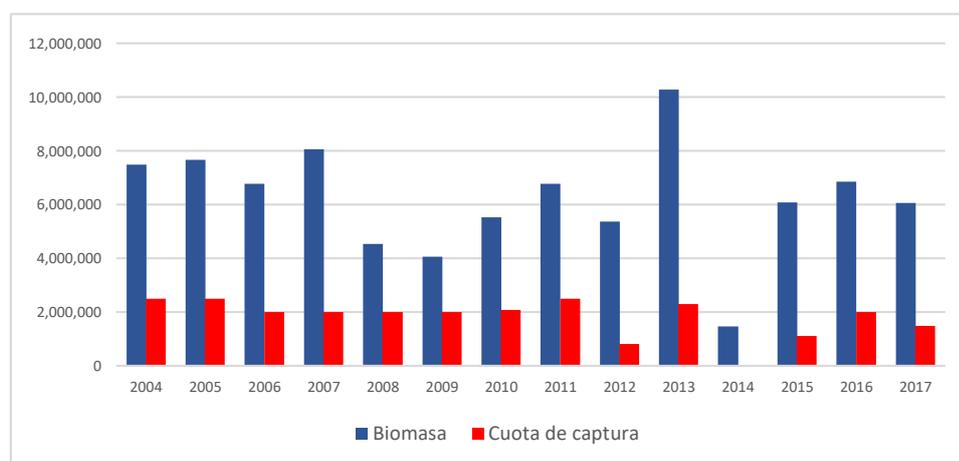
Figura 4. Ratio cuota/biomasa de anchoveta durante la primera temporada de pesca en la zona norte-centro (2004 – 2017)



Conviene comparar el comportamiento de la biomasa entre la primera y la segunda temporada de pesca, para conocer sus potencialidades en términos de rendimiento de esta pesquería.

Así, durante el período 2004 – 2017, el máximo nivel de biomasa de anchoveta registrado en la zona norte-centro para una segunda temporada de pesca, fue de 10,3 millones de toneladas, el año 2013; y el mínimo nivel 4,0 millones toneladas, el año 2009, conforme se muestra en la Figura 5. El promedio fue de 6,2 millones de toneladas.

Figura 5. Biomasa y cuota de captura de anchoveta durante la segunda temporada de pesca en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017)

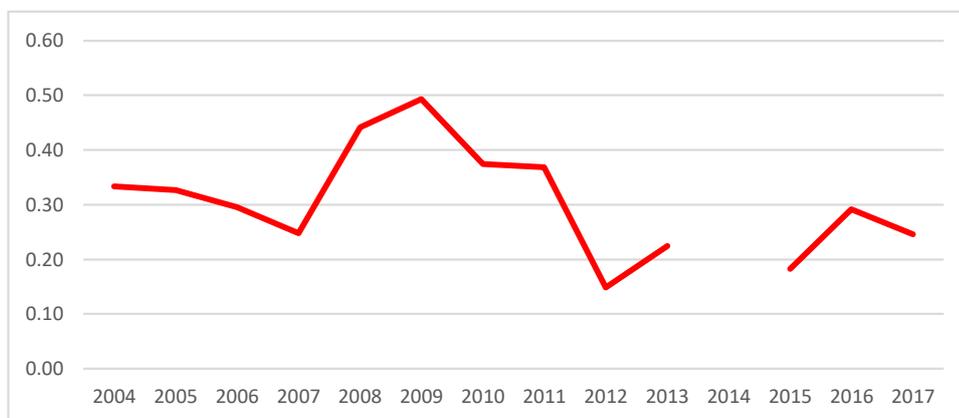


Fuente:Resoluciones ministeriales, Diario Oficial "El Peruano" (Normas legales)
Elaboración propia

El ratio cuota/biomasa durante la segunda temporada de pesca del período 2004-2017, tuvo una variación entre 0.49 – 0.15, conforme se muestra en la Figura 6. Cabe indicar que el ratio más alto corresponde al año 2009 y el más bajo al año 2012. El ratio promedio del período fue

de 0,31. Pero, debe mencionarse que el año 2014 no se autorizó la segunda temporada de pesca debido a una reducción drástica de la biomasa: 1,4 millones de toneladas.

Figura 6. Ratio cuota/biomasa de anchoveta durante la segunda temporada de pesca en la zona norte-centro (2004 – 2017)

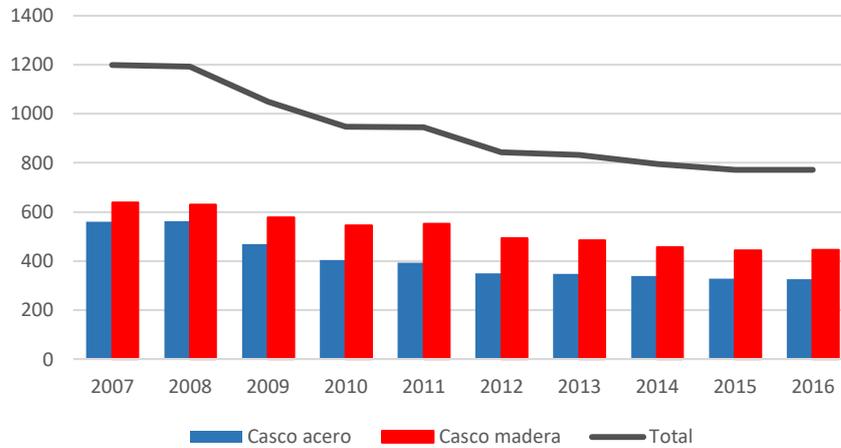


1.1.4 Flota de pesca para el recurso anchoveta

El año 2007 –dos años antes de la entrada en vigencia de la reforma del ordenamiento pesquero de la anchoveta, establecida mediante el Decreto Legislativo N° 1084-, de acuerdo a información proporcionada por el Ministerio de la Producción, la flota de pesca para este recurso en todo el litoral, estaba compuesta por 1.198 embarcaciones de mayor escala, de las cuales 560 correspondía a embarcaciones de acero naval y 638 a embarcaciones de madera, con una capacidad de bodega total de 208.231 m³, compartida en 167.851 m³ (80%) de capacidad de

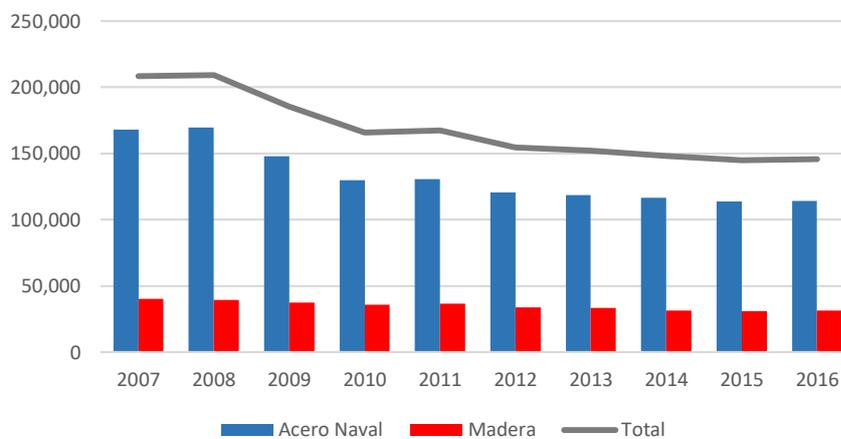
bodega de embarcaciones de acero naval y 40.380 m³ (20%) de capacidad de bodega de embarcaciones de madera (Figuras 7 y 8).

Figura 7. Flota de pesca del recurso anchoveta, según número de embarcaciones (2007 – 2016)



Fuente: Ministerio de la Producción
Elaboración propia

Figura 8. Flota de pesca del recurso anchoveta, según capacidad de bodega en metros cúbicos (2007 – 2016)



Fuente: Ministerio de la Producción
Elaboración propia

A partir del 2009 –año de la entrada en vigencia del Decreto Legislativo N° 1084- la flota de pesca para el recurso anchoveta, empieza a reducirse, llegando al año 2016, a un número total de 771 embarcaciones de mayor escala, compuesta por 326 embarcaciones de acero naval y 445 embarcaciones de madera. Del mismo modo, la capacidad de bodega total al 2016 fue de 145.586 m³, correspondiendo 114.151 m³ (78%) a las embarcaciones de acero naval y 31.435 m³ (22%) a las embarcaciones de madera. La flota de pesca del recurso anchoveta en los últimos diez años se redujo en un tercio, en términos de número de embarcaciones y capacidad de bodega total.

1.1.5 Captura del recurso anchoveta

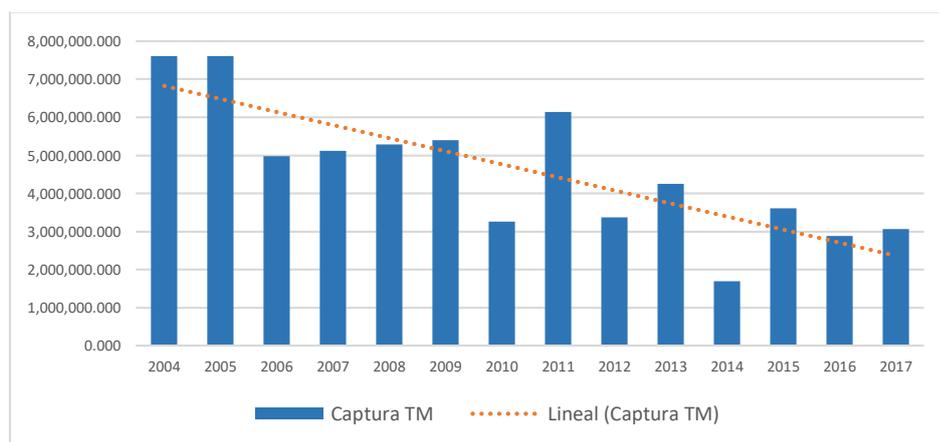
A partir del año 2004, el Ministerio de la Producción pone en práctica el “Programa de Vigilancia y Control de la Pesca y Desembarque en el Ámbito Marítimo”³, a cargo de una empresa privada supervisora, cuya función, entre otras, es llevar el registro de las capturas de anchoveta por embarcación, en todo el litoral. El presente estudio de investigación utiliza la información de capturas de anchoveta proveniente de la base de datos de dicho programa de vigilancia y control, acotada a la zona norte-centro del litoral, entre los 03°30’-16°S según Ñiquen *et al.*, 2000.

³ Aprobado mediante Decreto Supremo N° 027-2003-PRODUCE

Cabe indicar que hasta el año 2003, las estadísticas de captura de anchoveta se construían sobre la base de las declaraciones juradas de los armadores pesqueros.

En el período 2004 – 2017, los más altos niveles de captura de anchoveta se registran el año 2004 y 2005 con 7,6 millones de toneladas cada año y el más bajo nivel se registra el año 2014 con 1,7 millones de toneladas; siendo el promedio de captura de anchoveta en dicho período, 4,6 millones de toneladas/año. Durante el período en mención, se evidencia una tendencia decreciente de la captura de este recurso, acentuada a partir del año 2012, tras un elevado nivel de captura del año anterior, tal como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Captura de anchoveta en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017)

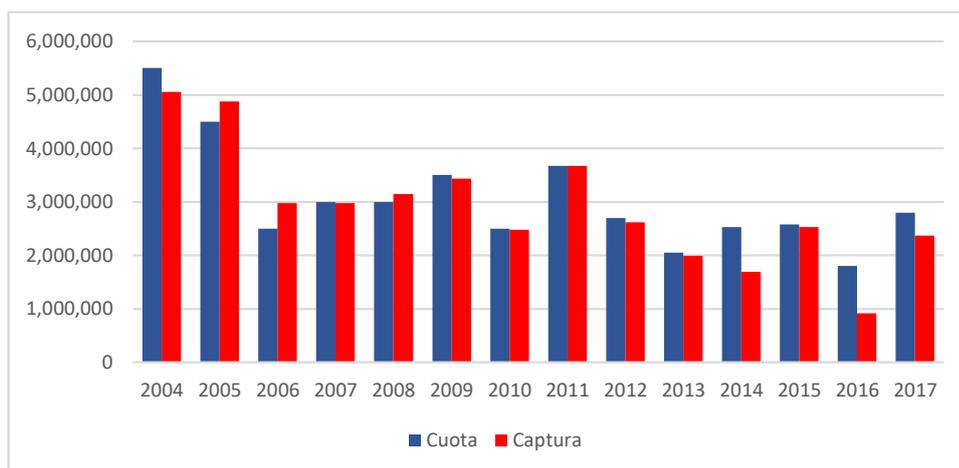


Fuente: Ministerio de la Producción
Elaboración propia

En este punto, conviene señalar que la cuota total de captura del recurso se aprueba en base la propuesta técnica del Instituto del Mar del Perú (Imarpe) para cada temporada de pesca. Si bien, la propuesta técnica de Imarpe surge de los estudios de evaluación del stock de anchoveta y la cuota total de pesca supone el peso vivo del recurso, la autoridad pesquera considera el peso desembarcado del recurso, tomado de los registros de pesaje de las plantas de harina y aceite de pescado. Según Oliveros (2009), la diferencia de peso entre el recurso vivo y el recurso capturado y pesado en planta, es en promedio 14%, lo cual se debe a la pérdida de masa, como resultado de la presión sobre el recurso y la evaporación durante el viaje hasta el puerto y la pérdida de fluidos durante el desembarque.

Dado que, la captura de la anchoveta en la zona norte-centro, se realiza en dos temporadas de pesca, resulta necesario conocer el desenvolvimiento de esta pesquería en ambas temporadas durante el período 2004-2017. En la primera temporada de pesca suele establecerse una cuota mayor respecto a la segunda temporada, la cual llega a ser casi el doble. Hasta el año 2008, era frecuente ver, inclusive, una captura mayor a la cuota aprobada, como se ve en la Figura 10.

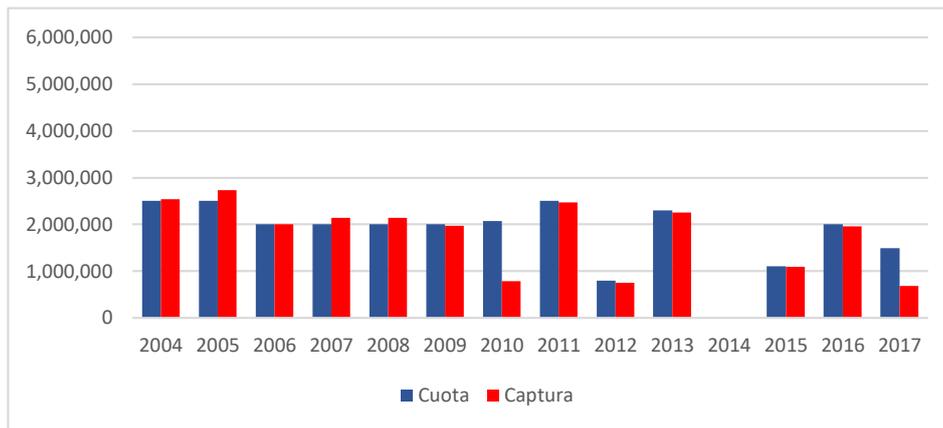
Figura 10. Cuota y Captura de anchoveta, primera temporada de pesca en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017)



Fuente: Ministerio de la Producción
Elaboración propia

Hay que precisar que a partir del año 2009, como consecuencia del cambio de régimen de pesca, se extendió la segunda temporada de pesca hasta enero del año siguiente. A partir del 2010, puede advertirse, sin embargo, una pérdida de la regularidad observada en la segunda temporada de pesca de años anteriores, que en términos de tamaño de cuota se fijaba generalmente en alrededor de 2 millones de toneladas; de hecho, el año 2014 no se autorizó una segunda temporada de pesca y el año 2017, sólo se capturó el 46% de la cuota aprobada, tal como se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Cuota y Captura de anchoveta, segunda temporada de pesca en la zona norte-centro, en toneladas (2004 – 2017)



Fuente: Ministerio de la Producción
Elaboración propia

1.1.6 Precio, costo y beneficio de extracción del recurso anchoveta (prereforma y reforma)

Precios

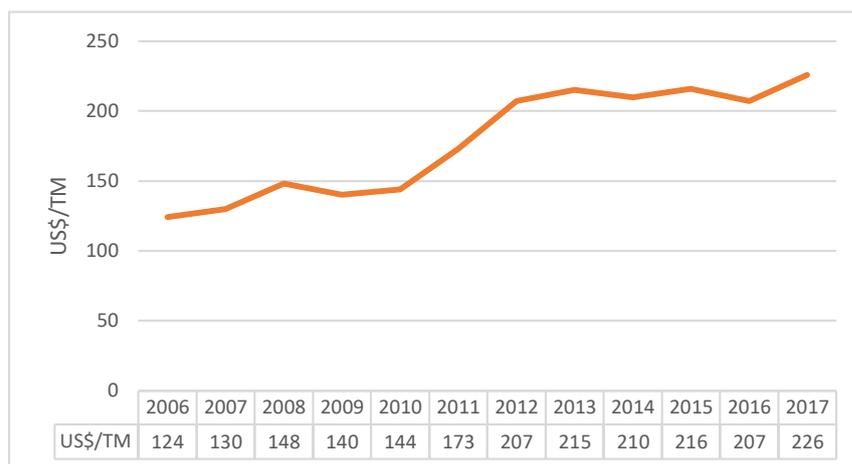
El Anuario Estadístico Pesquero del Ministerio de la Producción, no registra información estadística sobre precios de mercado del recurso anchoveta. En la Figura 12, se muestra los precios de mercado para pelágicos, excluyendo el atún, del Appendix Table 29: Fish Price Indices, de FAO. La tabla del Apéndice en mención, incluye los precios de anchoveta peruana, que por su volumen de extracción, influye en el precio de mercado global de pelágicos. Cabe anotar que, la Subsecretaría de Pesca del Chile, aplica los precios de mercado publicados por la FAO, para el cálculo del Impuesto Específico por especie, el cual corresponde a uno de los importes que deberá pagar el

armador por la extracción de anchoveta o por otras especies pelágicas, según el caso, conforme a la Ley General de Pesca y Acuicultura de Chile, cuyo detalle se describe más adelante en el acápite 1.1.9.

Paredes (2012) y Galarza y Collado (2013), mencionan que este recurso –el año 2006- previo a la reforma del régimen de pesca de la anchoveta, registró un precio de mercado de US\$ 120/TM y US\$ 102/TM, respectivamente; en tanto que, FAO publica un precio para pelágicos, excluyendo el atún, de US\$ 124/TM.

El año 2011 (reforma), el precio de mercado de este recurso alcanzó, según Paredes (2012) y Galarza y Collado (2013): US\$ 250/TM y US\$ 228/TM, respectivamente. Ambos estudios, registran un incremento de más del 100% del precio de mercado con respecto al año 2006, debido a un mayor poder de negociación de los armadores frente a los procesadores de harina y aceite de pescado. Sin embargo, para el año 2011, FAO registra un precio de mercado de especies pelágicas, excluyendo el atún, de US\$ 173 (Figura 12), el cual representa un incremento del 40%, respecto al año 2006.

Figura 12. Precio de especies pelágicas, excluyendo al atún, según índice precios de peces de FAO (2006 – 2017)



Fuente: FAO (2018). Food Outlook. Biannual Report on Global Food Markets
 FAO (2015). Food Outlook. Biannual Report on Global Food Markets
 (Appendix Table 29: Fish Price Indices)
 Elaboración propia

A partir del año 2012, la Tabla de Índices de Precios de Pescado de FAO, empieza a registrar precios de mercado por encima de US\$ 200/TM para especies pelágicas distintas al atún, llegando el año 2017 a US\$ 226/TM.

Para la primera temporada de pesca de 2009 (inicio de la reforma), De La Puente, *et al.* (2011), registra un precio de mercado de anchoveta de US\$ 180/TM, mientras que FAO, publica US\$ 140/TM.

Costos

“Los costos [de extracción] se descomponen en: (i) costo fijo; (ii) costo variable; y (iii) costo semi-variable. El costo fijo incluye: seguros,

permisos de capitania, servicio anual de sistema satelital, depreciación de redes y mantenimiento de la embarcación. En forma adicional, se incluye el rubro “costo del capital” (CK), que representa el costo de oportunidad del capital invertido en la embarcación (10% del valor de la embarcación a precio de mercado). Los costos variables son aquellos que están en función al volumen de pescado capturado, tales como el salario de la tripulación y bonos al patrón, aportaciones y derechos pesqueros. El tercer rubro de costo corresponde al costo semi-variable, que está en función de cada viaje de pesca y no del pescado capturado, por ejemplo, el combustible, lubricantes y viáticos diarios de la tripulación” (Paredes, 2012).

Asimismo, Paredes (2012), estima un costo unitario de extracción de anchoveta de US\$ 102/TM para el año 2006 (prereforma) y US\$ 98/TM para el año 2011 (reforma), incluyendo el costo de oportunidad del capital (COK), apreciándose una ligera reducción de los costos de extracción, como resultado del proceso de reforma de esta pesquería. No se incluye el derecho de pesca en la estructura de costos.

En cambio, Galarza y Collado (2013), reportan para los años 2006 y 2011, un incremento en los costos unitarios de la extracción de anchoveta, en lugar de una reducción, estimando US\$ 76,31/TM y US\$ 98,97/TM, respectivamente. Los costos unitarios en ambos años, incluyen el costo de oportunidad del capital (COK), el cual se mantiene

constante en el período 2006 – 2011. No se incluye en la estructura de costos el derecho de pesca.

“Respecto a los costos, se esperaba una reducción en los costos de extracción de la flota en la medida en que el régimen de Límite Máximo de Captura por Embarcación (LMCE) incentiva la minimización de costos, es decir, se podría utilizar menos cantidad de barcos para lograr el mismo nivel de captura. Sin embargo, la reducción de costos aún no se concreta del todo. En 2011, la proporción de costos fijos disminuyó respecto a la de 2006, mientras los costos variables aumentaron. En tal año [2006], el costo variable fue 41,97 dólares por TM y en 2011, 72,25 dólares por TM. Tal incremento se justifica, entre otras razones, por el cambio en la estrategia productiva de los armadores, especialmente aquellos con flota integrada, que buscan extraer una materia prima de mejor calidad, lo que significa, por ejemplo, no operar a plena capacidad” (Galarza y Collado, 2013). Ver Tabla 1.

Tabla 1. Costos fijos y variables de la actividad extractiva de anchoveta, 2006 y 2011

Costos (US\$)/TM	Año 2006		Año 2011	
	US\$/TM	Ratio	US\$/TM	Ratio
Costos variables	41.97	0.55	72.25	0.73
Costos fijos	34.34	0.45	26.72	0.27
Costos totales	76.31	1.00	98.97	1.00

Fuente: Galarza y Collado (2013)
Elaboración propia

Asimismo, De La Puente *et al.* (2011), reporta los costos de extracción de anchoveta correspondientes a la primera temporada de pesca del año 2009 (inicio de la reforma), pero, a diferencia de los estudios de Paredes (2012) y Galarza y Collado (2013), considera como costo el monto por concepto de derecho de pesca (US\$ 2,25/TM) y no incluye el costo de oportunidad del capital (COK).

A fin de estandarizar y poder comparar la información de De La Puente *et al.* (2011), con la información proporcionada por Paredes (2012) y Galarza y Collado (2013), se dedujo el valor por concepto de derecho de pesca y luego se calculó el costo promedio ponderado de extracción de las embarcaciones de madera y de las de acero naval, considerando la proporción de captura en ambos tipos de embarcación (20:80), según las estadísticas de desembarques de anchoveta para el año 2009, añadiendo después el costo de oportunidad de capital (Tabla 2).

Tabla 2. Costos fijos y variables de la actividad extractiva de anchoveta - 2009

Costos US\$/TM	E/P Madera (100 m3)		E/P Acero (350 m3)	
	US\$/TM	Ratio	US\$/TM	Ratio
Costos variables	32.38	0.56	49.04	0.55
Costos fijos	25.19	0.44	39.74	0.45
Costos totales	57.57	1.00	88.78	1.00
Promedio Ponderado	82.538			
Promedio Ponderado con COK (US\$)	93.26794			

Fuente: De La Puente *et al.* (2011)
Elaboración propia

Cabe resaltar que, del estudio de De La Puente *et al.* (2011), se deduce que los ratios de costos fijos y variables al inicio de la reforma (primera temporada de pesca – 2009), guardan similitud con los niveles estimados por Galarza y Collado (2013) para el año 2006 (prereforma).

Por otra parte, en el marco del presente trabajo de investigación, se obtuvo información de costos de extracción de anchoveta de la flota de pesca de una empresa del sector, por tamaño de embarcación de casco de acero, correspondiente al período 2009 – 2013 (reforma). Nótese que el costo fijo sólo considera el costo de mantenimiento (Tabla 3).

Tabla 3. Costos fijos y variables de extracción de anchoveta, 2009 -2013

Costos US\$/TM	Tamaño en metros cúbicos de capacidad de bodega			
	[100 - 300>	[300 - 400>	[400 - 500>	[500 - 620]
Costos variables	76.9	72.7	76.3	75.2
Costos fijos (mantenimiento)	25.3	22.1	21	26.1
Costos totales	102.2	94.8	97.3	101.3
Costos totales	117.2	106.1	106.8	110.9
Costo promedio ponderado	109.08			

Fuente: Empresa con flota de extracción del recurso anchoveta
Elaboración propia.

Hay que referir que, el costo promedio ponderado de la flota de pesca de la empresa antes mencionada, se obtuvo considerando el número de embarcaciones por rango de tamaño de embarcación.

Beneficios

Paredes (2012) y Galarza y Collado (2013), muestran los beneficios obtenidos por la extracción del recurso anchoveta para el 2006 (prereforma) y 2011 (reforma), a partir de los ingresos totales y costos totales, estimados de acuerdo a sus propios parámetros de cálculo y consideraciones mencionadas en el acápite anterior relativas a los costos unitarios.

Los montos de los beneficios difieren, desde ambas ópticas, tal como se muestra en la Tabla 4. Según Paredes (2012) el beneficio unitario alcanzado por los armadores pesqueros el año 2006 y 2011 fue de US\$ 17,62/t y US\$ 151,87/t, respectivamente; en cambio Galarza y Collado (2013), señalan, para ambos años, beneficios unitarios de US\$ 25,54 y US\$ 128,66/t, respectivamente. En todo caso, se aprecia un beneficio sustancial como consecuencia del cambio de régimen de pesca.

Tabla 4. Beneficios de la actividad extractiva de anchoveta, 2006 y 2011

Detalle	Paredes (2012)		Galarza y Collado (2013)	
	2006	2011	2006	2011
Desembarque (TM)	5,885,111	6,938,774	5,934,710	6,993,929
Precio (US\$/TM)	120	250	101.85	227.63
Ingreso Total (US\$)	706,213,289	1,734,693,523	604,450,214	1,592,028,058
Costo Total con COK (US\$)	602,490,929	680,915,650	452,853,640	692,195,620
Costo Unitario (US\$/TM)	102.38	98.13	76.31	98.97
Beneficio total con COK (US\$)	103,722,360	1,053,777,873	151,596,574	899,832,438
Beneficio unitario US\$/TM	17.62	151.87	25.54	128.66

Fuente: Paredes (2012); Galarza y Collado (2013)
Elaboración propia

Según Paredes (2012), la flota anchovetera habría tenido el año 2011 (reforma), un beneficio total de 916% superior a lo obtenido el año 2006 (prereforma); mientras que Galarza y Collado (2013) reportan un beneficio total superior al 493% respecto al 2006, dado que parten de diferentes precios de mercado de anchoveta en ambos años de estudio, pero también de costos unitarios de extracción distintos para el año 2006. Sólo se aprecia coincidencia en el costo unitario de extracción para el año 2011. Dichos beneficios corresponderían a la renta del recurso, puesto que los autores incluyen el costo de oportunidad del capital (COK) dentro de los costos de captura.

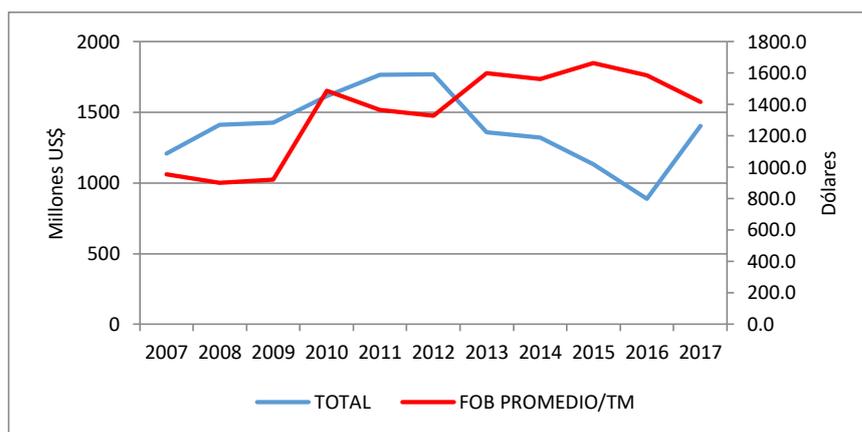
1.1.7 Mercado del recurso anchoveta

La anchoveta se destina principalmente a la elaboración de harina y aceite de pescado para su comercialización en el mercado externo. En el período 2007 – 2017, se exportó, en promedio, un valor FOB anual de US\$ 1.392 millones por concepto de harina de pescado y un valor FOB anual de US\$ 261 millones por concepto de aceite de pescado, con un valor FOB promedio/año de US\$ 1.337/TM y US\$ 1.481/TM, de harina y aceite de pescado, respectivamente.

El precio internacional de la harina de pescado se incrementó en 61% el año 2010, con respecto al año anterior, subiendo de US\$ 921 a US\$

1.487, por el aumento de la demanda mundial por este producto, lo cual habría generado mayores expectativas de ingresos en el sector privado para el año 2011, pues se autorizó el incremento de las capturas de anchoveta a 7,0 millones de TM en todo el litoral, ese año. Sin embargo, el precio internacional cayó el 2011 y 2012 a US\$ 1.364/TM y 1.327/TM, respectivamente, y la extracción de anchoveta se desplomó a partir del año 2012 a 3,6 millones de toneladas en promedio anual (Figura 9). A partir del 2013, el precio internacional de la harina de pescado subiría sostenidamente, pero los niveles de exportaciones continuarían bajando hasta el año 2016 (Figura 13), debido a la caída de las capturas de la anchoveta (Figura 9).

Figura 13. Exportación de harina de pescado (2007 – 2017)

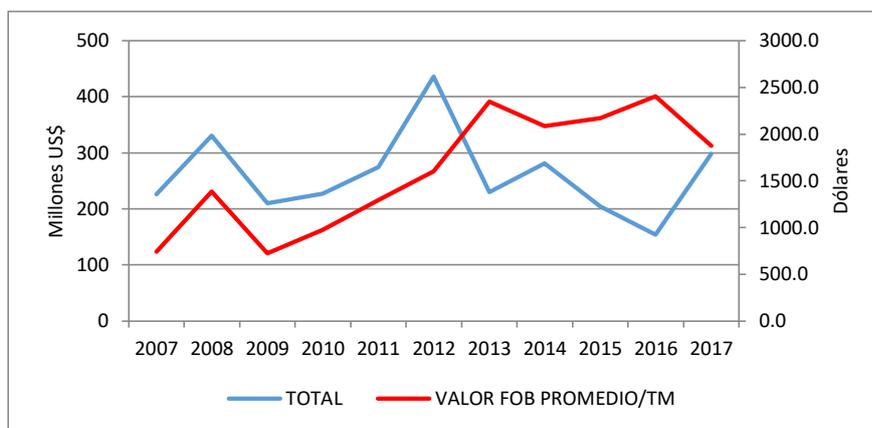


Fuente: Ministerio de la Producción
Elaboración propia

El precio internacional del aceite de pescado tuvo una evolución muy favorable. Se incrementó en 220%, entre el 2009 – 2013, subiendo de US\$ 727/TM a US\$ 2.348/TM. Entre el año 2013-2017, el alto precio

internacional de la harina y aceite de pescado ayudaron a paliar la baja disponibilidad del recurso debido a la secuencia alternada de “La Niña” y “El Niño”. Las exportaciones de aceite de pescado en dicho período corrieron la misma suerte que la harina de pescado (Figura 14).

Figura 14. Exportación de aceite de pescado (2007 – 2017)



1.1.8 Gestión de la pesquería de la anchoveta

La pesquería de la anchoveta destinada al consumo humano indirecto, se mantuvo durante muchos años bajo un Sistema de Acceso Regulado y Cuota Total de Captura Permisible, pero el año 2007 el sistema entró en aguda crisis. La carrera por el recurso que generaba dicho sistema, había “ocasionado, por un lado, la disminución progresiva de los días de pesca: de 240 días de pesca en 2001 a solo 52 días en 2007; y, por otro lado, un incremento sustancial de la captura diaria, más de cien mil toneladas métricas” (Galarza y Collado, 2013).

El año 2008, tras varios años de discusión sobre el establecimiento de un sistema de cuotas individuales de pesca, se promulgó del Decreto Legislativo N° 1084, Ley sobre Límite Máximo de Captura por Embarcación (LMCE), para la pesquería de anchoveta y anchoveta blanca (*Engraulis ringens* y *Anchoa nasus*) destinadas al consumo humano indirecto (Galarza y Collado, 2013) Este mecanismo de ordenamiento pesquero rige desde la primera temporada de pesca del año 2009 y se aplica a la extracción de anchoveta y anchoveta blanca, destinada al consumo humano indirecto (harina y aceite de pescado), mas no a la pesca de anchoveta para el consumo humano directo, que está reservada para la flota artesanal (Paredes, 2012).

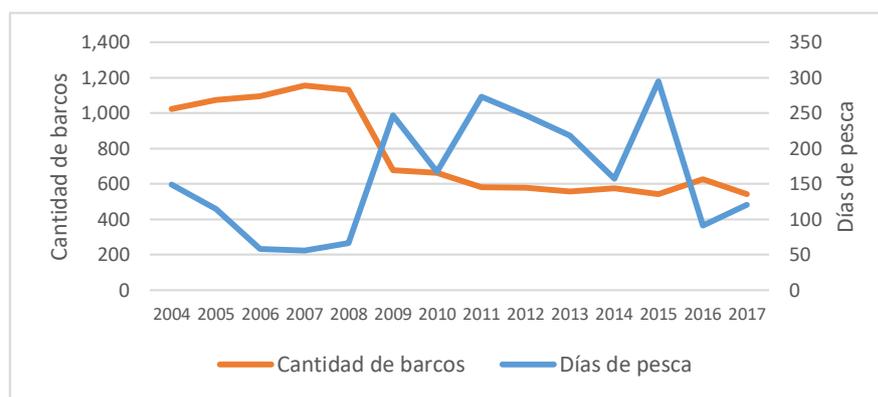
Cabe señalar que, la actual gestión de la pesquería de la anchoveta, se apoya en los mecanismos de control del anterior Sistema de Acceso Regulado y Cuota Total de Captura Permisible: permisos de pesca, temporadas de pesca, zonas prohibidas de pesca, talla mínima de captura, sistema de seguimiento y control que incluye la participación de empresas especializadas, entre otras medidas de gestión pesquera.

Paredes (2012), menciona que como resultado de la asignación de cuotas individuales de captura, el número de días de pesca aumentó en el 2009 en 263% en relación al 2008 (189 vs. 52). En el 2010, los días de pesca se redujeron debido a la mayor cantidad de vedas que hubo durante el año, para posteriormente recuperarse en el 2011 a 188 días,

corroborando el efecto positivo de la implementación de la reforma en términos de reducir la “carrera olímpica” (carrera por el pescado) y el estrés ambiental que esta causaba.

Lo afirmado por este autor, se corrobora en la Figura 15, elaborado como parte del presente trabajo de investigación, a partir de la base de datos del “Programa de Vigilancia y Control de la Pesca y Desembarque en el Ámbito Marítimo”⁴ del Ministerio de la Producción, correspondiente a la zona Norte – Centro, en el cual también se observa la reducción del número de barcos tras la aplicación de la reforma del sistema de pesca.

Figura 15. Evolución de los días de pesca de anchoveta y de flota, 2004 - 2017



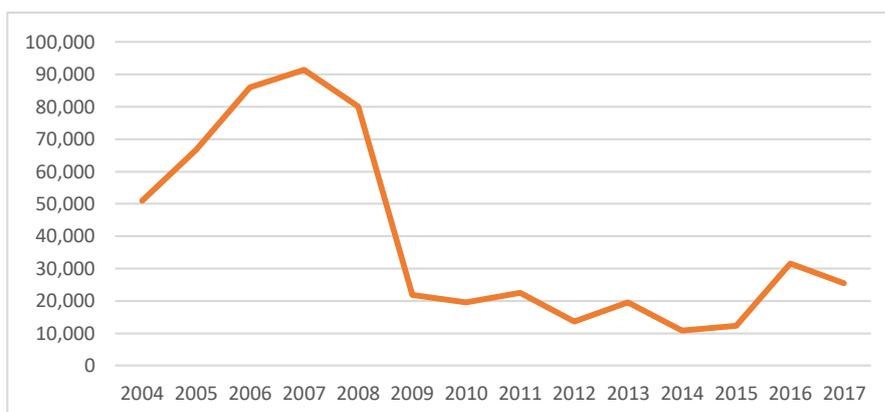
Fuente: Ministerio de la Producción
Elaboración propia

⁴ Aprobado mediante Decreto Supremo N° 027-2003-PRODUCE

Asimismo, Paredes (2012) sostiene que el fin de la llamada “carrera olímpica”, permitió incrementar la eficiencia del sector, mejorar los ingresos y la calidad de los desembarques, así como una reducción notable del desembarque diario de anchoveta debido a la distribución de la cuota total de captura entre un mayor número de días de pesca, lo cual contribuyó a reducir la congestión y contaminación de las bahías.

La Figura 16 muestra la notable reducción del desembarque diario de anchoveta en el período 2004 – 2017, en la zona Norte – Centro, que confirma lo indicado por el autor antes mencionado.

Figura 16. Volumen diario de desembarque de anchoveta (TM), 2004-2017



Fuente: Ministerio de la Producción
Elaboración propia

El incremento de la eficiencia del sector que remarca Paredes (2012), guarda relación con lo afirmado por Arnason (2005), quien señala que las cuotas individuales de captura, como se les conoce en el campo teórico, constituyen un instrumento económico que asigna un derecho

de propiedad y, por lo tanto, promueven la eficiencia y la sostenibilidad de las pesquerías de manera simultánea.

Consecuentemente, la dación del Decreto Legislativo N° 1084, generó una reforma sustantiva del ordenamiento pesquero del recurso anchoveta, toda vez que, terminó con un sistema ineficiente al disponer la asignación de una cuota de pesca a cada embarcación pesquera.

Sin embargo, cabe mencionar que el Estado asignó las cuotas individuales de pesca a título gratuito y a plazo indefinido. Si bien, las empresas beneficiarias asumieron determinados aportes económicos relativos a la problemática del personal excedente y de los pescadores jubilados, así como el compromiso de financiamiento del programa de vigilancia y control de la extracción del recurso anchoveta, dichos gastos son reducidos, comparados con la sustancial revalorización de las empresas beneficiadas con la asignación de cuotas individuales de pesca de un recurso común.

Al respecto Csirke (2014), afirma que “la asignación inicial de las cuotas individuales de pesca suele ser el aspecto socioeconómico más difícil en la implementación de cuotas de captura. Implica la privatización de un recurso público y su transferencia a unos pocos receptores iniciales seleccionados, frecuentemente sin la consulta adecuada y/o sin compartir las ganancias y beneficios económicos con la sociedad.” En

la misma línea de pensamiento, Clark (2006), señala que “la mayoría de los países ha reconocido, en principio, que sus recursos marinos pertenecen a la nación en general, por lo que no existe justificación para otorgar cuotas de pesca de forma gratuita a individuos específicos”. En el caso del Perú, la Ley General de Pesca establece que los recursos hidrobiológicos son patrimonio de la Nación, sin embargo, el Estado asignó las cuotas individuales de pesca del recurso anchoveta en forma gratuita e indefinida, por lo que, sería justo compensar dichos beneficios privados, incluidos los potenciales ingresos por la sustancial valorización de las empresas, con un monto apropiado por concepto de derechos de pesca, calculados en base a un adecuado marco teórico.

1.1.9 Los derechos de pesca de la anchoveta

La Ley General de Pesca⁵ y su reglamento⁶ establecen que los armadores de embarcaciones pesqueras de mayor escala (más de 32,6 m³ de capacidad de bodega) y de menor escala (menos de 32,6 m³ de capacidad de bodega) están obligados a pagar un monto por el derecho a extraer recursos pesqueros que son de propiedad pública. A este monto se le denomina derecho de pesca (Capítulo III, artículos 40 al 47 del Reglamento de la Ley General de Pesca) y es el pago que hace el armador pesquero al Ministerio de la Producción por cada tonelada de

⁵ Decreto Ley N° 25977

⁶ Decreto Supremo N° 012-2001-PE

anchoveta capturada y pesada –mediante balanzas electrónicas- al momento de su desembarque en las plantas de procesamiento de harina de pescado.

A lo largo del tiempo, la forma del cálculo de los derechos de pesca del recurso anchoveta ha sufrido muchos cambios, tal como se muestra en la Tabla 5. Tradicionalmente, el monto de pago del derecho de pesca se estableció como un porcentaje de la Unidad Impositiva Tributaria (UIT); sin embargo, cuando el precio mundial de la harina de pescado empezó a tener una tendencia creciente, se cambió el método de cálculo por el valor FOB por tonelada de harina de pescado. Así, la norma estableció el 2006 que el pago de derechos por concepto de extracción de los recursos hidrobiológicos destinados al consumo humano indirecto (recurso anchoveta), se efectúa sobre la base de aplicar el 0.25% del valor FOB por tonelada de harina de pescado, computable sobre el precio promedio mensual según información oficial que emita ADUANET, según lo establecido en el artículo 45° del Reglamento de la Ley General de Pesca, modificado mediante Decreto Supremo N° 024-2006-PRODUCE.

Tabla 5. Cambios normativos relativos a los derechos de pesca de la anchoveta

Norma	Derecho de pesca
Reglamento de la Ley General de Pesca (DS N° 012-2001-PE)	0.075% UIT/tonelada métrica extraída de los recursos anchoveta, sardina, jurel y caballa
D.S. N° 007-2002-PRODUCE (Publicado el 05/12/2002)	0.23% UIT/tonelada métrica extraída de los recursos hidrobiológicos destinados al consumo humano indirecto.
D.S. N° 011-2002-PRODUCE (Publicado el 20/12/2002)	0.116% UIT/tonelada métrica extraída de los recursos hidrobiológicos destinados al consumo humano indirecto.
D.S. N° 024-2006-PRODUCE (Publicado el 26/11/2006)	El pago de derechos por extracción de recursos hidrobiológicos destinados al consumo humano indirecto, se efectuará sobre la base de aplicar el 0.25% del valor FOB por tonelada de harina de pescado, computable sobre el precio promedio mensual según información oficial
D. Legislativo N° 1084. Primera Disposición Final. (Publicado el 28/06/2008)	Durante el período de vigencia del aporte social obligatorio se mantendrá sin alteración el monto y la forma de cálculo de los Derechos de Pesca por extracción de recursos hidrobiológicos destinados al Consumo Humano Indirecto, aprobados mediante el DS N° 024-2006-PRODUCE.

Fuente: Galarza y Collado (2013)

Como se puede advertir, inicialmente se utilizó como referencia la UIT y, posteriormente, el valor FOB; lo cual, revela la aplicación de distintos criterios consultoría respecto a la forma y modo del cobro de los derechos de pesca. Parámetros, ambos, sin vinculación directa con la actividad extractiva.

De La Puente *et al.* (2011), afirman que, el monto pagado por derechos de pesca asciende aproximadamente a 2,31 dólares americanos por tonelada de pesca descargada. Este monto no es proporcional a los costos de operación de la industria, al precio de la harina y el aceite de pescado en la actualidad, o a la rentabilidad de las empresas.

Asimismo, señalan que esta situación de desequilibrio entre los costos de operación y los derechos de pesca tiene efectos negativos graves para la recaudación de fondos por parte del PRODUCE, sobre todo en el futuro, debido a que mediante la Primera Disposición Final del Decreto Legislativo 1084⁷, se estableció que se mantendrá sin alteración el monto y la forma de cálculo de los derechos de pesca, por concepto de extracción de los recursos hidrobiológicos destinados al consumo humano indirecto durante 10 años, desde la entrada en vigencia de dicha norma.

Hay que enfatizar que el congelamiento del monto del derecho de pesca de la anchoveta, fue el resultado de una negociación entre el gobierno y los industriales pesqueros, a cambio de asumir determinados aportes económicos destinados a resolver la problemática del personal excedente y de los pescadores jubilados, así como el compromiso de financiamiento del programa de vigilancia y control de la extracción del recurso anchoveta. Sin embargo, dichos gastos son mínimos comparados con la sustancial revalorización de las empresas que resultaron beneficiadas, a título gratuito, con la asignación de cuotas individuales de pesca.

El descongelamiento de los derechos de pesca del recurso anchoveta debiera conducir a su sinceramiento, mediante una adecuada forma de

⁷ Dicha Disposición Final dejó de surtir efecto a partir del 29 de junio del 2018, tras 10 años de vigencia.

cálculo basada en un marco teórico apropiado. Clark (2006), sostiene que los sistemas de cuotas individuales pueden mejorar el rendimiento económico y biológico de una pesquería, pero también plantean varios problemas importantes, entre ellos, el enriquecimiento de unos pocos seleccionados y la concentración de la propiedad de la cuota, lo cual es el resultado directo de la falta de recolección de una porción sustancial de la renta del recurso para la cartera pública, es decir, el cobro de un monto apropiado por concepto de derechos de pesca. Añade que “dividir la torta puede no ser fácil, pero asumir que el público no tiene derecho a él no es un resultado justo”. También sostiene que “el gobierno puede retener una parte de la renta del recurso al cobrar regalías de desembarque, como en otras industrias de recursos. Exactamente qué parte de la renta (más allá de los costos de gestión) debe recaudar el Estado es una cuestión de política, que la industria pesquera intentará sesgar a su favor. Otro método para resolver el problema es a través de subastas de cuotas de duración limitada”.

Paredes (2012), propone una metodología para determinar los derechos de pesca en la pesquería de anchoveta, a partir de los ingresos y costos derivados de su procesamiento en harina y aceite de pescado, con el fin de corregir la ínfima tasa del derecho de pesca en la pesquería de la anchoveta (US\$ 3,38 por TM de anchoveta desembarcada). Bajo este esquema metodológico, y según la utilidad

del año 2011, determina un monto de US\$ 182,09 por TM de anchoveta desembarcada que debería cobrarse como derecho de pesca.

Sin embargo, conviene anotar que si bien, existe una integración patrimonial entre la actividad extractiva y la de procesamiento del recurso, el derecho de pesca debiera estar en correspondencia con la renta del recurso, es decir, con la utilidad del armador pesquero.

Galarza y Collado (2013), señalan que el derecho de pesca, tal cual se aplica en la pesquería de la anchoveta, no guarda relación alguna con el costo de uso del recurso o con lo que se podría llamar la regalía que cobra el Estado, dado que permite el uso de un recurso público. El derecho de pesca debería ser calculado sobre la base de la renta del recurso, es decir, sobre la diferencia entre los ingresos totales y los costos totales

Asimismo, afirman, que si se compara el total pagado por el sector privado, es decir, los aportes derivados de los compromisos establecidos en el Decreto Legislativo N° 1084 (US\$ 5,17/TM), más los derechos de pesca (US\$ 3,39/TM), con la renta estimada para el 2011 (US\$ 20,53) en máxima producción económica, se observa que ésta cubre solamente el 41,74%; es decir, se estaría cobrando, en promedio, el equivalente a 8,57 dólares por TM de anchoveta desembarcada.

Por tanto, señalan que, queda en evidencia que el método de cobro del derecho de pesca debe ser revisado, de manera que se pueda establecer un método más efectivo que capture toda la renta del recurso. Sin duda, la compleja realidad del sector pesquero requiere que el método a emplearse sea lo suficientemente flexible para que se adapte a la variabilidad de los precios de la anchoveta y a las condiciones para la captura del recurso.

En la Tabla 6 se muestra información oficial proporcionada por el Ministerio de la Producción, sobre recaudación de derechos de pesca del recurso anchoveta y volumen de desembarque de dicho recurso en todo el litoral, correspondiente al período 2012–2016.

A partir de dicha información, se determinó el monto promedio anual del derecho de pesca por tonelada métrica en nuevos soles (S/. 11,60/TM) y en dólares (US\$ 3,91/TM) tomando en cuenta el tipo de cambio promedio anual calculado por el Banco Central de Reserva (BCR).

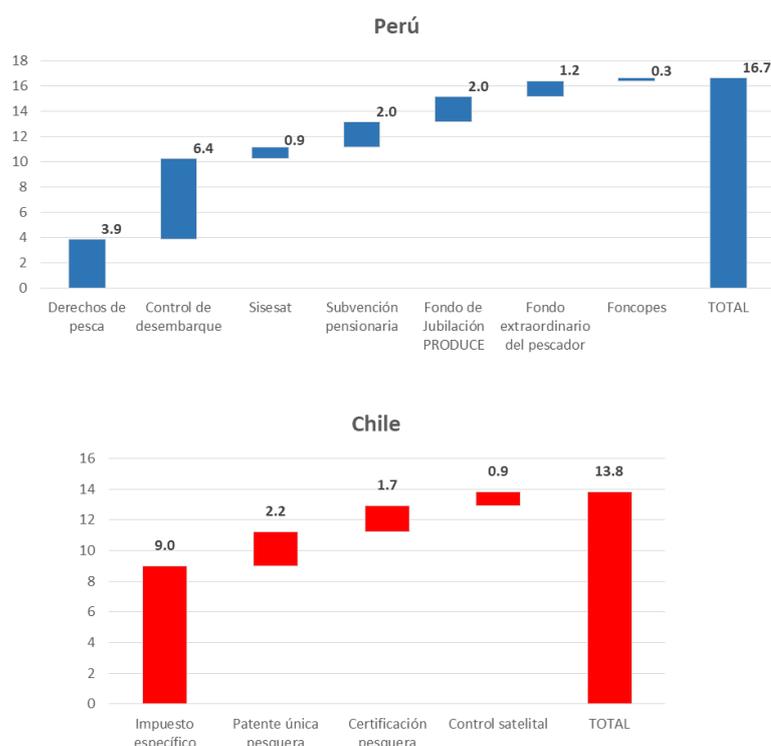
Tabla 6. Derechos de pesca recaudados por extracción de anchoveta (2012 – 2016)

Detalle	2012	2013	2014	2015	2016	Promedio	Porcentaje
E/P acero naval	25,380,614	44,641,499	19,677,087	44,530,892	27,877,217	32,421,462	82
E/P madera	5,281,456	10,382,388	3,668,396	9,225,571	7,629,494	7,237,461	18
Total (Nuevos Soles)	30,662,070	55,023,887	23,345,483	53,756,463	35,506,711	39,658,923	100
Desembarque	3,615.5	4,754.1	2,255.4	3,686.8	2,732.7		
Soles/TM	8.48	11.57	10.35	14.58	12.99	11.60	
US\$/TM	3.21	4.29	3.64	4.57	3.84	3.91	
Tipo de cambio promedio anual	2.64	2.7	2.84	3.19	3.38		

Fuente: Ministerio de la Producción y Banco Central de Reserva
Elaboración propia

Un estudio privado de la firma Apoyo Consultoría de 2016, sobre los derechos de pesca en Perú y Chile, confirma el monto promedio anual de US\$ 3,9/TM pagado por los armadores anchoveteros de Perú y, asimismo, reporta un monto de US\$ 11,2/TM pagado en Chile por el derecho de pesca de los recursos destinados a la elaboración de harina de pescado, tal como se muestra en la Figura 17. Según la Ley General de Pesca y Acuicultura de Chile, el monto de derechos de pesca está dado por la suma de la Patente de Beneficio Fiscal y el Impuesto Específico por Especie. La patente se paga en marzo, según el tamaño de la embarcación, y el impuesto en julio, de acuerdo a la cuota de captura.

Figura 17. Derechos de Pesca en Perú y Chile 2016 (US\$/TM)



Fuente: SUNAT, PRODUCE, Servicio de Impuestos Internos de Chile y Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de Chile.
Elaboración: APOYO Consultoría.

Cabe precisar que, en comparación con Chile, los derechos de pesca en Perú se pagan mensualmente hasta el último día hábil del mes siguiente y corresponden a un solo concepto relativo al volumen del recurso extraído.

Galarza, E. y Collado, N. (2013), utilizaron en sus cálculos de derechos de pesca un método bioeconómico estático, pero recomendaron aplicar uno dinámico. En tal sentido, el presente estudio de investigación se orienta a examinar si la renta del recurso, estimada mediante el modelo bioeconómico de optimización dinámica en tiempo continuo de Clark y Munro (1975), podría constituirse en un fundamento básico aplicable al cálculo de los derechos de pesca del recurso anchoveta destinado al consumo humano indirecto.

El modelo se sustenta en el empleo de las variables: captura, esfuerzo de pesca, precio del recurso y costo del esfuerzo. Adicionalmente, el modelo utiliza la tasa social de descuento que se aplica a los proyectos de inversión pública.

Además, según la literatura bioeconómica, el citado modelo bioeconómico, se constituye en una importante herramienta de gestión pesquera que contribuye a asegurar la explotación sostenible de los recursos pesqueros, pues permite determinar el nivel óptimo de captura del recurso a partir del cálculo de un nivel óptimo de biomasa (Flaaten,

2014; Viet Thanh, 2006; Berachi, 2003). Y, se sustenta en un sólido marco teórico basado en la teoría del capital, la teoría de la inversión y la teoría del control óptimo; esta última basada en el principio del máximo de Pontryagin (Munro y Sumaila, 2015).

1.2 Formulación del problema

¿En qué medida la renta del recurso, estimada mediante el modelo bioeconómico de optimización dinámica en tiempo continuo de Clark y Munro (1975), puede constituirse en un fundamento económico válido para el cálculo de los derechos de pesca de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*)?

1.3 Objetivo de la investigación

Evaluar en qué medida la renta del recurso, estimada mediante el modelo bioeconómico de optimización dinámica en tiempo continuo de Clark y Munro (1975), puede constituirse en un fundamento económico válido para el cálculo de los derechos de pesca de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*).

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Importancia de la investigación

La anchoveta peruana (*Engraulis ringens*), es el recurso hidrobiológico más importante del Perú y una de las mayores pesquerías del mundo, sin embargo, el método aplicado para el cálculo de los derechos de

pesca que deben pagar los armadores pesqueros por su explotación al Estado peruano, está en cuestión por investigadores académicos.

Cabe recordar que, la Unidad Impositiva Tributaria (UIT), fue la unidad de referencia que se aplicó hasta el año 2006. No se ha encontrado en los expedientes de aprobación del decreto supremo correspondiente, el informe técnico que sustente o justifique la aplicación de la UIT como parámetro técnico apropiado para el cálculo de los derechos de pesca⁸; sin embargo, es evidente que no existe una conexión lógica entre la UIT (una referencia de naturaleza tributaria y presupuestaria) y el cálculo del monto que debe pagar el armador por tonelada de anchoveta extraída.

A partir del año 2006, se cambió el parámetro de referencia para el cálculo de los derechos de pesca de este recurso, mediante Decreto Supremo N° 024-2006-PRODUCE, que modifica el artículo 45° del Reglamento de la Ley General de Pesca. Desde entonces, se aplica el 0.25% del valor FOB por tonelada de harina de pescado. El cambio del método de cálculo, según el informe técnico⁹ que acompaña al referido dispositivo normativo, se sustenta en “la evolución del precio internacional de la harina de pescado, cuyo precio promedio mensual muestra una considerable tendencia creciente”. De acuerdo al referido

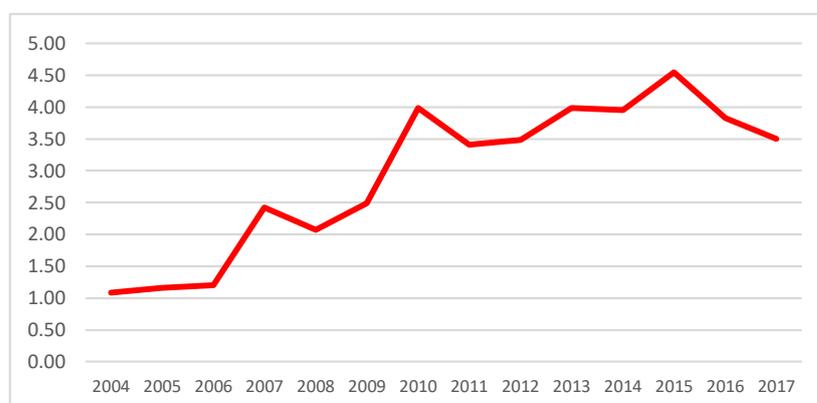
⁸ Oficio N° 1144-2017-PRODUCE-FUN.RES.ACC.INF e Informe N° 119-2017-PRODUCE/OGACI-OGDA-AC

⁹ Informe Técnico N° 07-2006. Análisis sobre la modificación del monto de los derechos de pesca

informe, el precio promedio mensual en enero de 2006 fue US\$ 666/TM y en octubre, US\$ 1.075/TM.

No cabe duda que el cambio de método del cálculo de los derechos de pesca para el recurso anchoveta significó un avance, tal como se muestra en la Figura 18, pero insuficiente. El año 2006, el Estado apenas cobraba a los armadores US\$ 1,1/TM por concepto de derecho de pesca de anchoveta. El valor más alto se obtuvo el año 2015: US\$ 4,5/TM, aplicando el valor FOB por tonelada de harina de pescado.

Figura 18. Evolución del valor del derecho de pesca de anchoveta US\$/TM



Fuente: MEF y ADUANET
Elaboración propia

Csirke y Gumy (1996), recomiendan que en el cálculo y valorización del derecho de pesca, se tenga en cuenta el margen de rentabilidad y beneficios potenciales a que accede el armador pesquero y el derecho que tiene la comunidad y la Nación a participar de las rentas y beneficios producidos por la explotación de un bien común, así como la necesidad

de sufragar los gastos en que incurre el Estado para garantizar la conservación y explotación racional de dicho bien común, incluidos los costos de investigación y los mecanismos de monitoreo, control y vigilancia, necesarios para una adecuada ordenación y planificación del desarrollo de la pesquería en cuestión.

Consecuentemente, para determinar si el monto pagado por derecho de pesca es razonable, se requiere conocer la renta del recurso (margen de rentabilidad) a partir de los niveles de ingresos y costos de la industria pesquera extractiva en general, los cuales dependen ciertamente de variables biológicas y económicas. Precisamente, la academia ha generado modelos matemáticos en el marco de la teoría bioeconómica, orientados a resolver este tipo de problemas, que el presente estudio recoge con el fin de analizar la factibilidad de su aplicación en el marco de la formulación del problema planteado en el numeral 1.2 del presente trabajo de investigación.

Algunas investigaciones académicas (De La Puente *et al.*, 2011, Paredes, 2102 y Galarza y Collado, 2013) ponen en cuestión el monto pagado por los armadores pesqueros por concepto de derecho de pesca del recurso anchoveta, señalando que este monto es reducido frente a los costos operativos de la industria y al valor intrínseco del recurso, mayor aún, cuando la gestión de la pesquería de la anchoveta ha sido objeto de una reforma importante, que asigna derechos de

propiedad a los armadores pesqueros, favoreciendo no sólo la rentabilidad de la actividad extractiva, sino el valor económico de las embarcaciones pesqueras de mayor escala, que supera ostensiblemente su propio costo de construcción.

De acuerdo a lo dispuesto por el Decreto Legislativo 1084, el monto y la forma de cálculo de los derechos de pesca por concepto de extracción de los recursos hidrobiológicos destinados al consumo humano indirecto, se mantuvo inalterado por 10 años desde su entrada en vigencia el año 2009, hasta junio del 2018.

Galarza y Collado (2013), consideran su estudio como una primera aproximación a la estimación de la renta pesquera de la anchoveta para el caso peruano, basado en un modelo bioeconómico estático, sin embargo, sugieren aplicar un modelo bioeconómico dinámico para la determinación y cálculo de los derechos de pesca de la anchoveta, debido a una serie de variables cambiantes.

Por las consideraciones expuestas, se estima necesario efectuar un estudio de la renta pesquera de la anchoveta, basada en un modelo bioeconómico dinámico en tiempo continuo, que pudiera utilizarse como fundamento básico para el cálculo de los derechos de pesca del recurso anchoveta.

Para el efecto, se tomará como base el modelo bioeconómico dinámico en tiempo continuo, formulado por Clark y Munro (1975), que transforma la teoría económica pesquera en términos de optimización estática que fundó Gordon (1954), en una de optimización dinámica en tiempo continuo, aplicando los fundamentos básicos de la teoría moderna del capital y de la teoría del control óptimo.

Clark y Munro (1975), determinan la solución matemática que establece el nivel de stock óptimo del recurso que genera un rendimiento óptimo de captura en el tiempo, garantizando el desarrollo de una pesquería económica y biológicamente sostenible. Es decir, crean una herramienta de administración pesquera eficiente.

A partir de este herramental matemático, el presente trabajo de investigación pretende analizar la aplicación de la renta del recurso como base para la formulación del cálculo de los derechos de pesca del recurso anchoveta, con el propósito de plantear una propuesta metodológica con el sustento técnico necesario que permita contribuir a una gestión más eficiente de la pesquería de la anchoveta, no sólo en términos del establecimiento de una retribución equitativa al Estado como derecho por la extracción del recurso, sino, de la aplicación de una política de captura óptima a partir de su correspondiente nivel de biomasa óptima del recurso.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Galarza y Collado (2013), realizaron una investigación para estimar la renta del recurso¹⁰ para el caso de la pesquería de la anchoveta peruana, comparando el año 2006 y el año 2011, es decir, antes y durante el nuevo sistema de ordenamiento pesquero de la anchoveta, denominado Límite Máximo de Captura por Embarcación (LMCE), aprobado por Decreto Legislativo N° 1084, publicado el año 2008.

Para la estimación de la renta del recurso, los autores antes mencionados, aplicaron el modelo bioeconómico estático de Gordon-Schaefer, conforme al procedimiento seguido por Arnason (2007), concluyendo que, si se compara el monto total pagado por el sector privado, con la renta estimada para 2011 (US\$ 20,53/t) en máxima producción económica (MPE), se observa que éste cubre sólo el 41,74%; es decir que, en promedio, el Estado estaría cobrando el equivalente a 8,57 dólares por TM de anchoveta desembarcada, lo cual indica que, aun considerando los aportes adicionales al derecho de pesca que viene haciendo el sector privado, no cubren el pago por la renta del recurso, quedando el 58,26% de la renta total generada por el recurso, sin cobrar.

Bjørndal y Bezabih (2010), realizaron un análisis de las rentas del recurso, actuales y potenciales, de la pesquería del lenguado del Canal de la Mancha,

¹⁰ El término renta del recurso se define en el acápite 2.3 Definición de términos básicos.

en el entendido que la situación biológica y económica de una pesquería es fundamental para el diseño de políticas de gestión eficientes, aplicando para este efecto, como base de su análisis empírico, un modelo bioeconómico dinámico en tiempo discreto. El modelo determinó el nivel óptimo de biomasa del recurso lenguado, a partir de la optimización del valor presente del flujo de ingresos netos de capturas sujetas a una ecuación de crecimiento logístico o de Schaefer, concluyendo en la necesidad de reconstruir el recurso, es decir “invertir en el stock”, reduciendo la captura y reestructurando la flota de la pesquería del lenguado con el objeto de reducir el excesivo esfuerzo pesquero y los costos de captura.

Arnason (2007), desarrolló un estudio sobre la renta económica de la pesquería mundial, en base al modelo de producción excedentaria de Gordon-Schaefer, estimando una pérdida de alrededor de 50 billones de dólares el año 2004, la cual fue medida como la diferencia entre las rentas máximas obtenibles de las pesquerías y las rentas efectivamente obtenidas. Arnason, considera como fuente fundamental de esta ineficiencia económica, la falta de derechos de propiedad privada de los recursos pesqueros en la mayoría de las pesquerías del mundo. Los resultados y la metodología del estudio de Arnason (2007), fueron publicados por el World Bank-FAO (2009).

Viet Thanh (2006), efectuó el análisis bioeconómico de la pesquería de arrastre del langostino del Golfo de Tonkin, Vietnam; pesquería en situación de acceso abierto. Comparó dos modelos de producción excedentaria: Verhulst-Schaefer

y Gompertz-Fox, cuyos parámetros y puntos de referencia biológicos y económicos estimados se aplicaron al modelo bioeconómico dinámico de Clark y Munro (1975) para estimar la biomasa, el rendimiento y el esfuerzo pesquero óptimos de la pesquería del langostino. El estudio concluye que, según los resultados obtenidos, la pesquería del langostino estaría en situación de sobrexplotación y propone regulaciones y políticas de impuestos (derechos) para una mejor gestión de esta pesquería de acceso abierto.

Berachi (2003), analizó la pesquería marina artesanal de Tanzania, la cual involucra la mayoría de la población costera, cuya supervivencia depende enteramente de los recursos pesqueros costeros. El autor aplica en su análisis el Modelo de Producción Excedentaria de Gordon–Schaefer, así como el modelo bioeconómico dinámico de Clark y Munro (1975) para el período 1987-2000. El estudio establece los puntos de referencia estáticos tales como el rendimiento de equilibrio de acceso abierto, el rendimiento máximo económico y el rendimiento máximo sostenible, además de la solución dinámica del rendimiento óptimo.

Los resultados del estudio de Berachi (2003), muestran que la pesquería se ha expandido más allá del punto económicamente óptimo, donde el nivel actual de esfuerzo pesquero está más allá del rendimiento máximo sostenible, lo que resulta en un rendimiento subóptimo, es decir, que ya hay sobrepesca en las aguas costeras donde la mayoría de los pescadores artesanales se concentran. El autor, asume que la principal limitación es el marco legal e

institucional inadecuados para la gestión pesquera, y, agrega, que las consideraciones sociales y de equidad han sido también los cuellos de botella para la implementación de medidas regulatorias que podrían causar un mayor desempleo. Finalmente, pide una intervención de políticas para rescatar la biomasa de la elevada presión pesquera existente, que podría conducir a su agotamiento.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Modelo biológico de Verhulst-Schaefer

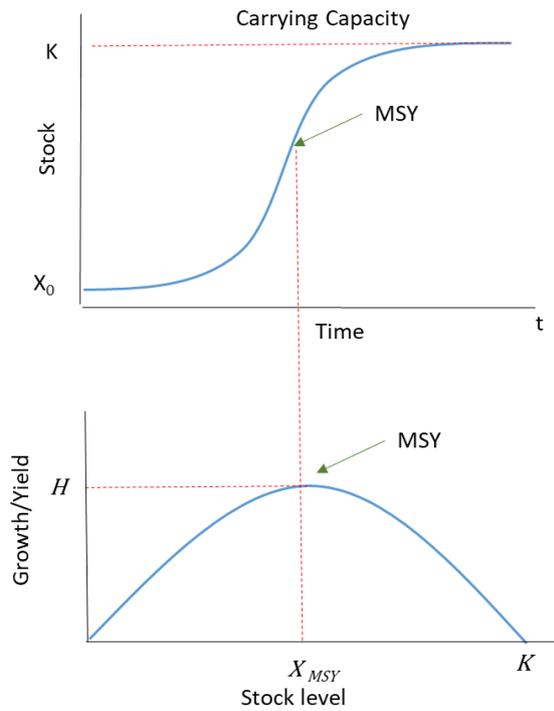
En un estudio sobre dinámica poblacional del atún tropical, Schaefer (1954), desarrolló un modelo de equilibrio pesquero basado en el modelo de crecimiento poblacional de Verhulst¹¹, mediante el cual estima el nivel de Rendimiento Máximo Sostenible (MSY¹²) de cada stock (población) de atún. En este modelo se asume que toda la biomasa sigue una función de crecimiento logístico (Berachi, 2003), la cual es una representación matemática del crecimiento de la biomasa de un stock animal, que describe una curva de crecimiento natural simétrica en forma de campana (Flaaten, 2014), tal como se muestra en la Figura 19.¹³

¹¹ Matemático Belga (1804 – 1849)

¹² Maximum Sustainable Yield

¹³ X_{MSY} , corresponde al nivel de biomasa en el Rendimiento Máximo Sostenible. Equivale también a $K/2$. H corresponde al nivel de captura en el MSY.

Figura 19. Rendimiento Máximo Sostenible (MSY)



El modelo de Verhulst-Schaefer (1954), considera la dinámica de una población de peces oceánicos no relacionados a variaciones ambientales, esto es, la dinámica de la población “media” bajo condiciones ambientales promedio, por lo tanto, considera la situación en la cual todos los factores ambientales son constantes, con excepción de la depredación por el hombre, por ejemplo, la cantidad de pesca. El efecto de la variación debido a cambios ambientales se trata como una variable aleatoria, independiente del tamaño de la población.

El modelo biológico de Verhulst-Schaefer (1954), considera el cambio de la biomasa (X) por unidad de tiempo, en situación de pesca, como sigue:

$$\frac{dX}{dt} = F(X) - H \quad [2.1]$$

donde $F(X)$ es el crecimiento natural de la biomasa y H , la captura. $F(X)$ es una función que se basa en una ecuación de crecimiento natural de tipo logístico, que sigue una curva parabólica o logística simétrica:

$$F(X) = rX(1 - X/K) \quad [2.2]$$

“Dicha ecuación fue diseñada y discutida primero por P. F. Verhulst (1838) y más tarde descubierta por R. Pearl (1925). El parámetro r es la tasa máxima de crecimiento relativo, también llamada tasa intrínseca de crecimiento y K es la capacidad de carga del hábitat, ambos parámetros se asumen fijos” (Flaaten, 2014).

Con relación a la ecuación (2.1), el modelo biológico de Verhulst-Schaefer (1954) considera la siguiente función de captura H , siendo esta formulación el aporte sustantivo del modelo:

$$H = qEX \quad [2.3]$$

Según Berachi (2003), esta función asume que el esfuerzo pesquero, siempre remueve una proporción constante de la biomasa. E = esfuerzo de pesca y q es un coeficiente de capturabilidad¹⁴ constante.

Berachi (2003) desarrolla en forma sencilla y comprensiva la solución de la ecuación de Schaefer, tal como se detalla en adelante.

El rendimiento de equilibrio, ocurre cuando la tasa de captura es igual a la tasa de crecimiento natural, es decir, cuando la tasa de cambio de la biomasa $dX/dt = F(X) - H(E, X) = 0$, esto es, $H(E, X) = F(X)$. Entonces, teniendo en cuenta (2.2) y (2.3), se genera la siguiente ecuación de equilibrio:

$$qEX = rX \left(1 - \frac{X}{K}\right) \quad [2.4]$$

A partir de (2.4) se puede obtener la biomasa X que genera el rendimiento de equilibrio:

$$X = K \left(1 - \frac{q}{r}E\right) \quad [2.5]$$

Insertando (2.5) en la ecuación (2.3), da lugar a:

¹⁴ El coeficiente de capturabilidad se define el acápite 2.3

$$H = qEK \left(1 - \frac{q}{r}E\right) \quad [2.6]$$

Desarrollando el lado derecho de la ecuación, se tiene:

$$H = qKE - \frac{q^2K}{r}E^2 \quad [2.7]$$

La ecuación (2.7), es una función de captura a largo plazo, cuyos parámetros pueden estimarse a partir de los datos de captura y esfuerzo pesquero, a través de una regresión lineal si hacemos: $qK = a$ y $q^2K/r = b$; con lo cual la ecuación (2.7) queda como:

$$H = aE - bE^2 \quad [2.8]$$

Entonces, la regresión lineal puede realizarse convirtiendo la ecuación (2.8) en:

$$\frac{H}{E} = a - bE \quad [2.9]$$

Con los datos de captura y esfuerzo pesquero disponibles, se puede estimar los parámetros a y b a través de un modelo de regresión lineal simple, considerando la relación de dependencia entre la variable dependiente “captura por unidad de esfuerzo” y la variable independiente “esfuerzo”.

Pero, el esfuerzo en el Rendimiento Máximo Sostenible (E_{MSY})¹⁵ puede estimarse maximizando la ecuación (2.8), esto es, tomando la derivada parcial de H con respecto a E ; e igualando a cero:

$$E_{MSY} = \frac{a}{2b} \quad [2.10]$$

Sustituyendo luego (2.10) en la ecuación (2.8) se obtiene el Rendimiento Máximo Sostenible (H_{MSY})¹⁶ o captura máxima sostenible:

$$H_{MSY} = \frac{a^2}{4b} \quad [2.11]$$

Para determinar el nivel de biomasa X_{MSY} , correspondiente al Rendimiento Máximo Sostenible, se reemplaza (2.10) en la ecuación (2.12):

$$qEX = aE - bE^2; \quad [2.12]$$

lo cual permite obtener X_{MSY} ¹⁷, como:

$$X_{MSY} = \frac{a}{2q} \quad [2.13]$$

¹⁵ También puede expresarse como $(r/q)/2$

¹⁶ También puede expresarse como $rK/4$.

¹⁷ Equivale a $K/2$

En consecuencia, el modelo biológico de Verhulst-Schaefer, permite determinar si una pesquería se viene desarrollando en forma sostenible, a partir del análisis de la serie de datos de captura y esfuerzo pesquero, lo cual conllevaría, en su caso, a adoptar decisiones de política pesquera orientadas a superar la problemática que se pudiera advertir.

2.2.2 Modelo bioeconómico estático de Gordon-Schaefer

Este modelo se basa en la integración del modelo biológico de Verhulst-Schaefer (1954) y el modelo económico de Gordon (1954)¹⁸.

Munro y Sumaila (2015), sostienen que “el modelo económico de Gordon (1954) se basa firmemente en el fundamento del modelo biológico desarrollado por M. B. Schaefer. El vínculo es tan cercano que el modelo se conoce comúnmente en la literatura como el modelo de Gordon-Schaefer.”¹⁹

¹⁸ M. B. Schaefer, biólogo estadounidense, y H. S. Gordon, economista canadiense.

¹⁹ Esto no parece ser exacto, pues ambos investigadores publicaron sus artículos fundamentales el mismo año; además, Gordon (1954) no menciona a Schaefer (1954) en sus referencias o revisión de literatura. Lo que sí se puede verificar es que ambos modelos se encuentran integrados en el estudio de Schaefer (1957), en cuya bibliografía se cita el artículo del economista canadiense. No obstante, no deja de sorprender que ambos investigadores coincidan en la misma ecuación de captura/desembarque.

Gordon (1954), en la fundamentación de su teoría económica, sostiene que el término “gestión pesquera” focaliza su atención en la captura máxima sostenible, la cual, desde su punto de vista, tiene serias limitaciones en el tratamiento del problema [de la sobreexplotación] de la pesca, dado que, al poner la atención en la maximización de la captura, descuida por completo los aportes de otros factores de producción que se utilizan en la pesca como los costos; y que deben ser considerados.

En general, señala, el ecosistema del biólogo pesquero es típicamente uno que excluye al hombre. O, más bien, se considera al hombre como un factor exógeno, que tiene influencia en el ecosistema biológico a través de su remoción de peces del mar, pero sus actividades no se consideran como parte de un sistema de interdependencia mutua. La gran cantidad de pescadores independientes que explotan poblaciones de peces de importancia comercial hace posible tratar al hombre como un elemento integrado de una teoría “bionómica” general y sistemática.

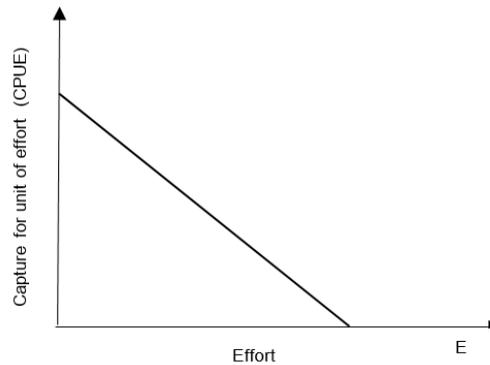
Asimismo, indica que los biólogos pesqueros, en su tratamiento de los principios de la gestión de la pesca, han pasado por alto elementos esenciales del problema, al establecer el máximo de desembarques físicos como el objetivo de la gestión, descuidando así el factor económico del costo de los insumos.

En tal sentido, Gordon (1954) encuentra la base de su teoría en el hecho de que en la industria pesquera el gran número de pescadores permite la generalización conductista válida de sus actividades en la línea de la teoría económica estándar de la producción. Esta generalización, lo conduce a aplicar la teoría económica de la producción a la industria de la pesca y demostrar que el “problema de la sobreexplotación” tiene su raíz en la organización económica de la industria. Por ello, denomina su teoría como “teoría de la utilización óptima de los recursos pesqueros”, expresada en la maximización del rendimiento económico neto: la diferencia entre costo total, por un lado y el ingreso total, por el otro, concepto aplicable a cualquier área de pesca en particular.

Según Gordon (1954), “el costo total y la producción total, pueden expresarse, cada uno de ellos, como una función del grado de intensidad de pesca, o como dicen los biólogos “esfuerzo de pesca”, de modo que sea posible una solución simple de maximización. El costo total será una función lineal del esfuerzo de pesca, si no asumimos efectos inducidos por la pesca en los precios de los factores, lo que es razonable para cualquier pesquería regional en particular. Y, en cuanto a la función de producción –la relación entre el esfuerzo de pesca y el valor total producido- se asume que, a medida que aumenta la intensidad de pesca, la captura crecerá a un ritmo decreciente, debido al efecto de la captura sobre la población de peces.”

Supone, además, que la relación funcional entre la producción promedio (producción [captura] por unidad de esfuerzo de pesca) y la cantidad de esfuerzo de pesca es uniformemente lineal. Ver Figura 20.

Figura 20. Relación Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) y Esfuerzo



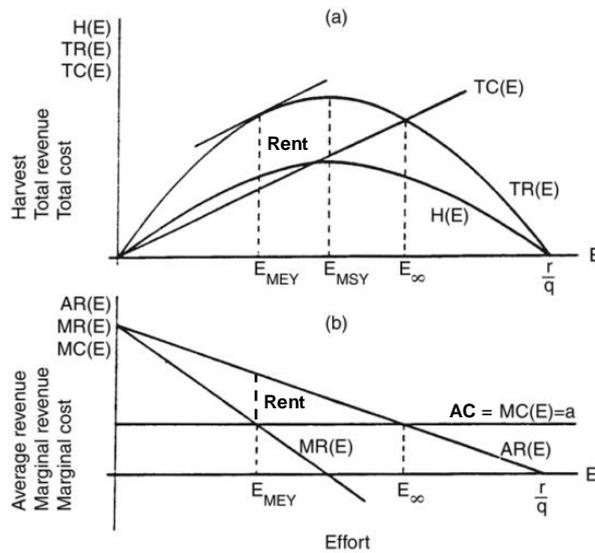
Fuente: Flaaten (2014)

En el análisis marginal, la Figura 21, panel (b), muestra la intensidad óptima de pesca E_{MEY}^{20} en un caladero en particular. Las curvas AR y MR, representan la productividad [ingreso] promedio y la productividad [ingreso] marginal del esfuerzo de pesca, respectivamente. MR bisecta cualquier horizontal entre la ordenada y la curva AR.

En la Figura 21 (b), queda de manifiesto, asimismo, que el esfuerzo de pesca en el rendimiento máximo económico (E_{MEY}) es significativamente más bajo en el esfuerzo en el nivel de equilibrio de acceso abierto (E_{∞}).

²⁰ Esfuerzo de pesca en el nivel de Rendimiento Máximo Económico (Maximum Economic Yield – MEY)

Figura 21. Curvas de captura, ingresos y costos, según modelo Gordon-Schaefer



NOTA: El Panel (a) muestra las curvas de ingreso total (TR), costo total (TC) y captura sostenible (H). El Panel (b), grafica las curvas de ingreso marginal (MR), ingreso promedio (AR), costo marginal (MC), costo promedio (AC).
 Fuente: Flaaten (2014)

Del análisis marginal de la Figura 21, panel b, se determina que el pescador no se preocupa por la productividad marginal sino por la productividad promedio, ya que, es este último el que indica dónde se puede obtener el mayor rendimiento total.

“Dado que se asume que los costos de los suministros de pesca, etc., no se ven afectados por la cantidad de esfuerzo de pesca, el costo marginal y el costo promedio son idénticos y constantes, como se muestra en la curva $MC^{21} = AC^{22}$. Se asume que estos costos incluyen

²¹ Marginal Cost (MC)

²² Average Cost (AC)

un ingreso de oportunidad para los pescadores, el ingreso que podría obtenerse en otros empleos comparables. Entonces, E_{MEY} es la intensidad óptima de pesca en este caladero, y el recurso, en este nivel de explotación, proporcionará el rendimiento económico neto máximo [renta], indicado por la línea punteada entre las curvas de AR^{23} y AC . El rendimiento físico máximo sostenible (MSY) del que hablan los biólogos, se alcanzará cuando la productividad [ingreso] marginal (MR)²⁴ del esfuerzo de pesca sea cero, es decir cuando la curva (MR) biseca la abscisa (Figura 21, panel b). Por lo tanto, como podría esperarse, la intensidad de pesca económica óptima E_{MEY} es menor que la que produciría el rendimiento físico máximo sostenido (MSY).

El E_{MEY} es la mejor tasa de explotación para la zona de pesca en cuestión y la renta refleja la productividad de esa zona. La renta aquí corresponde a la productividad adicional producida en la agricultura por suelos de mejor calidad o ubicación, que aquellos en el margen de cultivo que pueden generar un ingreso de oportunidad, pero no más” (Gordon, 1954).

Gordon (1954), indica “Llegamos ahora al punto de mayor importancia teórica para comprender la fase de producción primaria de la industria pesquera, que la distingue de la agricultura. En la pesquería marina, el

²³ Average Renueve (AR)

²⁴ Marginal Renueve (MR)

recurso natural no es propiedad privada; por lo tanto, nadie puede apropiarse de la renta que pueda generar.”

Para explicar el problema de la renta en la explotación del recurso pesquero, Gordon (1954) considera que un análisis del equilibrio bionómico de la industria pesquera puede abordarse en términos de dos problemas. El primero es explicar la naturaleza del equilibrio de la industria tal como ocurre en el estado de explotación no controlada o no administrada de un recurso de propiedad común. El segundo es indicar la naturaleza de una forma de explotación socialmente óptima, que es, presumiblemente, lo que la política de gestión gubernamental pretende lograr o promover.

En el análisis del primer problema, encuentra que la renta que los caladeros son capaces de producir se disipa debido a una mala asignación del esfuerzo de pesca. De acuerdo a la evidencia empírica, la explotación no controlada o no administrada de recursos naturales de propiedad común, conduce a una carrera competitiva de explotación de la máxima cantidad de recurso antes de que otro lo pueda hacer, lo que conlleva a una sobreexpansión de las instalaciones productivas y al rápido agotamiento del recurso. Los únicos casos exitosos de explotación de recursos naturales de propiedad común, son aquellos en los que el líder de la comunidad ha logrado coordinar ciertas reglas de comportamiento en la actividad. Bajo una explotación privada no

regulada, los recursos no pueden rendir renta; esta se puede lograr sólo mediante métodos que la hacen propiedad privada o propiedad pública (gobierno), en cualquier caso, sujeta a un poder de dirección unificado.

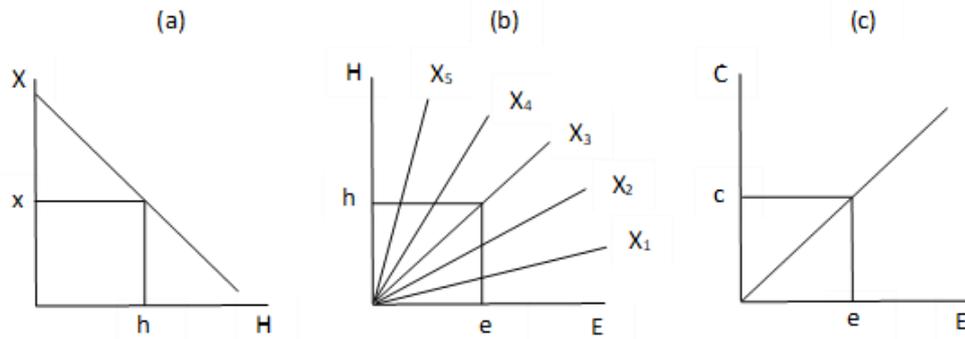
La condición de equilibrio de una pesquería no controlada es aquella en la cual el rendimiento neto (valor total de los desembarques o ingreso total, TR^{25} menos el costo total, TC^{26} , del esfuerzo de pesca) es cero. Esto corresponde al nivel de esfuerzo de pesca E_{∞} , y desde el análisis marginal, cuando la productividad [ingreso] promedio AR y el costo promedio, AC , son iguales (Figura 21, panel b).

En el análisis del segundo problema, referido a la naturaleza de una forma de explotación socialmente óptima, Gordon (1954) plantea un “sistema bionómico”, expresado en términos de cuatro variables (población, desembarque –medido en términos monetarios-, la intensidad de pesca o cantidad de esfuerzo de pesca realizado y el costo total de hacer dicho esfuerzo). La Figura 22, muestra las relaciones existentes entre dichas variables. Las ecuaciones se desarrollan más adelante.

²⁵ Total Revenue (TR)

²⁶ Total Cost (TC)

Figura 22. Curvas de relaciones de biomasa, captura, esfuerzo y costos



Fuente: Gordon, Scott H. (1954)

El panel (a) muestra la población de peces como una simple función negativa de los desembarques, donde la captura “h” implica una población de equilibrio en el ecosistema biológico “x”. Supongamos que esta población de equilibrio “h” está representada por la curva de nivel de población X_3 del panel (b); entonces, dado X_3 , “e” es el esfuerzo requerido para capturar “h”. Esta cantidad de esfuerzo involucra un costo total “c”, como se muestra en el panel (c).

El panel (b) muestra un conjunto de funciones de desembarques, donde cada curva de nivel de población es una función de producción para un nivel dado de población. Para cada nivel de población dado, un mayor esfuerzo de pesca resultará en mayores desembarques.

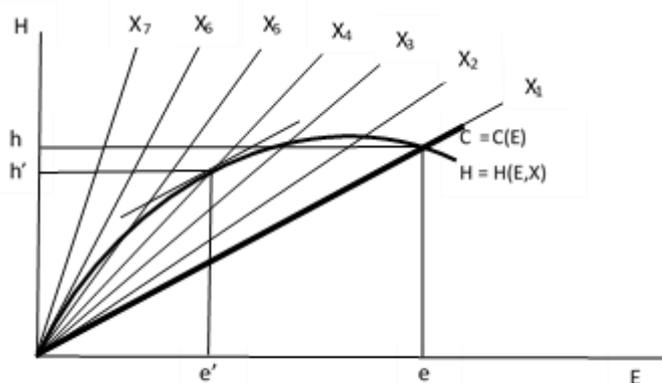
La linealidad de las curvas de nivel indica que la ley de rendimientos decrecientes no opera en este caso, ni se asume que los efectos de los

precios inducidos por los desembarques afecten el valor de los desembarques representados en el eje vertical. Estos supuestos se hacen con el fin de producir una solución más simple; aunque cada uno es razonable en sí mismo. El supuesto de un precio fijo del producto, es razonable, ya que el análisis se hace sobre un caladero, no sobre el total de la pesquería. En el panel (c), se asume los precios fijos de los factores –esfuerzo de pesca- lo cual es razonable también en el supuesto de que se está analizando una pequeña parte de toda la pesquería.

Cuando el ingreso es igual al costo, se alcanza el completo equilibrio bionómico [en lo que toca al primer problema]. Pero, la igualdad de equilibrio de desembarques y costo debe ser una posición de estabilidad. La igualdad es una condición necesaria, aunque no suficiente en sí misma para la estabilidad en el ecosistema. Si las funciones esfuerzo-costo y esfuerzo-desembarques fueran ambas lineales, no podría haber equilibrio estable. El equilibrio estable requiere que el costo o la función de desembarques sean no lineales. Esta condición se cumple asumiendo que la población se reduce por la pesca. El equilibrio, es por tanto, como se muestra en la Figura 21, panel (a), donde E_{∞} representa una intensidad de pesca completamente en equilibrio estable.

Ahora toca considerar el segundo problema de explotación de un caladero bajo control unificado, en el que, la condición de equilibrio es la maximización del rendimiento financiero neto [renta del recurso] que se muestra en la Figura 23. En el sistema de interrelaciones se considera que los cambios poblaciones afectan y, a su vez, se ven afectados por la cantidad de pescado desembarcado. La curva H es una función de desembarques, la cual explica el hecho de que los desembarques más grandes reducen la población, y éste es el por qué tiene una pendiente que disminuye constantemente. Se considera que la función de los desembarques se mueve progresivamente a niveles de población más bajos X_7 , X_6 , X_5 , etc., a medida que aumenta la magnitud de los desembarques totales. Si bien, cada curva de nivel poblacional representa muchas combinaciones hipotéticas de E, H y X, sólo una de estas combinaciones es compatible en este sistema de interrelaciones. Esta combinación es el punto de cualquier curva de nivel poblacional donde ésta se cruza con la función de desembarque H. Por lo tanto, puede considerarse la curva H como un trazado de una serie de combinaciones de E, H y X que son compatibles entre sí en el sistema.

Figura 23. Relaciones entre captura, esfuerzo, costos y niveles de población



Fuente: Gordon, Scott H. (1954)

La función costo total, puede dibujarse como se muestra en la Figura 23, con el costo total C , medido en términos de desembarques que representa el eje vertical. Esta es una función lineal del esfuerzo. La intensidad óptima de pesca, es aquella que maximiza $H - C$ [medidos en términos monetarios]. Esta es la solución monopólica; pero ya que se está considerando sólo un único caladero, no se introducen efectos en los precios, y el óptimo social coincide con los ingresos máximos del monopolio. En este caso, se maximiza el rendimiento de un recurso natural, no una posición privilegiada, como en la teoría estándar del monopolio. La renta aquí es un excedente social producido por el recurso, no por la escasez artificial como lo es el beneficio o renta del monopolio.

Si la intensidad óptima de pesca es aquella que maximiza $H - C$, entonces esta es la posición donde la pendiente de la función de

desembarques es igual a la pendiente de la función de costo. Así la intensidad óptima de pesca es el esfuerzo de pesca e' . Esto generará h' desembarques y la población de peces estará en continuo equilibrio estable al nivel indicado por X_4 en la Figura 23.

El equilibrio bionómico que resulta de una pesca competitiva no controlada, donde la renta se disipa [renta cero], se genera en el punto donde $H = C$, esto es, en “e” de esfuerzo y “h” de desembarques y en un nivel de población estable de X_1 . Como puede verse, el equilibrio no controlado significa, un mayor gasto de esfuerzo, mayores desembarques y una población continua de peces más baja que el equilibrio óptimo.

Schaefer (1957), integró en uno solo, el modelo biológico de Schaefer (1954) y el modelo económico de Gordon (1954), conocido ampliamente como modelo económico estático de Gordon-Schaefer, en el cual, la renta económica total de la pesquería está dada por la siguiente ecuación:

$$\pi(E) = TR(E) - TC(E) \quad [2.14]$$

donde TR son los ingresos totales y TC , los costos totales, ambos en función del esfuerzo de pesca.

El ingreso total será calculado usando la fórmula:

$$TR = p.H \quad [2.15]$$

donde p denota el precio promedio por tonelada de pescado.

La relación entre costo y esfuerzo se asume lineal, entonces el esfuerzo total del esfuerzo de pesca será definido como:

$$TC = c.E \quad [2.16]$$

donde c denota el costo unitario del esfuerzo que incluye el costo de oportunidad del trabajo y del capital y E la unidad de esfuerzo.

El rendimiento máximo económico (MEY²⁷) se obtiene en el nivel de esfuerzo que maximiza el beneficio al tomar la derivada de la ecuación (2.14) e igualando a cero la renta económica marginal: $\pi'(E) = 0$, lo que determina que: $\frac{dTR}{dE} = \frac{dTC}{dE}$; lo cual significa que el máximo beneficio se alcanza cuando el ingreso marginal MR es igual al costo marginal MC .

Para desarrollar las derivadas que expresan el ingreso marginal y el costo marginal, previamente hay que igualar: $TR = TC$ por sus

²⁷ Maximum Economic Yield (MEY)

ecuaciones equivalentes: (2.15) y (2.16), respectivamente, pero en el caso de (2.15), se sustituye la captura H por su equivalente (2.8), quedando la ecuación como sigue:

$$p(aE - bE^2) = c.E \quad [2.17]$$

tomando la derivada con respecto a E en ambos lados de la ecuación (2.17), se obtiene el esfuerzo en el rendimiento máximo económico:

$$E_{MEY} = \frac{\left(a - \frac{c}{p}\right)}{2b} \quad [2.18]$$

La biomasa en el rendimiento máximo económico (X_{MEY}), se obtiene reemplazando (2.18) en la ecuación (2.12):

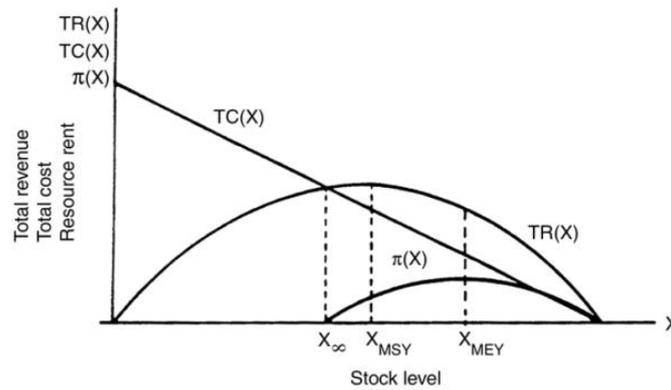
$$X_{MEY} = \frac{K}{2} + \frac{c}{2pq} \quad [2.19]$$

O, lo que es lo mismo (Figura 24)²⁸:

$$X_{MEY} = X_{MSY} + \frac{1}{2}X_{\infty} \quad [2.20]$$

²⁸ X_{∞} corresponde al nivel de biomasa en un régimen de libre acceso, cuando el ingreso total es igual al costo total, es decir, cuando no hay renta económica.

Figura 24. Curvas de ingreso total, costo total y renta del recurso, según modelo Gordon-Schaefer



NOTA: Ingreso Total (TR), Costo Total (TC) y Renta del Recurso [$\pi(X)$] como funciones de la biomasa.
Fuente: Flaaten, O. (2014)

La captura en el rendimiento máximo económico H_{MEY} se obtiene reemplazando (2.18) en (2.8):

$$H_{MEY} = \frac{a^2 p^2 - c^2}{4bp^2} \quad [2.21]$$

El modelo bioeconómico estático de Gordon-Schaefer, aporta cuatro aspectos importantes para la gestión pesquera desde el punto de vista de la eficiencia pesquera o rendimiento máximo económico: i) determina la renta económica que puede aportar un determinado recurso; ii) demuestra que la renta económica es más alta no en el esfuerzo pesquero de rendimiento máximo sostenible, E_{MSY} , sino en un nivel menor de esfuerzo pesquero, donde el ingreso marginal es igual al costo marginal (Figura 21, panel b), es decir, cuando se alcanza el máximo

beneficio neto; iii) permite determinar el nivel de biomasa en el rendimiento máximo económico, X_{MEY} y iv) determina el nivel de captura en el rendimiento máximo económico. Todo lo cual, favorece el establecimiento de una política pesquera eficiente, tanto desde el punto de vista económico como biológico.

No obstante, el modelo bioeconómico dinámico de Clark y Munro (1975), que se detalla a continuación, permite determinar dichos parámetros en un nivel óptimo, a partir de la maximización de los beneficios en tiempo continuo, que es, precisamente, el tipo de modelo que recomienda Galarza y Collado (2013) para determinar la renta del recurso y estimar el derecho de pesca por la extracción de anchoveta.

2.2.3 Modelo bioeconómico dinámico de Clark-Munro.

El modelo bioeconómico dinámico de Clark y Munro (1975), es una extensión del modelo estático de Gordon-Schaefer (Gordon, 1954 y Schaefer, 1957) y pretende resolver, en general, dos problemas concernientes a la economía pesquera: i) el enfoque óptimo del stock (biomasa) de equilibrio, es decir, la política de “inversión” óptima; y, ii) los problemas que surgen a partir de la relajación del supuesto altamente restrictivo de autonomía, es decir, el supuesto, según el cual, los parámetros son independientes del tiempo.

Según Flaaten (2014), los canadienses Colin W. Clark (matemático) y Gordon R. Munro (economista), publicaron en 1975, uno de los artículos de economía pesquera más citados, que condujo a la conocida “regla de inversión” (δ).

Clark y Munro (1975), emplean un enfoque de la teoría moderna del capital y técnicas de la teoría del control óptimo aplicada a la economía pesquera. El fundamento de su enfoque está en ver a la población de peces o biomasa como un stock de capital, la cual –al igual que el capital hecho por el hombre o capital “convencional”- es capaz de generar un flujo de consumo (captura) sostenible a través del tiempo. Y, tal como ocurre con el capital “convencional”, la decisión de consumo de hoy – por su impacto en el nivel de stock (biomasa)- tendrá implicancias en las opciones futuras de consumo (captura). Así, el problema de gestión del recurso, se convierte en uno de selección de un flujo de consumo (captura) óptimo, a través del tiempo, el cual a la vez, implica seleccionar un nivel de biomasa óptima como función del tiempo.

Tomando como base la ecuación de Schaefer (2.1), Clark y Munro (1975) asumen que la captura $h(t)$, es igual a la tasa de consumo y dx/dt , es la tasa de inversión (positiva o negativa) en el stock (biomasa), la cual corresponde a la diferencia entre el crecimiento natural del stock y la captura.

Los autores sostienen que el problema básico de la sociedad en la gestión del recurso, es determinar el consumo (captura) en el curso del tiempo con el objeto de maximizar la utilidad social (bienestar). A partir de la ecuación (2.1), es claro que esto equivale a determinar el nivel de biomasa óptima en el curso del tiempo. O, lo que es lo mismo, afirmar que, en esencia, se requiere seleccionar un nivel óptimo de stock (biomasa) y flujo de consumo (captura) en el curso del tiempo.

En el marco de la teoría del control óptimo, el modelo de Clark y Munro (1975), considera la ecuación (2.1) como *ecuación de estado*. Y, dentro de dicha ecuación, $h(t)$, se convierte en *variable de control*. Sólo queda, entonces, definir la *función objetivo*, dado que estos tres elementos constituyen la base de la teoría del control óptimo, una extensión del cálculo de variaciones estándar que hizo posible el análisis de temas económicos dinámicos de una manera más completa. La teoría del control fue aplicada al análisis del crecimiento económico, inversión de capital, gestión de recursos naturales y otros temas que incluían la evaluación de los ingresos a través del tiempo (Flaaten, 2014).

El objetivo es maximizar el valor presente (PV) de la renta del recurso derivada de la captura. Dado los supuestos de precio constante y costos lineales en la captura, la *función objetivo* puede expresarse como:

$$PV_{\pi} = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} \cdot \pi(t) dt \quad [2.22]$$

donde: $e^{-\delta t}$ es el factor de descuento en tiempo instantáneo o continuo y $\pi(t)$ la renta del recurso o beneficio de la pesquería, expresada como sigue:

$$\pi(t) = ph(t) - cE(t) \quad [2.23]$$

despejando E de la ecuación (2.3) y reemplazando en (2.23), se tiene:

$$\pi(t) = ph(t) - c \frac{h(t)}{qX(t)} \quad [2.24]$$

factorizando $h(t)$:²⁹

$$\pi(t) = [p - c(X)]h(t) \quad [2.25]$$

reemplazando la ecuación (2.23) en la ecuación (2.22), se tiene:

$$PV_{\pi} = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} [p - c(X)]h(t) dt \quad [2.26]$$

²⁹ $c(X) = c/qX(t)$, se convierte en costo unitario de la captura. Esto demuestra que el costo unitario de la captura decrece con un incremento del tamaño del stock, Un stock grande genera ahorro en costos.

Dado que la *función objetivo* es lineal en la *variable de control* $h(t)$, entonces se está frente a un problema de control óptimo lineal. El problema es determinar el control óptimo $h(t) = h^*(t)$, $t \geq 0$, y la correspondiente población óptima, $x(t) = x^*(t)$, $t \geq 0$, sujeto a la *ecuación de estado* (2.1) y a las *restricciones de control*: $0 \leq h(t) \leq h_{m\acute{a}x}$; tal que, la *función objetivo* (2.26)³⁰ asume el máximo valor. El problema se resuelve por la vía del Principio del Máximo de Pontryagin, que aplica ecuaciones Hamiltonianas.

En consecuencia, según Clark y Munro (1975), la Hamiltoniana³¹ del problema está dada por:

$$H = e^{-\delta t}[\{p - c(x)\}h(t) + \psi(t)\{F(x) - h(t)\}] \quad [2.27]$$

donde $\psi(t)$, es la *variable adjunta o variable de coestado en valor corriente*

Multiplicando y factorizando $h(t)$, se tiene la ecuación:

$$H = e^{-\delta t}[p - c(x) - \psi(t)]h(t) + e^{-\delta t}\psi(t)F(x)$$

$$H = \sigma(t)h(t) + e^{-\delta t}\psi(t)F(x) \quad [2.28]$$

³⁰ Es la ecuación (2.22), arreglada con respecto a sus variables de la renta del recurso o beneficio de la pesquería.

³¹ En el Anexo B se explica el desarrollo de la Hamiltoniana de Clark y Munro (1975) y su correspondencia con la Hamiltoniana del Principio del Máximo de Pontryagin, en la cual fundamenta su teoría.

donde, $\sigma(t)$, se denomina función de cambio y sustituye en la ecuación previa a:

$$\sigma(t) = e^{-\delta t} [p - c(x) - \psi(t)] \quad [2.29]$$

Para resolver el problema de control óptimo, se sigue el procedimiento descrito en el Anexo B de esta tesis, según el cual, primero, se determina la llamada solución singular x^* , tomando la derivada de la ecuación (2.28) y luego cuando $\sigma(t) \equiv 0$, se obtiene la siguiente ecuación:

$$(1/\delta)[(d/dx^*) \{(p - c(x^*))F(x^*)\}] = p - c(x^*) \quad [2.30]$$

Esta ecuación no involucra el tiempo t , explícitamente. Por tanto, la solución X^* es constante y constituye una *solución en estado de equilibrio*.

Según Clark y Munro (1975), la ecuación (2.30), puede interpretarse sin dificultad. El lado izquierdo, es el valor presente de la renta marginal sostenible del recurso, $(d/dx^*) \{(p - c(x^*))F(x^*)\}$, proporcionado por el incremento marginal del stock. El lado derecho es la renta marginal del recurso, disfrutada a partir de la captura *actual*.

Por una parte, el lado izquierdo de la ecuación (2.30) puede interpretarse como una expresión del costo marginal del usuario, el cual muestra el costo presente de la captura del incremento marginal del stock, un costo que tiene que ser ponderado contra la ganancia marginal de la captura actual. Y, por otra parte, los lados, izquierdo y derecho de la ecuación, pueden verse como el precio de demanda imputado y el precio de oferta, respectivamente, del “activo” de capital en el tiempo t .

Una forma más transparente de (2.30) se obtiene llevando a cabo la diferenciación en el lado izquierdo y luego multiplicando por $\delta/(p - c(x^*))$:

$$F'(x^*) - [c'(x^*)F(x^*)/(p - c(x^*))] = \delta \quad [2.31]$$

La ecuación [2.31] indica que el stock óptimo x^* es aquel cuya tasa de interés es igual a la tasa social de descuento δ . Es también una ecuación implícita para la población x^* . Se asume que dicha ecuación tiene una *solución única* $x = x^*$, denominada *nivel de población óptima (equilibrio)*.

Asimismo, la ecuación [2.31] “es la ecuación de la teoría del capital, que responde a la cuestión del nivel de stock óptimo del capital natural, x^* , y, como tal, es una versión de la Regla de Oro Modificada de la

Acumulación de Capital de la teoría básica del capital (Clark y Munro, 1975). Dice simplemente, invierta en x , hasta el punto en que la “tasa de interés propia” (o tasa interna de retorno) de la inversión marginal en x sea igual a la tasa social de descuento” (Clark y Munro, 2017).

Según Clark y Munro (1975), la ecuación (2.31) es reconocible desde la teoría moderna del capital como una *ecuación de equilibrio de la regla de oro modificada*, siendo modificada tanto por la tasa de descuento, como por lo que se denomina efecto marginal del stock. El lado izquierdo de la ecuación, es la “tasa de interés del propietario”, esto es, la renta marginal instantánea sostenible del recurso dividida entre el precio de oferta del activo. Entonces, la ecuación (2.31), establece simplemente que el stock óptimo es aquel en el cual la tasa de interés del propietario del stock es igual a la tasa social de descuento. La tasa de interés del propietario consiste en dos componentes: $F'(x^*)$, el producto físico marginal instantáneo del capital, y $-c'(x^*)F(x^*)/(p - c(x^*))$, el efecto marginal del stock.

El efecto marginal del stock es análogo al “efecto riqueza” que se encuentra en la teoría moderna del capital. El “efecto riqueza”, significa que la función objetivo es sensible, no sólo al flujo de consumo, sino también al stock de capital. En el modelo pesquero, la función objetivo es sensible al nivel de stock, ya que el tamaño del stock influye en los costos de captura. El término “efecto riqueza”, es inapropiado en este

contexto, por tanto, lo reemplazamos por el “efecto stock” (Clark y Munro, 1975).

El numerador del efecto stock marginal en la ecuación (2.31), es simplemente la derivada parcial de los costos totales de captura con respecto a x^* . El denominador indica que la ganancia/pérdida marginal del costo de captura, tiene que ser ajustado por el precio de oferta del capital. *Ceteris paribus*, cuanto mayor sea el precio de oferta, menor será el efecto marginal del stock (en términos absolutos).

Dos puntos implicados en la ecuación de la regla de oro modificada, requiere de énfasis. El primero, es que en este modelo lineal, los costos de captura influyen en la optimización del nivel de stock *solamente* a través del “efecto stock”. Si los costos de captura son insensibles al tamaño de la biomasa se vuelven irrelevantes al proceso de optimización, siempre que $c(K) < p$. El segundo punto, es que los dos correctivos en (2.31) están tirando en la dirección opuesta. Uno no puede determinar a priori si el administrador social racional se ocuparía o no de la sobrepesca biológica. Esto dependerá en primera instancia del tamaño relativo de los dos correctivos.

Según Clark (1990), la solución de la ecuación (2.31), conduce a una función cuadrática donde el nivel de stock óptimo x^* , es una raíz

cuadrada positiva y depende de los parámetros c, p, q, r, k y δ , conforme a la siguiente relación:

$$x^* = \frac{k}{4} \left[\left(\frac{c}{pqk} + 1 - \frac{\delta}{r} \right) + \sqrt{\left(\frac{c}{pqk} + 1 - \frac{\delta}{r} \right)^2 + \frac{8c\delta}{pqkr}} \right] \quad [2.32]$$

El rendimiento óptimo sostenible (OSY³²) y el nivel de esfuerzo óptimo sostenible E_{OSY} ³³ (, para el precio del tiempo o tasa de descuento especificada δ , se obtiene con las siguientes expresiones, respectivamente:

$$OSY = r \cdot x^* \left(1 - \frac{x^*}{K} \right) \quad [2.33]$$

$$E_{OSY} = \frac{OSY}{q \cdot x^*} \quad [2.34]$$

Acompaña al modelo de Clark-Munro la ecuación de la teoría de la inversión (2.35), que prescribe la tasa óptima de inversión/desinversión en x . Indica que, si $x(t) < x^*$, la tasa óptima de inversión positiva en el recurso, es la tasa *máxima*, si $x(t) > x^*$, la tasa óptima de desinversión, es la tasa *máxima*.

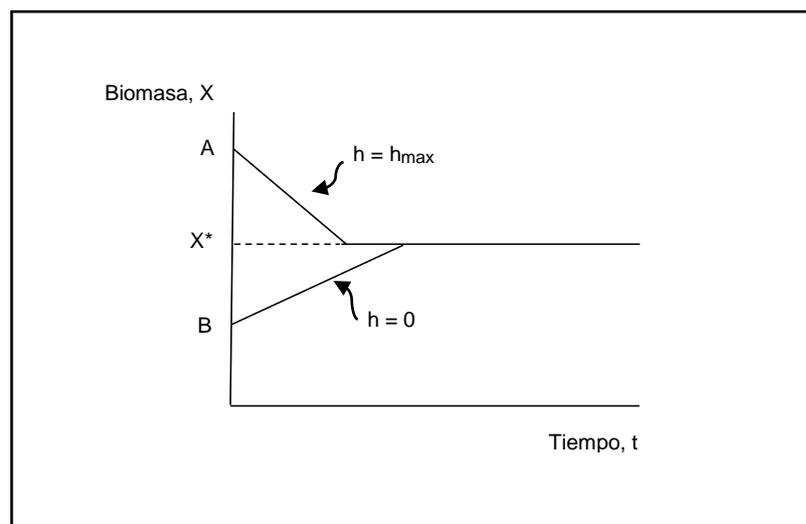
³² Optimal Sustainable Yield (OSY). En algún momento se usará la notación H^* (captura óptima)

³³ En algún momento se usará la notación E^* (Esfuerzo óptimo)

$$h^*(t) \begin{cases} h_{max}, & \text{If } x > x^* \\ F(x^*), & \text{If } x = x^* \\ 0, & \text{If } x < x^* \end{cases} \quad [2.35]$$

La Figura 25, muestra la representación de la ecuación (2.35):

Figura 25. Biomasa y captura óptimas, según modelo Clark-Munro



Fuente: Clark (1990)

El modelo de optimización de Clark-Munro, sugiere invertir en el recurso en caso que la biomasa óptima estimada resulte superior a la biomasa actual, a fin de alcanzar, tan rápido como sea posible, el nivel poblacional óptimo. En este caso, invertir en el recurso, de acuerdo a Scott (1955), significa cerrar la zona de pesca completamente y suspender temporalmente la actividad pesquera ($h = 0$), a fin de permitir la reconstrucción del recurso. Al respecto, Clark y Munro (2017) señalan que si bien el programa de inversión prescrito por la ecuación (2.35), en

el caso de los recursos pesqueros que deben ser reconstruidos, es draconiano, debe declararse y mantenerse hasta que se alcance la meta X^* , aun si esto toma décadas; y añaden que si se hacen concesiones a la política draconiana, tendrían que hacerse en términos políticos y sociales y no en términos económicos. Pero, también agregan que el programa draconiano de inversión en el recurso, es válido en términos económicos sólo bajo condiciones muy especiales, como por ejemplo, que tanto el capital producido como el capital humano sean perfectamente maleables, es decir, que ambos capitales puedan ser movidos con facilidad y sin costo significativo dentro o fuera de la pesquería. Si el capital producido es menos que perfectamente maleable, no es óptimo, en términos reales, declarar una moratoria completa de la captura para los recursos pesqueros a ser reconstruidos, excepto en casos de extrema sobreexplotación y sólo por un período limitado (Clark, *et al.*, 1979)

El estudio del Banco Mundial/FAO (2009), *The Sunken Billions*, fue acompañado por un número de casos de estudio, varios de los cuales abordaron la cuestión de la reconstrucción de poblaciones de peces sobreexplotados. Estos estudios sostienen que el programa de inversión en el recurso que maximizaría el valor presente del flujo de retornos económicos netos futuros de los recursos, es el establecido por la ecuación (2.35), pero que, las presiones políticas y sociales pueden forzar la implementación de un programa “razonable” de restauración

de recursos, en el cual no hay una moratoria completa de la captura. Munro (2010), sostiene que lo más lamentable es que la prescripción de los economistas para un programa económicamente sano de reconstrucción del stock de un recurso, tendrá que, probablemente, modificarse ante las presiones políticas/sociales. Larkin, *et al.* (2011), en su estudio sobre la aplicación de modelos bioeconómicos a la reconstrucción de pesquerías realizadas por la OECD, cita varios documentos de política que insisten en la necesidad del programa de reconstrucción *puro y duro*.

De acuerdo a lo descrito, el modelo bioeconómico dinámico de Clark y Munro (1975), es una extensión del modelo bioeconómico estático de Gordon-Schaefer, que permite seleccionar el nivel de biomasa óptima, en función del tiempo, que genera un rendimiento óptimo sostenible, y favorece, a través del tiempo, la gestión de una pesquería eficiente desde el punto de vista económico y biológico. Dicho modelo permitiría, asimismo, la determinación de una renta pesquera sostenible a través del tiempo, la que a su vez, se constituiría en la base del cálculo de los derechos de pesca del recurso anchoveta según el objetivo de la presente tesis.

2.2.4 La pesquería de acceso abierto

La pesquería de acceso abierto es aquella que no cuenta con regulación pesquera. La mayor parte de las pesquerías del mundo son de acceso abierto. El World Bank/FAO (2017), sostiene que las pesquerías de acceso directo generan el descenso continuo de la riqueza mundial de peces, operaciones de captura cada vez más ineficientes y el crecimiento de la pobreza en las comunidades que dependen de la pesca. La reforma más crítica es eliminar efectivamente la situación de acceso abierto de muchas pesquerías de captura marina y establecer sistemas seguros de tenencia marina y derechos de propiedad. La inacción respecto a una reforma, sostienen, permitiría incrementar los riesgos de colapso de las poblaciones de peces, acrecentar la presión política exigiendo subvenciones y el mantenimiento de un sector que, en lugar de ser un contribuyente neto a la riqueza mundial, representa una pérdida cada vez mayor para la sociedad.

Gordon (1954), pionero de la economía pesquera, señala que una pesquería de acceso abierto no genera renta del recurso, ya que se llega a una situación en la que los ingresos totales son iguales a los costos totales y, desde el análisis marginal, el ingreso promedio es igual al costo marginal, tal como se muestra en la Figura 21, panel b. En este punto se alcanza el denominado “equilibrio bionómico de acceso abierto”, donde E_{∞} representa una intensidad de pesca completamente en equilibrio estable.

El esfuerzo de pesca en el nivel de equilibrio bionómico bajo acceso abierto (E_{∞}), se puede hallar desde $TR = CT$ o desde $MC = AR$. Usando la primera relación y aplicando las ecuaciones (2.7) y (2.8), se obtienen (a1) y (b1), respectivamente, las cuales son equivalentes:

<i>(a1)</i>	<i>(b1)</i>
$E_{\infty} = \frac{r}{q} \left[1 - \frac{c}{pqK} \right]$	$E_{\infty} = \frac{\left(a - \frac{c}{p} \right)}{b}$

Así, el esfuerzo de pesca en el nivel de equilibrio de acceso abierto, depende tanto de parámetros biológicos como económicos. Es proporcional con la tasa intrínseca de crecimiento r , crece con el precio del pescado y la capacidad de carga, y decrece con el costo del esfuerzo. En otras palabras, las pesquerías basadas en recursos con alta productividad biológica, esto es, con altos valores de r y K , pueden sostener un gran esfuerzo pesquero bajo una situación de acceso abierto (Flaaten, 2014).

Asimismo, según Flaaten (2014), la captura y la biomasa en el nivel de equilibrio de acceso abierto, equivalen a: $H_{\infty} = c \cdot E_{\infty} / p$ y $X_{\infty} = c / pq$, respectivamente.

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Bioeconomía pesquera

Como su nombre lo indica, la teoría bioeconómica en la pesquería combina los aspectos biológicos y económicos de una pesquería para explicar las dinámicas de stock, captura y esfuerzo en diferentes regímenes, y brinda información sobre la gestión óptima del stock. Esto se logra especificando una función objetivo que generalmente se basa en el valor de la captura a través del espacio y el tiempo, y las restricciones que representan las características biológicas del stock y los requisitos del proceso de gestión. En consecuencia, el nivel óptimo de esfuerzo está determinado no solo por la dinámica biológica del stock, sino también por la estructura de costos de la pesquería y el valor de la captura. Este proceso de solución se distingue del análisis financiero porque incorpora explícitamente los costos de oportunidad de la captura, generalmente en forma de un flujo en el tiempo de beneficios netos descontados que representan un patrón específico de capturas y niveles de stock (Larkin, S. *et al.*, 2011).

Flaaten (2014), señala que la bioeconomía pesquera, estudia la economía pesquera y la gestión de las pesquerías desde una perspectiva analítica. La teoría de la economía pesquera es usada, en parte, como sinónimo de teoría bioeconómica y, en parte, para algo más amplio, que incluye la aplicación de la teoría microeconómica en aspectos de la industria de la pesca. Una característica distintiva de la

bioeconomía pesquera es que tiene como objetivo analizar y modelar³⁴ las principales interacciones entre los pescadores (agentes económicos) y las poblaciones de peces (los recursos que podrían hacer sostenibles las capturas), así también, estudiar cómo dichas interacciones se ven afectadas por las decisiones de los administradores de los recursos.

2.3.2 Captación de la renta del recurso

El importe de la renta del recurso pesquero no es un impuesto, sino el pago de un aporte al proceso de producción del pescado comercializable. Dado que, la captura de la renta del recurso se dirige a los rendimientos obtenidos por encima de lo necesario para suministrar los insumos, el trabajo y el capital, los pescadores obtendrían aún rentabilidades normales (Campbell y Haynes, 1990).

En la actualidad, las rentas en la mayoría de las pesquerías existentes son bajas o inexistentes, debido a que los derechos de propiedad de los pescadores, en el marco de los esquemas de gestión basados en los insumos, están mal definidos, con el resultado que los pescadores compiten aumentando su esfuerzo pesquero. El costo total de la pesca aumenta y la renta se pierde. Sin embargo, existen pruebas que sugieren que, potencialmente, si el esfuerzo de pesca se reduce

³⁴ Generar modelos matemáticos

mediante una gestión eficaz, los niveles de renta podrían ser sustanciales. Estudios han demostrado que los niveles históricos de renta podrían haber estado entre 10 y 60 por ciento de los ingresos brutos de la pesca (Campbell y Haynes, 1990).

Campbell y Haynes (1990), refieren que el tamaño potencial de la renta se encuentra afectado por las fluctuaciones en las condiciones del mercado. Los niveles de renta son más sensibles a los cambios en los precios del pescado que a los cambios en los costos de los insumos. En una pesquería que está plenamente explotada y que no puede suministrar más pescado, las variaciones en el precio del pescado tendrán un efecto sustancial en los niveles de la renta.

Métodos de captación de la renta del recurso

Grafton (1995), realiza un estudio comparativo de los efectos simulados de cuatro métodos para la captura de la renta en una pesquería particular, gestionada por cuotas individuales transferibles (ITQ). Los efectos de la captura de la renta se examinan en simulaciones basadas en beneficios estimados en 1990 con respecto a las distorsiones que los métodos generan en la pesquería, las cargas relativas impuestas a los pescadores y la distribución de los beneficios. Estos métodos son: i) pago de derecho de cuota, ii) cargo a los beneficios, iii) cargo fijo y vi) cargo *ad valorem* (*royalty*).

i. Pago de derecho de cuota

El pago de derecho de cuota es un método natural para capturar la renta de una pesquería administrada por cuotas. La renta captada del pescador se determina como una proporción del precio de la cuota multiplicado por el número de cuotas que tiene el pescador en un mercado competitivo a una tasa de interés dada.

La aplicación de un pago de derecho de cuota, es un método *ex ante* en el sentido de que los derechos se establecen antes de que se conozcan las rentas reales. En tal sentido, la captura de la renta basada en este método podría generar dificultades a las compañías para pagar más que la renta esperada de su cuota, si los derechos exceden a las rentas en las pesquerías.

ii. Cargo a los beneficios

El cargo de beneficio, es un método común de gravar a las empresas. Es un método *ex post* que captura las rentas como una proporción fija de los beneficios del pescador.

En este caso se depende, en la mayoría de los casos, de la industria para disponer de la información contable.

iii. Cargo fijo

El cargo fijo es un derecho fijo y uniforme que se determina dividiendo la renta total deseada que se va a capturar, por el número total de cuotas que tiene el pescador.

Este método es simple de aplicar una vez que se determina el nivel deseado de captura de la renta. Sin embargo, no se puede suponer que todos los pescadores tengan asignaciones de cuotas idénticas ni enfrenten costos idénticos. Además, y a pesar de su aparente sencillez, un importe único de la renta no permite modificar los cargos con variaciones en la renta del recurso. La extracción de las rentas efectuadas en esta forma impone, por lo tanto, una carga más pesada a los pescadores con la caída de la cuota y los beneficios

iv. Cargo *ad valorem* (royalty)

El cargo *ad valorem* captura la renta como un porcentaje del precio del pescado desembarcado por el número de cuotas individuales que se posea.

Este método de captura de la renta también parece ser flexible a las variaciones en el valor de la renta debido a las fluctuaciones en el precio

del producto. Tal flexibilidad podría ser mejorada si el cargo es escalonado, de tal manera que a un precio de producto más alto, se cobra una tarifa más alta y viceversa. Este mecanismo reduce la posibilidad de cobrar renta cuando los pescadores sufren pérdidas.

2.3.3 Derechos de pesca

Galarza y Collado (2013), mencionan que los derechos de pesca han sido conceptualizados de diversas maneras en las pesquerías del mundo. En algunos países, el derecho de pesca es un impuesto o corresponde a una licencia de pesca, en otros, el concepto de base es la renta del recurso. En este sentido, añaden, la definición y cálculo de la renta pesquera constituye un ejercicio interesante, aunque no sencillo, que permitirá reconocer el pago que el Estado debería recibir por el uso de un recurso natural renovable.

Asimismo, indican que, la regulación pesquera peruana estipula un cobro de un derecho de pesca como una retribución por el uso de un recurso que es propiedad de la nación. Este derecho de pesca se cobra a cada armador en base a un porcentaje del precio de la harina de pescado por las toneladas desembarcadas.

2.3.4 Economía pesquera

“La economía pesquera” es un campo de investigación económica que se ha desarrollado desde mediados de los años cincuenta. El núcleo de la investigación en su etapa inicial fue encontrar las condiciones para la explotación óptima de las poblaciones de peces a lo largo del tiempo. El propósito es informar a los formuladores de políticas sobre los niveles de captura que maximizan el valor presente neto de la población de peces. Al mismo tiempo, se desarrolló la idea fundamental de que, en ausencia de una regulación efectiva o control colectivo sobre el comportamiento de captura, las poblaciones de peces tienden a estar sobreexplotadas desde un punto de vista tanto biológico como económico. En muchos casos, el stock de peces es un recurso de uso común con falta de derechos de propiedad bien definidos sobre el recurso in situ. En la pesquería de acceso abierto, en la que no hay derechos de propiedad exigibles, la competencia dará lugar a una situación de renta cero. Por lo tanto, el desarrollo de la teoría de la regulación y su aplicación ha sido un tema central de investigación. (Dale Squires, N. V., 2016).

Flaaten (2014), señala que en la economía pesquera, el enfoque a menudo se centra en los efectos agregados de las acciones de todos los pescadores, a fin de permitir la comparación, por ejemplo, de la captura total de todos los pescadores y el crecimiento natural de las poblaciones de peces.

También menciona que, la distinción entre los conceptos de ingreso promedio y marginal es muy importante en la economía pesquera. El ingreso promedio es el ingreso total dividido entre el esfuerzo total, mientras que el ingreso marginal muestra el cambio en el ingreso total como resultado de un pequeño cambio en el esfuerzo. Del mismo modo, anota que, la distinción entre el costo (promedio y marginal) por unidad de esfuerzo, por una parte, y el costo por unidad de captura, por otra, es crucial para la comprensión de la economía pesquera.

La relación entre los costos por unidad de captura y los costos de los insumos y cómo varía la captura con el nivel del stock y su capturabilidad, también forma parte del campo de investigación de la economía pesquera. “Se considera que una empresa ordinaria tiene el control de su proceso de producción total, incluidos todos los insumos necesarios y los costos de éstos. Sin embargo, una empresa pesquera no tiene el control de su insumo más importante, el stock de peces. Esto definitivamente no es un insumo como el combustible y el cebo que se pueden comprar en el mercado de insumos. El pescador conoce el costo por unidad de esfuerzo, por ejemplo, por hora de arrastre, y anticipamos que también sabe cómo varía la captura con el nivel de stock. Por lo tanto, el costo por unidad de captura dependerá tanto de los costos de los insumos como del nivel de stock y su capturabilidad” (Flaaten, 2014).

2.3.5 Esfuerzo de pesca, captura por unidad de esfuerzo y coeficiente de capturabilidad

Esfuerzo de pesca

FAO (2001), define esfuerzo de pesca como: 1) La cantidad de artes de pesca de un tipo concreto utilizadas en los caladeros durante una unidad de tiempo dada, por ejemplo, horas de arrastre por día, número de anzuelos lanzados por día o número de caladas de un arte de playa por día; 2) Cantidad general de actividad pesquera (normalmente por unidad de tiempo) expresada en unidades como: días-embarcación en el caladero, número de nasas o redes de arrastre, o (longitud de almadraba x tiempo de inmersión), etc. El esfuerzo puede ser *nominal*, que refleja el total simple de las unidades de esfuerzo ejercidas sobre una población en un período de tiempo dado. También puede ser *normal* o *efectivo* cuando se corrige para tener en cuenta las diferencias entre la capacidad y la eficiencia pesquera y asegurar la proporcionalidad directa con la mortalidad debida a la pesca. Normalmente se relaciona con una pesquería y un arte específico. Si se considera más de un arte, se requiere una normalización en relación con una de ellas. Para los biólogos, una buena medida del esfuerzo de pesca debería ser proporcional a la mortalidad debida a la pesca. Para los economistas, debería ser proporcional al costo de la pesca.

Sparre y Venema (1998), sostienen que, si bien es cierto, el esfuerzo de pesca se define como proporcional a la mortalidad por pesca, para que esta definición tenga aplicación práctica, se tendrá que elegir una medida del esfuerzo que se considere esté realmente relacionada con la mortalidad por pesca o, mejor dicho, con la potencia de pesca. Para ello, hay muchas opciones posibles. Así por ejemplo, para una pesquería de arrastre se puede pensar en el número de buques en operación, el número de días que efectúan arrastres, el número de embarcaciones de arrastre estándar (teniendo en cuenta las características de las embarcaciones), el número de días arrastrero-estándar, etc.

“En una pesquería en que se utilizan líneas de mano, puede ser más apropiado considerar el número de días pescador, o el número de anzuelos usados por día.

En general, una medida que tenga una relación lineal demostrable con la tasa de captura, es una medida adecuada. Es decir, si se puede demostrar que dos unidades de esfuerzo capturan el doble que una unidad de esfuerzo, cuando operan en iguales condiciones, la medida de esfuerzo es aceptable. Por ejemplo, el número de horas de pesca multiplicado por la potencia del motor puede ser una medida adecuada para el dimensionamiento del esfuerzo en algunas pesquerías de arrastre, mientras que en una pesquería con redes de enmalle, la clase

de embarcación y el número de horas son probablemente menos importantes que el número de caladas efectuadas por día de pesca.” (Sparre y Venema, 1998)

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE),³⁵ define el esfuerzo de pesca como una medida de la cantidad de pesca. Agrega que, con frecuencia, se utiliza un sustituto relacionado con una combinación determinada de insumos en la actividad pesquera, como el número de horas o días de pesca, el número de anzuelos utilizados (en la pesca con palangre), los kilómetros de redes utilizados, etc. Y, añade que, la Unión Europea define el esfuerzo de pesca como la capacidad de la flota (tonelaje y potencia del motor) x días en el mar (tiempo; t); las fórmulas son $GT \times t$ y $kW \times t$.

Cadima (2003), señala que el nivel [de pesca] está asociado a la cantidad de esfuerzo de pesca, esto es, al número de embarcaciones que están pescando, al número de días [de pesca], de lances, de horas de pesca durante el año y a la eficacia o poder de pesca de las embarcaciones o artes de pesca.

Para evaluar la situación del stock de la anchoveta, IMARPE³⁶ aplica tres medidas de esfuerzo de pesca: días de viaje (DV), tiempo de

³⁵ Glossary of Statistical Terms. Última actualización: 5 de marzo de 2003. Recuperado de <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=994>

³⁶ Memorando N° 048-2018-IMARPE/DGIRP de 22 de enero de 2018.

búsqueda (TB) y número de lances (NL). Los esfuerzos de pesca por embarcación, corresponden al valor promedio de los viajes observados en una temporada de pesca por el Programa Bitácoras de Pesca.

Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE)

FAO (2001), define Captura por unidad de esfuerzo (CPUE): La cantidad de capturas que se logran por unidad de arte de pesca; por ejemplo, el número de peces por anzuelo de palangre-mes, es una forma de expresar la CPUE. La CPUE puede utilizarse como medida de la eficiencia económica de un tipo de arte, pero normalmente se utiliza como índice de abundancia, es decir, se espera que una variación proporcional en la CPUE represente la misma variación proporcional en la abundancia. La CPUE nominal es simplemente la medida de la CPUE de la pesquería. Sin embargo, se sabe que existen muchos factores (incluidos factores económicos, distribuciones geográficas) que pueden afectar a la CPUE pero que no representan variaciones de abundancia. Por tanto, las CPUE suelen “normalizarse” utilizando varias técnicas estadísticas para eliminar los efectos de dichos factores que se sabe que no están relacionados con la abundancia. Por ello, la utilización de la CPUE normalizada resultará más apropiada para un índice de abundancia. La mayoría de los análisis de evaluación (modelos de producción, análisis de población virtual) utilizan el índice de datos de abundancia para calibrar (ajustar) los modelos.

Para evaluar la situación del stock de la anchoveta, IMARPE³⁷ aplica tres medidas de CPUE, en consonancia con las tres medidas de esfuerzo mencionadas anteriormente. Así, IMARPE informa que, debido a que se asume que la CPUE (en función a DV, TB y NL) es proporcional a la abundancia de un stock, se estandariza, a fin de remover la influencia de los factores que, sin estar asociados a la abundancia, influyen en el cálculo de este índice. Para el caso de la anchoveta peruana, se suele remover el efecto del tamaño de las embarcaciones pesqueras (expresado en m³ de capacidad de bodega – *CB*) sobre la CPUE. En consecuencia, la CPUE por temporada de pesca, es estimada como la mediana de los cocientes que se obtienen al dividir la captura (*C*) obtenida (relativizada en función del tamaño de la embarcación pesquera) y el esfuerzo de pesca (*f*) desplegado durante todos los viajes, observados por el Programa Bitácoras de Pesca:

$$CPUE_T = P_{50\%} \left(\frac{\frac{C_i}{CB_i}}{f} \right)$$

donde:

T = temporada de pesca

i = viaje observado por el Programa Bitácoras de Pesca

*P*_{50%} = mediana (percentil 50)

³⁷ Ibid.

Schaefer (1954), sostiene que la CPUE promedio, durante un período de tiempo dado, será proporcional al tamaño promedio del stock del recurso encontrado por la pesquería durante ese período. La CPUE promedio/año, u otro período de tiempo más corto, ha sido extensamente utilizado por los científicos pesqueros para medir los cambios en el tamaño de la población pesquera.

Coeficiente de capturabilidad (q)

El coeficiente de capturabilidad (q) es la fracción o proporción de biomasa del recurso capturada por unidad de esfuerzo de pesca (Cadima, 2003; Farroni, 2015). Mientras más eficiente sea el arte de pesca, más alto será el valor de q, porque este último es una medida de la capacidad del arte para capturar peces (Sparre y Venema, 1998).

La ecuación (2.3) explica, matemáticamente, la función que desempeña el coeficiente de capturabilidad (q) en la estimación de la biomasa.

2.3.6 Gestión pesquera

En la literatura pesquera, es frecuente encontrar términos como gestión, o manejo pesquero, los cuales aluden a los mismos conceptos.

Según Ludwig *et al.* (como se citó en Seijo *et al.*, 1997), el manejo de un recurso pesquero es un proceso complejo que requiere la integración de su biología y ecología con los factores socio-económicos e institucionales que afectan el comportamiento de los usuarios (pescadores) y a los responsables de su administración.

De acuerdo a Sætersdal (como se citó en Cadima, 2003), el principio general de la gestión pesquera se define como: “obtener la mejor utilización posible del recurso en provecho de la comunidad”, aunque, Cadima (2003) señala que en cada caso en particular, será necesario definir lo que significa “mejor”, “posible” y “comunidad”. Así, “mejor” puede significar mayor cantidad capturada, mayor valor de la captura, mayor beneficio (diferencia entre el valor de la captura y los costos de explotación), más divisas, más empleo, etc. “Comunidad”, también, puede significar: la población del mundo, la Comunidad Europea, un país, una región, grupos de intereses (pescadores, armadores, consumidores, ...). “Posible”: no puede olvidarse el carácter renovable de los recursos pesqueros y, consecuentemente, tener presente que la conservación de los recursos pesqueros debe garantizarse, a fin de que pueda aplicarse por mucho tiempo el principio general de gestión pesquera definido por Sætersdal (1984). Esto quiere decir que la conservación de un ecosistema no implica que se deba atribuir la misma importancia a todos sus elementos.

La importancia de la pesca en un país no solo puede medirse por la contribución al PBI, sino que, también se debe tener en cuenta que los recursos y productos pesqueros son componentes fundamentales de la alimentación y el empleo humanos. Otro aspecto que hace que los recursos pesqueros sean importantes es su carácter renovable. A diferencia de los recursos minerales, si los recursos pesqueros o cualquier otro recurso biológico están bien gestionados, su duración es prácticamente ilimitada (Cadima, 2003).

Según Cadima (2003), una conclusión importante es que la base fundamental para la conservación y gestión de los recursos pesqueros proviene de las características biológicas. (Esto no significa que los efectos sociales, económicos o de cualquier otro tipo no sean importantes para la gestión pesquera).

Por otro lado, se han identificado diversas formas de gestión pesquera. Seijo *et al.* (1997), menciona “cuatro aproximaciones básicas: (i) privatización del recurso a través de la asignación de cuotas individuales; (ii) intervención estatal a través de la regulación del tamaño y composición de las capturas y de la intensidad del esfuerzo de pesca; y más recientemente (iii) la adopción de sistemas de manejo de recursos regulados por la comunidad (Berkes, 1989; Smith y Berkes, 1991) o bien (iv) la combinación de los anteriores (Seijo, 1993)”.

Según Charles, (como se citó en Imperial y Yandle, 2005), los programas de gestión pesquera se basan con frecuencia en tres tipos de diseño institucional: (1) en la burocracia, (2) en el mercado o (3) basada en la comunidad. Pero, Yandle (2003) indica que la cogestión ha emergido ahora como una cuarta forma institucional de gestión pesquera. Imperial y Yandle (2005) sistematizan en una tabla-resumen las características comunes de cada una de las formas institucionales antes mencionadas, tomando como referencia los derechos de propiedad, las normas utilizadas y/o instrumentos de política, sanciones, formas de violación de normas y elementos comunes.

Sin embargo, para construir programas eficaces de gestión pesquera, se requiere de un enfoque amplio de análisis de política [pesquera], que considere el desempeño y el diseño institucional (Imperial y Yandle, 2005).

“Lo que diferencia el análisis institucional de otras formas de análisis organizacional, es el enfoque en las reglas. Las reglas, son prescripciones que prohíben, permiten o requieren alguna acción o resultado y las sanciones autorizadas si las reglas no se cumplen (Crawford and Ostrom 1995). Las reglas pueden ser formales (por ejemplo, leyes, políticas, regulaciones, etc.) o informales (por ejemplo, normas sociales). La estabilidad de las interacciones regla-orden, depende de un entendimiento compartido de las reglas (Ostrom,

Gardner, and Walker 1994, 40). Esto requiere construir confianza monitoreando y haciendo cumplir las reglas. Hacer cumplir las reglas incluye sanciones formales (por ejemplo, civiles o penales) o informales (por ejemplo, una amonestación verbal)

Consecuentemente, el análisis institucional examina los problemas que afrontan los individuos (u organizaciones) y cómo las reglas abordan estos problemas. En el contexto de la gestión pesquera, se centra en aspectos tales como la organización de la pesquería (por ejemplo, ubicación, características de la comunidad, estructura de la industria, etc.), quién toma las decisiones, cómo se toman las decisiones, las reglas que se usan para asignar y distribuir recursos, reglas que rigen el comportamiento de los pescadores y la aplicación de las reglas.” (Imperial y Yandle, 2005).

Conforme a lo descrito, la pesquería de la anchoveta se encuentra gestionada de acuerdo a un diseño institucional de asignación de cuotas individuales o forma basada en el mercado. “Una característica importante de las formas basadas en el mercado, es el énfasis en la eficiencia económica e ingresos más altos para los pescadores y la industria. Promueve la modernización de la industria pesquera (Clark, 1993). Puede crear una cultura corporativista en la industria. Elimina también algunos tipos de ineficiencia económica (por ejemplo, carreras

por el recurso, sobrecapitalización, etc.), asociada con las formas basadas en la burocracia (Grafton, 1996).” (Imperial y Yandle, 2005).

Al respecto, Galarza y Collado (2013) señalan que el sistema de cuotas individuales permite generar una renta (la más grande posible) que se mantiene en el tiempo, a diferencia del libre acceso en el que la renta desaparece con la entrada de cada vez más armadores a la actividad pesquera.

2.3.7 Modelo bioeconómico

Este consiste de un modelo de dinámica poblacional, que describe los cambios en el tamaño del stock a través del tiempo como una función del crecimiento natural y la mortalidad por pesca, y un modelo económico (Bjørndal y Bezabih, 2010).

Los ingredientes principales de un modelo bioeconómico son, en el lado biológico, la dinámica de la población actual, por ejemplo, cómo la población natural crece y cómo responde a la captura, y, en el lado económico, la dinámica del sistema económico de referencia, por ejemplo, el nivel general de precios, el grado de competencia en el mercado o la preferencia temporal de los agentes económicos (Farroni, 2015).

2.3.8 Optimización dinámica

La optimización dinámica se refiere al proceso de maximización o minimización de los beneficios o de los costos de cierto funcional objetivo, a través de la determinación de las trayectorias óptimas de las variables de estado y de control en cada momento o instante del tiempo, las cuales permitirán obtener el valor máximo o mínimo de dicho funcional objetivo. La característica distintiva de los problemas de optimización dinámica es la incorporación del tiempo. Existen tres técnicas para resolver problemas de optimización dinámica: cálculo de variaciones, control óptimo y programación dinámica. Los problemas de optimización dinámica, en general, pueden formularse en horizonte de tiempo finito o infinito, en tiempo discreto o continuo, pueden ser lineales o no lineales, autónomos o no autónomos (Bonifaz y Lama, 2013).

El cálculo de variaciones data del siglo XVII y su aplicación al análisis económico recién se inicia a partir de la década de los veinte. El control óptimo fue desarrollado por el ruso L.S. Pontryagin, a fines de la década de los cincuenta en el contexto de la carrera espacial. La técnica de programación dinámica fue desarrollada a fines de la década de los cincuenta por el matemático norteamericano Richard Bellman (Bonifaz y Lama, 2013).

2.3.9 Principio del máximo de Pontryagin

El principio del máximo de Pontryagin, es la herramienta central de la teoría del control óptimo, pues permite resolver el problema de maximización del funcional objetivo mencionado en el numeral 1.8.8.

Clark (1990), señala que el principio del máximo es una condición necesaria (más precisamente, una colección de condiciones necesarias) para la optimalidad, que abarca de manera unificada la mayor parte de las condiciones necesarias clásicas, simplificando las aplicaciones de la teoría. El principio del máximo, también posee una interpretación económica clara, no evidente en la formulación clásica del cálculo de variaciones.

Según Clark (1990), el principio del máximo se formula más convenientemente en términos de la siguiente expresión, llamada el *Hamiltoniano*:

$$H[x(t), t, u(t); \lambda(t)] = f[x(t), t, u(t)] + \lambda(t)g[x(t), t, u(t)]$$

donde, $\lambda(t)$ es una función adicional desconocida llamada *variable adjunta*.³⁸, $u(t)$ es un control óptimo y $x(t)$ es la correspondiente respuesta al control.

En el Anexo A de este trabajo, se detalla las condiciones necesarias establecidas para la función Hamiltoniana antes mencionada, conforme el principio del máximo de Pontryagin, y se describe su aplicación para determinar las tres funciones: $x(t), u(t)$ y $\lambda(t)$, que resuelven el problema de optimalidad del funcional objetivo, formulado en 2.3.16, cuando se trata de problemas de control no lineales. En el Anexo B, se describe el modelo autónomo lineal simple de gestión óptima de la pesca de Clark y Munro (1975), que se aplica en el presente trabajo.

2.3.10 Regulación pesquera

Las regulaciones pesqueras se imponen en la pesquería para apoyar una estrategia diseñada para alcanzar objetivos predefinidos. Es poco probable que una sola medida de gestión produzca los resultados deseados, y puede ser necesaria una combinación de varias regulaciones (King, 1995; citado en Viet Thanh, 2006). Según Viet Thanh (2006), hay dos tipos de regulaciones pesqueras; una, usada para controlar el esfuerzo de pesca (regulaciones de entrada) y, otra, usada para el control de la captura (regulación de salida). Las

³⁸ También se le denomina variable auxiliar o variable de coestado.

regulaciones de entrada y salida se dividen, a su vez, en controles directos e indirectos (Tabla 7).

Tabla 7. Tipos de regulaciones pesqueras

Controles	Entrada	Salida
Controles indirectos	Impuesto al esfuerzo de pesca, impuesto de ingreso (% sobre el costo fijo)	Impuesto al desembarque
Controles directos	Licencia, tamaño mínimo de malla, cierre de temporada	Cuota individual, captura total permisible, longitud legal mínima del recurso.

Fuente: Viet Thanh (2006)

Aunque la regulación tributaria es un medio de administración indirecto, parece ser más eficiente que los medios de administración directa, como las regulaciones de longitud legal mínimo del recurso y tamaño mínimo de malla (Viet Thanh, 2006).

Por otro lado, Narayanakumar (2013), menciona tres medidas de regulación pesquera:

- (i) **Captura Total Permissible (TAC):** Los métodos tradicionales de gestión se concentraron en el control de la captura anual. Las agencias tradicionales de gestión determinan la captura total anual permisible (TAC). La captura anual se controla y la pesquería se cierra una vez que se alcanza el TAC. Además, la duración de las temporadas de pesca también se puede determinar por adelantado,

en base a una estimación de la eficiencia de captura de la flota. Con la estimación correcta y el reporte de capturas, el TAC proporcionará una herramienta eficiente de gestión. Sin embargo, el método tiene efectos económicos secundarios. Esto incluye la fuerte competencia de los operadores de embarcaciones para tomar su parte del TAC antes de la fecha de cierre estipulada. De ahí que los operadores incrementen las capacidades de sus barcos y tengan sus propias implicancias. Las temporadas de pesca se reducen y los pescadores se aventuran en el mar pese a las condiciones climáticas poniendo en riesgo sus vidas.

(ii) Cuotas Individuales Transferibles (ITQs): en este método, a cada pescador se le asigna una cuota anual de pesca, la cual puede capturarse cuándo y cómo lo deseen los pescadores. Las unidades de cuota pueden comprarse o venderse. La autoridad de gestión pesquera decide las cuotas totales. En este método, las rentas económicas se conservan y distribuyen entre los propietarios de cuotas. Esto elimina la competencia entre los pescadores. Este método ha sido probado con éxito, pero también tiene algunas desventajas.

(iii) Impuestos: los impuestos sobre las capturas desembarcadas son otro método alternativo para la regulación de la pesquería. En este método, el precio neto recibido por la captura se reduce debido a

los impuestos. Los impuestos reducen los incentivos para la sobrepesca. Si un impuesto se formula y aplica apropiadamente, podría ayudar a alcanzar el efecto deseado en la regulación de la pesca. Todas las rentas del recurso serán retenidas por el gobierno en la forma de ingresos fiscales.

Cabe precisar que las cuotas individuales transferibles (ITQs), mencionadas por Narayanakumar (2013), son –en principio- cuotas individuales de pesca (IFQs) que pueden ser compradas, vendidas o alquiladas a otros individuos en un mercado de cuotas. Sin embargo, también existen IFQs con transferencia limitada, como el caso de la anchoveta peruana y el jurel chileno, que tienen características únicas de diseño, como la restricción de su comercialización en un mercado general de cuotas. En estos casos, las asignaciones de cuotas permanentes son específicas de la embarcación e indivisibles; por lo tanto, el activo (derecho a una parte de la captura cada año en el futuro) sólo puede transferirse mediante la venta de la embarcación. Sin embargo, las asignaciones anuales se pueden transferir entre embarcaciones del mismo propietario (Kroetz, K., *et al.*, 2016).

En este punto, es necesario mencionar que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)³⁹ define a la cuota individual de pesca (IQ o IFQ), como una asignación a un individuo (una

³⁹ Glossary of Statistical Terms. Última actualización: 6 de marzo de 2003. Recuperado de <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=1333>

persona o una entidad legal, por ejemplo, una empresa) de un derecho [privilegio] a capturar una determinada cantidad de pescado en un determinado período de tiempo. También, a menudo se expresa como una parte individual de una cuota agregada o captura total permisible (TAC).

Finalmente, cabe referir que FAO (2016), sintetiza las medidas de regulación pesquera en dos grandes grupos de gestión pesquera: a) Gestión basada en derechos de pesca y b) Gestión basada en derechos del esfuerzo. El primer grupo de gestión evalúa y controla la cuota y el segundo, el esfuerzo. El manejo basado en los derechos de captura o de esfuerzo necesariamente requiere una captura total permisible (TAC) o un esfuerzo total permitido (TAE).

Según FAO (2016), el manejo basado en los derechos de captura bajo un TAC requiere una estimación del nivel absoluto de biomasa y el pronóstico del TAC, mientras que el manejo basado en los derechos del esfuerzo bajo un TAE requiere una estimación del coeficiente de capturabilidad y el pronóstico del TAE. Y, añade que, la aplicación de la gestión basada en los derechos del esfuerzo tiene claras ventajas en la pesca artesanal; donde la gestión basada en TAC es más difícil y costosa y las evaluaciones de stock son difíciles; donde los datos para las evaluaciones de stock y el monitoreo cercano de las capturas no están disponibles en gran medida o son de baja calidad; donde los

costos de monitoreo, control y vigilancia (MCS) para los sistemas de captura son prohibitivos; y donde hay incertidumbre sobre las estimaciones de biomasa.

2.3.11 Rendimiento Máximo Sostenible (MSY)

El máximo crecimiento natural de un stock está en el nivel X_{MSY} en la Figura 19. Si se captura dicho nivel de crecimiento natural, a esta captura se le denomina rendimiento máximo sostenible (MSY) (Flaaten, 2014).

El rendimiento máximo sostenible (MSY) de una pesquería es igual al crecimiento máximo de un stock (Anderson, L. G. y J. C. Seijo, 2010).

2.3.12 Rendimiento Máximo Económico (MEY)

A la renta máxima del recurso, también se le denomina rendimiento máximo económico, con el acrónimo MEY. Por lo tanto, el esfuerzo y el nivel de stock que corresponden al rendimiento máximo económico, reciben el subíndice MEY, como se muestra en las Figuras 21 y 24. El E_{MEY} es significativamente más bajo que el E_{MSY} (Flaaten, 2014).

Alternativamente al MSY, el rendimiento máximo económico (MEY), es un enfoque que explícitamente considera aspectos económicos del problema y busca un nivel de stock “x” y una tasa de captura “h” que

maximiza los beneficios económicos, sin causar el agotamiento del stock. En otras palabras, es el nivel de stock X_{MEY} , en el cual la captura es sostenible, lo cual significa que no conduce al agotamiento del stock y que maximiza los beneficios económicos (Farroni, 2015).

2.3.13 Renta económica

“El concepto de renta económica surgió a principios del siglo XIX, desde la constatación de que la renta de la tierra no estaba fijada por los propietarios de la tierra, sino por la rentabilidad potencial que podían obtener los usuarios de la tierra (Barlowe, 1958). La renta reflejaba los excedentes después de haberse recuperado todos los costos, incluyendo la necesaria rentabilidad del capital que justificaba la inversión. Por tanto, la renta económica se convirtió en el término para describir cualquier ganancia en cualquier actividad más allá de la requerida para hacer la actividad económicamente justificable a largo plazo (Wessel, 1967)” (Campbell y Haynes, 1990).

Según Rodgers y Webster (2007), la renta económica se refiere al excedente que se crea como consecuencia de una actividad empresarial y puede considerarse como la diferencia entre la voluntad de pago de los consumidores y el precio que las empresas están dispuestas a ofertar (costos). Claramente, parte de esta renta se devuelve a la empresa como recompensa por el aporte empresarial y puede etiquetarse como “beneficio normal”. Cualquier renta restante

puede ser vista como “superbeneficio”. Normalmente, no se esperaría que tal superbeneficio ocurra en una industria competitiva y, por lo tanto, se asocia más comúnmente a alguna forma de falla del mercado, como cuando un monopolista extrae rentas de los consumidores al restringir la oferta por debajo del nivel competitivo de la producción.

Al respecto, Flaaten (2014), indica que en las economías actuales, las empresas de algunas industrias tienen poder monopólico, es decir, tienen la capacidad de influir en el precio de mercado de los bienes o servicios que venden. Si una empresa de este tipo genera ingresos superiores a todos sus costos de oportunidad, incluyendo el beneficio normal, se genera un beneficio supernormal. El beneficio normal es el pago necesario para atraer y mantener el capital en una industria. Esto puede variar, ya que el riesgo y la incertidumbre varían entre las industrias. El beneficio supernormal en este contexto también se llama renta monopólica.

2.3.14 Renta del recurso

Campbell y Haynes (1990), refieren que la renta del recurso es una forma de renta económica. Las rentas de recursos reales son un fenómeno de largo plazo. Es decir, son excedentes adquiridos después de haberse considerado todos los costos (históricos, actuales y futuros) incurridos en el proceso de producción. A corto plazo, es probable que

estos excedentes varíen en tamaño y, en algunos casos, pueden ser negativos, aunque a largo plazo exista una renta substancial.

Asimismo, indican que las rentas del recurso no son fácilmente identificables en las cuentas normales de ganancias y pérdidas de las empresas. En estas cuentas, los rendimientos brutos se consideran comúnmente como dos componentes: los rendimientos que cubren gastos (incluyendo un cargo de depreciación sobre el capital) y el beneficio que proporciona un retorno sobre el capital invertido. Por el contrario, una clasificación económica separa los rendimientos brutos en retornos normales y rentas.

Para explicar los retornos normales de una actividad pesquera, Campbell y Haynes (1990), señalan que, si bien los pescadores experimentan variaciones considerables en sus rendimientos de un año a otro y en algunos años pueden incluso no cubrir sus desembolsos en efectivo, a largo plazo tendrán que cubrir todos sus costos si va a permanecer en la pesquería. Estos costos a largo plazo incluyen costos directos de operación tales como combustible, mano de obra (incluyendo el costo de oportunidad de la mano de obra de un pescador autónomo), cebo, gastos generales tales como administración y licencias y el costo del capital invertido en el barco y equipo. Este último costo incluye la depreciación y un rubro que no aparece en la cuenta de pérdidas y ganancias —el costo de oportunidad del capital social

aplicado a la pesquería. El costo de oportunidad es equivalente a lo que podría haber ganado la inversión del pescador en el mejor uso alternativo. Al optar por aplicar este capital a una pesquería, el operador está renunciando a otras ganancias potenciales.

Asimismo, indican que, además de estos costos en artículos físicos, es probable que los pescadores busquen un retorno de su inversión, por ejemplo, en información sobre pesca y equipo de pesca y el desarrollo de habilidades operacionales de pesca. Los ingresos necesarios para cubrir el total de todos estos costos se denominan rendimientos normales. Estas devoluciones son necesarias si un pescador va a permanecer en una pesquería en el largo plazo.

Igualmente, Galarza y Collado (2013), anotan que cuando se considera el costo de oportunidad, los retornos de la actividad son vistos como retornos normales, en el sentido de que es el mejor resultado que se puede obtener considerando las alternativas disponibles. Agrega que, según la teoría económica, la renta del recurso [en un sistema de cuotas individuales de pesca], es la máxima posible.

Rodgers y Webster (2007), indican que la renta del recurso se refiere al exceso de beneficios o beneficio "supernormal" sobre el nivel ganado en un mercado competitivo. La renta del recurso equivale a la diferencia

entre los ingresos y los costos (incluyendo un rendimiento competitivo del capital).

2.3.15 Teoría moderna del capital

Munro y Sumaila (2015), enfatizan el concepto de recurso pesquero como una forma de capital “natural”, en el sentido de que es un activo real capaz de rendir un flujo de retornos económicos a la sociedad, y que se puede “invertir” positivamente en dicho activo al abstenerse de pescar. Recuerdan que Anthony Scott, uno de los pioneros en economía de los recursos naturales, al escribir sobre todos los recursos naturales (incluidos los recursos pesqueros) en 1954, declaró que: “Lo importante ... es que los recursos naturales son el capital de una región, al igual que los equipos hechos por el hombre; y la conservación [de los recursos naturales] es la inversión, al igual que el aumento del suministro de máquinas es la inversión [de capital].”

Al respecto, Clark y Munro (2017), señalan que, a pesar de que las ideas de Scott dejan absolutamente claro que la economía de los recursos naturales es, sobre todo, una aplicación de las teorías del capital y de la inversión de los economistas, la economía pesquera posterior a 1955 continuó basándose en gran medida en el análisis estático de la gestión pesquera que se remonta a Warming (1911) y que se desarrolló en su mayor parte en el famoso artículo de Gordon (1954), *La Teoría Económica de un Recurso de Propiedad Común: La Pesquería*. Las

razones para esta persistencia la atribuyen a las dificultades para aplicar, en detalle, el análisis teórico del capital a los recursos naturales, tan complejos como los recursos pesqueros de captura; y estas razones las deducen a partir de la presentación de Gordon (1954) en la Conferencia de la FAO de 1956, donde declaró: “El problema de la conservación [inversión positiva en un recurso natural] es esencialmente uno que requiere de formulación dinámica...La justificación económica de la conservación [de recursos pesqueros] es la misma que la de cualquier inversión de capital: al posponer la utilización, esperamos aumentar la cantidad disponible para usar en una fecha futura...En términos teóricos, esto significa que...es necesario llegar a un óptimo, el cual es una captura por unidad de tiempo; y uno debe alcanzar este objetivo a través de la consideración de la interacción entre la tasa de captura, la dinámica de las poblaciones de peces y el calendario económico de preferencia temporal de la comunidad o la tasa de interés sobre el capital invertido. Esto es un problema muy complicado y sospecho que tendremos que recurrir a los economistas matemáticos para que nos ayuden a aclararlo” (Bjørndal y Munro, 2012).

“El macro economista estadounidense Gardner Ackley sostiene que se debe hacer una distinción clara entre la teoría del capital y la teoría de la inversión, aunque obviamente están muy relacionadas. La teoría del capital trata sobre los stocks y aborda la cuestión de cuál es el stock

óptimo de un tipo particular de capital. La teoría de la inversión trata sobre los flujos y aborda la cuestión de cuál es la tasa óptima a la que se debe aumentarse el stock de capital, o disminuirse, si el stock actual del capital está por debajo o por encima del nivel de stock óptimo (Ackley, 1978)” (Clark y Munro, 2017)

“Scott (1955), intentó formular el problema de la gestión de un recurso pesquero como un problema de la teoría del capital. El esfuerzo fue seguido por Crutchfield y Zellner (1962), quienes formularon el problema en términos de un modelo matemático dinámico. Sin embargo, a pesar de estos trabajos, la teoría de la economía pesquera fundada por Gordon (1954), continuó siendo formulada esencialmente en términos estáticos. Las razones de la reticencia al análisis no dinámico no son difíciles de descubrir. Tal vez, sea razonable argumentar que el problema no está en el esfuerzo de aplicar la teoría del capital a la economía pesquera, sino, más bien, en la teoría del capital en sí misma, que como Dorfman (1969) ha argumentado, adolecía de una insuficiencia de instrumentos matemáticos.

Desde el trabajo de Ramsey (1928), se ha reconocido claramente que la teoría del capital es en esencia un problema del cálculo de variaciones. Sin embargo, también se reconoció que, en su formulación clásica, las técnicas proporcionadas por el cálculo de variaciones eran inadecuadas para la tarea (Dorfman, 1969). Las extensiones del cálculo

de variaciones proporcionadas por la teoría del control óptimo (Bellman, 1957; Pontryagin, 1962), eliminaron en gran medida las insuficiencias de las técnicas clásicas. Los economistas no tardaron en apreciar las implicancias para la teoría del capital; de hecho, Dorfman va más allá, sosteniendo que la teoría moderna del capital debe sus orígenes al desarrollo de la teoría del control óptimo” (Clark y Munro, 1975).

Clark (1990), resume los aspectos esenciales de la teoría del capital y su aplicación a la gestión de los recursos naturales: el activo de capital, el valor presente, la tasa de interés, la tasa de descuento, la productividad marginal del capital, el costo de oportunidad marginal del capital, la inversión, la tasa de retorno y otros conceptos. Estos aspectos teóricos, constituyen los fundamentos básicos para la formulación de su modelo matemático dinámico, mediante el cual determina el nivel de biomasa óptima y la correspondiente captura óptima del recurso, ejes de una gestión eficiente y sostenible, en cuya aplicación se basa la presente tesis.

2.3.16 Teoría del control óptimo

Las técnicas de la teoría del control óptimo –en particular, el famoso principio del máximo de L. S. Pontryagin (1962)– son resultado y extensión de las técnicas clásicas del cálculo de variaciones. La teoría del control óptimo es una teoría significativamente mejorada respecto a la teoría clásica del cálculo de variaciones, ya que cubre tanto los

problemas de optimización lineal y no lineal, como los de restricciones de desigualdad (problemas que no podrían manejarse usando las técnicas clásicas del cálculo de variaciones) (Clark, 1990).

La teoría del control óptimo se aplica a todos los problemas de cálculo de variaciones. En dichos problemas, el control óptimo da resultados equivalentes a los del cálculo de variaciones. El control óptimo también se aplica a problemas para los cuales el cálculo de variaciones no es conveniente, tales como aquellos que incluyen restricciones en las derivadas de las funciones (Kamien y Schwartz, 1981). En los problemas de control óptimo, las variables se dividen en dos clases: variables de *estado* y variables de *control*. El movimiento de las variables de *estado* es gobernado por ecuaciones diferenciales de primer orden. El problema de control óptimo más simple es uno de selección de una función de *control* continua por tramos $u(t)$:

$$\text{Max } V = \int_0^T f(t, x(t), u(t)) dt \quad [\text{Funcional objetivo}]$$

$$\text{Sujeto a } x'(t) = g(t, x(t), u(t)) \quad [\text{Ecuación de estado}]$$

$$x(0) = x_0, T \text{ fijos; } x(T) \text{ libre}$$

Aquí f y g se asume que son funciones conocidas y diferenciales continuamente, de tres argumentos diferentes, ninguno de los cuales es

una derivada. La variable de *control* $u(t)$, debe ser una función de tiempo continua por tramos. La variable de *estado* $x(t)$, cambia en el tiempo de acuerdo a la ecuación diferencial que gobierna su movimiento. El *control* u , influye en el funcional objetivo, directamente (a través de su propio valor) e indirectamente a través de su impacto en la evolución de la variable de *estado* x , (que entra en el funcional objetivo). La más alta derivada que aparece en la formulación del problema es la primera derivada, y aparece *solamente* como el lado izquierdo de la *ecuación de estado*, a la cual, a veces, se le llama *ecuación de transición* o *ecuación de movimiento* (Kamien y Schwartz, 1981).

A diferencia del cálculo de variaciones, en el problema de control óptimo se incorpora tanto la variable de *control* (u), como la variable de *estado* (x). Además, las dos variables se encuentran relacionadas mediante la ecuación de movimiento $g(\bullet)$. El objetivo del control óptimo es determinar las trayectorias de las variables de *control* y de *estado* que optimicen el funcional objetivo (Bonifaz y Lama, 2013).

Una de las ventajas que presenta la técnica de control óptimo, es que no requiere necesariamente la continuidad y diferenciabilidad de las trayectorias de las variables de *control* y de *estado* en todo el horizonte de tiempo $[0, T]$. Para el caso de la trayectoria óptima de control, basta

con que se sea continua por tramos. Este requisito implica que la trayectoria de la variable de *control* puede presentar un número determinado de puntos con discontinuidades, siempre y cuando en dichos puntos no tome un valor infinito. En el caso de la trayectoria de la variable de *estado*, al menos se requiere que sea continua y diferenciable por tramos. Ello significa que la senda de la variable de *estado* puede contener puntos en los cuales no sea diferenciable con respecto al tiempo (Bonifaz y Lama, 2013).

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Formulación de la hipótesis general

La renta del recurso, estimada mediante el modelo bioeconómico de optimización dinámica en tiempo continuo de Clark y Munro (1975), puede constituirse en un fundamento económico válido para el cálculo de los derechos de pesca de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*).

3.2 Variables y definición operacional

Para llevar a cabo el estudio, se realizó la recolección de datos del período 2004 – 2017, sobre las siguientes variables:

- a) Captura del recurso anchoveta, expresada en TM,
- b) Esfuerzo de pesca, expresado en términos de m^3 – desembarque,
- c) Precio del recurso desembarcado, expresado como valor promedio en US\$/TM,
- d) Costo del esfuerzo pesquero, expresado como valor promedio en US\$/ m^3 – desembarque; y,
- e) Derechos de pesca, expresados en US\$/TM

Si bien, existen datos disponibles de años anteriores sobre las variables a) y b), se consideró pertinente tomar los datos recogidos, verificados y procesados por el “Programa de Vigilancia y Control de la Pesca y Desembarque en el Ámbito Marítimo” -ejecutado a partir del año 2004, a través de una empresa privada de inspección, por encargo de la autoridad pesquera- en vista de la confiabilidad de los datos, los cuales sirvieron de base para instituir, a partir del año 2009, un nuevo ordenamiento pesquero del recurso anchoveta basado en cuotas individuales por embarcación.

El programa de vigilancia y control antes mencionado, ofrece información detallada de captura por embarcación, por día, mes y temporada de pesca, asimismo, el número de desembarques, la capacidad de bodega de la embarcación y número de matrícula, lo cual permitió calcular el esfuerzo de pesca en términos de m^3 – desembarque, multiplicando la capacidad de bodega de cada embarcación por el número de desembarques al mes, mediante la aplicación de tablas dinámicas.

Los datos de la variable c) se tomaron de FAO (2018) y FAO (2015), correspondiente a los Reportes Bianuales de Mercados Globales de Alimentos, dado que, los Anuarios Estadísticos Pesqueros publicados por el Ministerio de la Producción, no recogen esta información. Cabe indicar que el volumen de captura del recurso de anchoveta tiene un peso gravitante en la formación del precio promedio a nivel global de especies pelágicas, por este motivo -por ejemplo- la normativa pesquera de Chile toma esta información

como referencia para el cálculo del impuesto específico a pagar por el número de toneladas del recurso anchoveta que el armador tenga derecho a extraer durante el año.

La variable d), se obtuvo del estudio de Paredes (2012), y se consideró como referencia los estudios sobre aspectos económicos de la pesquería de la anchoveta de De La Puente, *et al.* (2011) y de Galarza y Collado (2013).

Los datos de la variable e) fueron aportados por el Ministerio de la Producción y corresponden a los montos obtenidos bajo la metodología vigente para el cálculo de los derechos de pesca establecido en el artículo 45° del Reglamento de la Ley General de Pesca, modificado mediante Decreto Supremo N° 024-2006-PRODUCE.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1 Diseño metodológico

El presente estudio se enmarca dentro del enfoque cuantitativo de la investigación científica y de diseño no experimental y longitudinal de tendencia.

Se fundamenta en la estimación de la renta del recurso, a través del modelo bioeconómico de optimización dinámica en tiempo continuo, formulado por Clark y Munro (1975), el cual se sustenta, en primera instancia, en un modelo simple de dinámica poblacional, usado ampliamente en economía pesquera y conocido como modelo biológico de Schaefer (1954), que determina el rendimiento máximo sostenible, y descansa en la ecuación de dinámica poblacional de Verhulst o ecuación logística. En segunda instancia, el modelo de Clark y Munro (1975), toma como herramienta teórica el modelo económico de Gordon (1954), conocido ampliamente como modelo bioeconómico de Gordon-Schaefer, que permite estimar la renta del recurso en tiempo discreto, a partir de las variables precio de captura y costo del esfuerzo. En base a este herramental teórico y a los fundamentos de las teorías del capital y de la inversión, el modelo de Clark y Munro (1975) plantea un problema de optimización dinámica del valor presente de los flujos futuros de la renta del recurso descontados en tiempo continuo a una tasa social de descuento, cuya

solución se logra aplicando la teoría del control óptimo basada en el principio del máximo de Pontryagin. En el proceso de desarrollo de la ecuación de maximización dinámica, Clark y Munro (1975) logran hallar su ecuación denominada “Regla de Oro Modificada de la Acumulación de Capital”. Dicha ecuación permite estimar la biomasa óptima, la captura óptima y el esfuerzo pesquero óptimo en una trayectoria continua de tiempo, los cuales, a su vez, permiten determinar la renta del recurso óptima que, según la hipótesis formulada, podría constituirse en el fundamento económico válido para el cálculo de los derechos de pesca por la explotación del recurso anchoveta.

Selección y estandarización del esfuerzo pesquero

La selección de la medida del esfuerzo pesquero es clave en la investigación. Es el primer paso en el tratamiento de los datos de captura y esfuerzo, el cual va acompañado de un proceso de estandarización del esfuerzo, pues los tamaños de las embarcaciones anchoveteras son muy disímiles y pueden influir en el cálculo de la CPUE del total de embarcaciones. La captura y el esfuerzo pesquero estandarizado, permiten estimar los coeficientes de captura a y b de la ecuación (2.9), mediante un modelo de regresión lineal simple, que mide la relación o grado de dependencia entre la variable dependiente “captura por unidad de esfuerzo” (CPUE) y la variable independiente “esfuerzo pesquero”.

La curva de regresión lineal con pendiente negativa, confirma el resultado de una adecuada selección del esfuerzo pesquero. Gordon (1954) señala una relación uniformemente lineal, entre la CPUE y el esfuerzo (Figura 20).

Asimismo, Sparre y Venema (1998), sostienen que, si bien es cierto, el esfuerzo de pesca se define como proporcional a la mortalidad por pesca, para que esta definición tenga aplicación práctica, se tendrá que elegir una medida del esfuerzo que se considere esté realmente relacionada con la mortalidad por pesca.

Consecuentemente, el primer paso es seleccionar la medida de esfuerzo pesquero y su consiguiente estandarización, a fin de obtener la curva de regresión lineal con pendiente negativa y, a partir de ella, los coeficientes de captura a y b de la ecuación (2.9), claves para la estimación de la captura, el esfuerzo pesquero y la biomasa en los niveles del rendimiento máximo sostenible (MSY), rendimiento máximo económico (MEY) y el rendimiento óptimo sostenible (OSY), así como la estimación de los derechos de pesca desde el OSY.

A partir de los datos del “Programa de Vigilancia y Control de la Pesca y Desembarque en el Ámbito Marítimo”, se selecciona el esfuerzo pesquero en términos de m^3 -desembarque, que cumple con la condición señalada en el párrafo anterior. El esfuerzo pesquero, en los términos señalados, se obtiene multiplicando la capacidad de bodega en metros cúbicos por el número de

desembarques de cada embarcación por mes. Para este efecto, se agrupa las embarcaciones anchoveteras según su capacidad de bodega en metros cúbicos, de acuerdo a la siguiente estratificación: i) entre 32,6 m³ – 130 m³; ii) entre 131 m³ y 450 m³; y, iii) mayores de 450 m³. Se utilizó como criterio de agrupación la similitud de las cantidades totales desembarcadas por los grupos i) y iii); cada uno desembarca al año alrededor del 20% del total del recurso anchoveta; y, el grupo ii), el 60%, según el período de extracción pesquera estudiado (2004-2017).

Por tanto, el propósito de la estandarización es conseguir una medida uniforme de esfuerzo pesquero, para ello, es necesario convertir en unidades de esfuerzo estándar los valores de esfuerzo pesquero de los grupos de embarcaciones antes mencionados. El proceso de estandarización del esfuerzo pesquero, se realiza mediante el procedimiento de Beverton y Holt (1993), según el cual, se selecciona, en primer término, un grupo como estándar y se calcula su correspondiente CPUE; luego, se asigna a cada grupo restante un factor derivado del ratio entre la CPUE de un grupo y la CPUE del grupo tomado como estándar. El esfuerzo estandarizado de cada grupo, se obtiene al multiplicar el esfuerzo simple por su factor. Y, el esfuerzo total anual estandarizado será la suma de los esfuerzos estandarizados de cada uno de los grupos establecidos. Se entiende que las capturas se han realizado en el mismo caladero y con la misma densidad de peces.

Obtención de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) estandarizada

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) estandarizada anual, se obtiene dividiendo la captura anual entre el esfuerzo pesquero anual estandarizado.

Estimación de los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo a y b

Los valores anuales de la CPUE estandarizada y del esfuerzo pesquero estandarizado, permiten estimar los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo a y b de la ecuación (2.9), a través de un modelo de análisis de regresión lineal simple.

Estimación de parámetros biológico y tecnológico

A partir de los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo a y b , obtenidos mediante análisis de regresión lineal simple de los valores anuales de la CPUE estandarizada y del esfuerzo estandarizado, se estima los parámetros biológico y tecnológico: la capacidad de carga del hábitat (K) y coeficiente de capturabilidad (q), respectivamente. Ambos parámetros se asumen fijos (Flaaten, 2014) y son clave para la aplicación del modelo bioeconómico dinámico de Clark y Munro (1975).

Cálculo del MSY, MEY y OSY

El cálculo del Rendimiento Máximo Sostenible (MSY) y del Rendimiento Máximo Económico (MEY) y sus correspondientes niveles de esfuerzo pesquero y biomasa, se efectúa con fines referenciales, a partir del modelo Verhulst-Schaefer y del modelo Gordon-Schaefer, respectivamente.

El Rendimiento Óptimo Sostenible (OSY) y sus correspondientes niveles de esfuerzo óptimo (E^*) y biomasa óptima (X^*), se determinan aplicando el modelo dinámico en tiempo continuo de Clark y Munro (1975), a partir del cual se calcula la renta del recurso.

El eje central del modelo Clark-Munro, gira en torno al cálculo de la biomasa óptima (X^*), a partir de la cual, se determina la captura óptima (H^*) y el esfuerzo óptimo (E^*). El nivel de biomasa óptima se convierte así en el objetivo a ser alcanzado por el administrador de una pesquería, manejando la captura como variable de control.

“Esencialmente, el nivel de stock óptimo (X^*) se determina por parámetros biológicos (r, K), tecnológicos (q) y económicos (p, c, δ)” (Bjørndal, y Bezabih, 2010). Ver Anexo B.

Cálculo de la renta del recurso óptima

La renta del recurso óptima (π^*), se calcula aplicando la ecuación (2.23), considerando la captura óptima (H^*) y el esfuerzo óptimo (E^*).

Cálculo del derecho de pesca

El derecho de pesca (FF)⁴⁰ se calcula mediante la ecuación aplicada por Viet Thanh (2006) en su análisis bioeconómico de la pesquería del langostino en el Golfo de Tonkin, Vietnam, la cual se ilustra en la Figura 26.

$$(p - FF) \cdot H^* = c \cdot E^* \quad 4.1$$

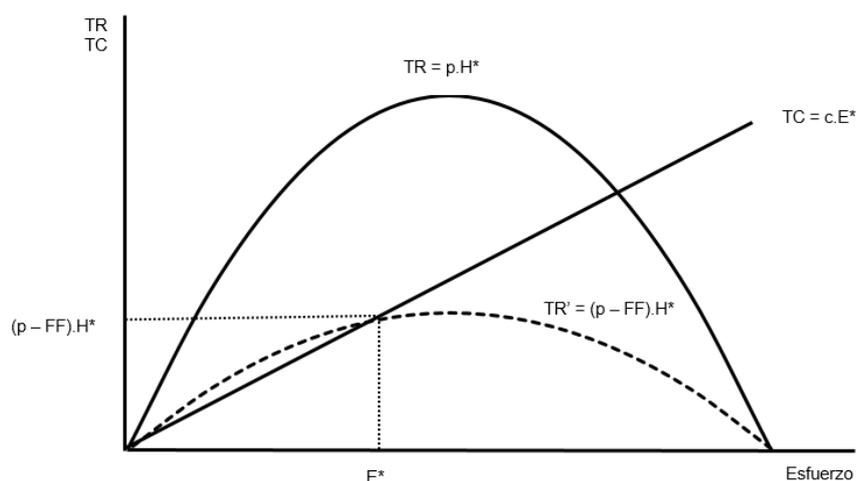
por lo tanto:

$$FF = p - (c \cdot E^* / H^*) \quad 4.2$$

donde p es el precio de la captura (H^*) por tonelada en el desembarque y c es el costo unitario del esfuerzo óptimo (E^*). En términos unitarios, el derecho de pesca estaría dado por la diferencia entre el precio de la captura y el costo del esfuerzo en el nivel del rendimiento óptimo sostenible (OSY).

⁴⁰ FF = Fishing Fee (Tarifa de pesca o derecho de pesca)

Figura 26. Derecho de pesca en el nivel de captura óptima y esfuerzo óptimo



4.2 Diseño muestral

El presente trabajo no considera una muestra en el proceso de investigación, sino el total de capturas del recurso anchoveta con destino al consumo humano indirecto realizadas en el área de estudio, esto es, en la Zona Norte-Centro del litoral comprendida entre los $03^{\circ}30' - 16^{\circ}S$, durante el período 2004-2017, así como el esfuerzo pesquero aplicado a dichas capturas por la flota anchovetera de mayor escala (embarcaciones implementadas con red de cerco, mayores de $32,6 \text{ m}^3$ de capacidad de bodega).

4.3 Técnicas de recolección de datos

Los datos de captura y de esfuerzo pesquero, se han obtenido de los registros del “Programa de Vigilancia y Control de la Pesca y Desembarque en el Ámbito Marítimo”, que se viene ejecutando desde el año 2004 a través de una empresa privada de inspección por encargo de la autoridad pesquera,

conforme al Decreto Supremo N° 027-2003-PRODUCE. La empresa de inspección captura la información en el área de pesaje de la planta de harina de pescado y la remite en tiempo real a la base de datos en la cual queda consignada el nombre y matrícula de la embarcación, tamaño, volumen de anchoveta, lugar, temporada de pesca, fecha y hora de desembarque.

La información sobre montos anuales de derechos de pesca del recurso anchoveta, abonados en moneda nacional por los armadores anchoveteros, fue proporcionada por el Ministerio de la Producción y corresponden al período 2012-2016.

En el caso de los precios de mercado del recurso anchoveta, se tomó como referencia los precios de recursos pelágicos (excepto el atún) publicados en los reportes bianuales sobre mercados globales de alimentos de FAO (2018) y FAO (2015) y, asimismo, se obtuvo información de precios de anchoveta de los estudios académicos por De La Puente *et al.* (2011), Paredes (2012) y Galarza y Collado (2013).

Los costos del esfuerzo pesquero en términos de m³-desembarque, se calcularon a partir de los costos de captura (US\$/TM) obtenidos de los estudios académicos de De La Puente *et al.* (2011), Paredes (2012) y Galarza y Collado (2013), así como de datos de costos de captura (US\$/TM) de una empresa pesquera del sector privado.

4.4 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

Se utilizó la técnica de regresión lineal simple para obtener los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo a y b del modelo bioeconómico dinámico a aplicarse, a partir de los datos históricos de captura y de esfuerzo pesquero del recurso anchoveta de la zona norte-centro, correspondiente al período 2004-2017.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 Estimación del esfuerzo pesquero estandarizado y de la CPUE estandarizada

En la Tabla 8, se muestran los datos históricos anuales de captura de anchoveta del período 2004-2017 de la zona norte-centro, por grupos de embarcaciones pesqueras anchoveteras de mayor escala, así como la estimación del esfuerzo pesquero estandarizado y de su correspondiente CPUE estandarizada, para el total de la flota anchovetera.

Tabla 8. Captura, esfuerzo pesquero estandarizado y CPUE estandarizada

Año	Grupo 1 Tamaño E/P [32,6 - 130 m3]		Grupo 2 Tamaño E/P [131 - 450 m3]		Grupo 3 Tamaño E/P [> 450 m3]		Total Flota anchovetera		
	Captura (TM)	Esfuerzo estandarizado (m3-desembarque)	Captura (TM)	Esfuerzo estándar (m3-desembarque)	Captura (TM)	Esfuerzo estandarizado (m3-desembarque)	Captura (TM)	Esfuerzo estandarizado (m3-desembarque)	CPUE estandarizado
2004	1,356,956	3,050,780	5,109,246	11,281,101	1,136,941	2,502,952	7,603,143	16,834,833	0.452
2005	1,430,028	2,750,638	4,986,740	9,605,759	1,193,272	2,276,552	7,610,039	14,632,949	0.520
2006	1,042,131	1,598,141	3,156,182	5,014,063	788,130	1,246,609	4,986,443	7,858,812	0.635
2007	1,302,145	2,161,988	3,042,927	5,003,286	774,293	1,278,133	5,119,365	8,443,407	0.606
2008	1,174,872	1,836,226	3,276,369	5,270,454	837,945	1,358,481	5,289,186	8,465,160	0.625
2009	1,191,069	2,187,806	3,168,517	5,705,949	1,039,172	1,941,447	5,398,758	9,835,202	0.549
2010	706,117	1,280,459	1,838,562	3,377,417	721,175	1,316,277	3,265,855	5,974,153	0.547
2011	1,292,844	2,083,599	3,385,448	5,467,179	1,460,755	3,884,033	6,139,047	11,434,811	0.537
2012	666,929	1,638,070	1,830,495	4,544,016	868,595	2,092,449	3,366,019	8,274,535	0.407
2013	863,297	1,605,893	2,366,518	4,310,176	1,022,027	1,868,690	4,251,841	7,784,760	0.546
2014	334,137	1,006,363	927,844	2,634,434	431,429	1,273,310	1,693,410	4,914,106	0.345
2015	706,281	1,666,926	2,013,631	4,657,326	894,721	2,148,860	3,614,633	8,473,112	0.427
2016	565,186	1,831,214	1,623,663	4,839,682	687,908	2,040,114	2,876,757	8,711,010	0.330
2017	705,176	1,914,094	1,627,251	4,290,936	727,174	1,942,425	3,059,600	8,147,455	0.376

Durante el período 2004 – 2008, período prereforma, puede advertirse una tendencia creciente de la CPUE, la cual se revierte en el período 2009 – 2017 (reforma), observándose una tendencia sostenidamente decreciente. Considerando que la CPUE es un indicador de abundancia del recurso, podría

decirse que en el período 2009-2017 se ha generado una reducción de la abundancia de la anchoveta.

5.2 Estimación de los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo a y b

Los resultados de la estimación de los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo a y b de la ecuación (2.9), se muestran en la Tabla 9. Se aplicó la técnica de regresión lineal simple. Los resultados indican una relación negativa esperada entre los valores estandarizados de la CPUE y el esfuerzo pesquero, tal como se muestra en la Figura 27. El valor del coeficiente (b), igual a $-2E-08$, expresa la pendiente negativa y el valor del coeficiente (a), $0,7776$, corresponde a la intersección con el eje de las ordenadas. El valor R^2 de $0,9756$ indica que el 97% de las variaciones de la CPUE se explican por la variable explicativa del esfuerzo pesquero estandarizado.

Figura 27. Estimación de los coeficientes de captura a y b

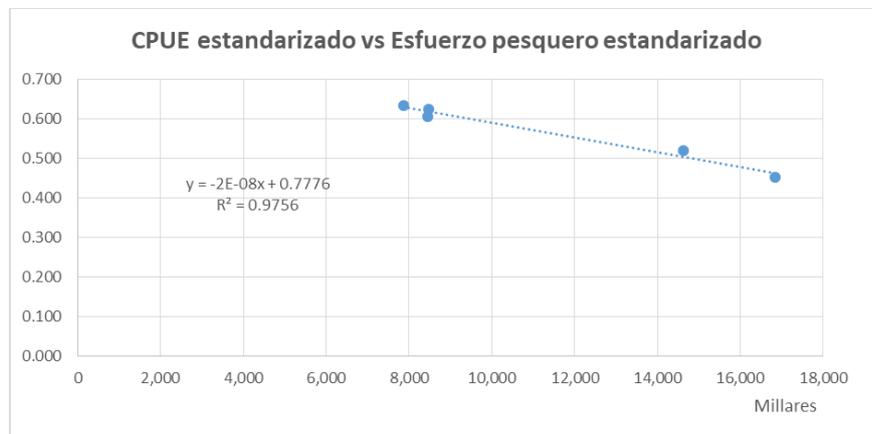


Tabla 9. Coeficientes estimados de captura por unidad de esfuerzo a y b

Modelo	a	b	R^2
Verhulst-Schaefer	0,7776	-2E-08	0,9756

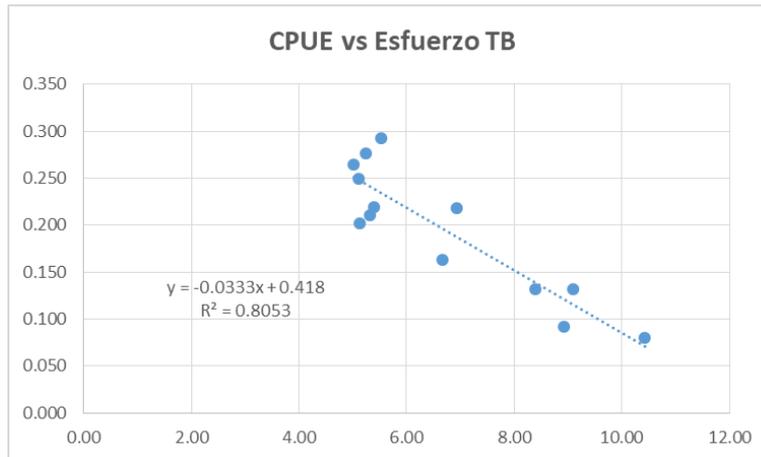
Los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo a y b se estimaron con los datos de captura y de esfuerzo pesquero estandarizado, correspondientes al período 2004 – 2008, es decir, a los últimos cinco (05) años del régimen de pesca con cuota total de captura. La medida de esfuerzo pesquero seleccionada (m³-desembarque), no resultó ser una medida adecuada para el régimen de pesca de cuotas individuales instaurado a partir del año 2009, pues se obtuvo una curva de regresión lineal con pendiente positiva, que no responde al sentido de la ecuación (2.9). Sin embargo, siendo el modelo bioeconómico de Clark-Munro, un modelo predictivo, sus resultados podrían proyectarse al futuro, considerando los niveles superiores de captura obtenidos en el período 2004-2008 con relación al período 2009-2017. No obstante, se abre aquí un punto específico de investigación futura destinada a seleccionar la mejor medida de esfuerzo pesquero para el nuevo régimen de pesca de cuotas individuales de anchoveta iniciado el año 2009.

Cabe indicar que, ante la limitación antes anotada, se ensayaron las medidas de esfuerzo de “duración del viaje” (DV), “tiempo de búsqueda” (TB) y “número

de lances” (NL), seleccionados por Imarpe⁴¹ y aplicados en sus estudios de estimación de la abundancia del recurso anchoveta. Si bien, la relación CPUE/esfuerzo arrojó curvas de regresión lineal con pendiente negativa y con altos valores de R^2 , en particular los esfuerzos de pesca relativos a “tiempo de búsqueda” y “duración del viaje” para el período 2004 - 2017, tal como se muestra en las Figuras 28 y 29, la relación captura/esfuerzo, no siguió la curva parabólica o logística esperada del modelo biológico de Verhulst-Schaefer, que grafica el rendimiento máximo sostenible (MSY), lo cual reafirma la necesidad de investigación futura en esta materia, orientada a determinar una medida de esfuerzo de pesca para el régimen de pesca de cuotas individuales de pesca del recurso anchoveta, que cumpla ambos requisitos teóricos del modelo biológico antes citado, esto es, las formaciones gráficas de i) una curva parabólica o logística en la relación captura y esfuerzo y ii) una curva con pendiente negativa en la relación CPUE y esfuerzo, conforme a las ecuaciones (2.8) y (2.9), respectivamente.

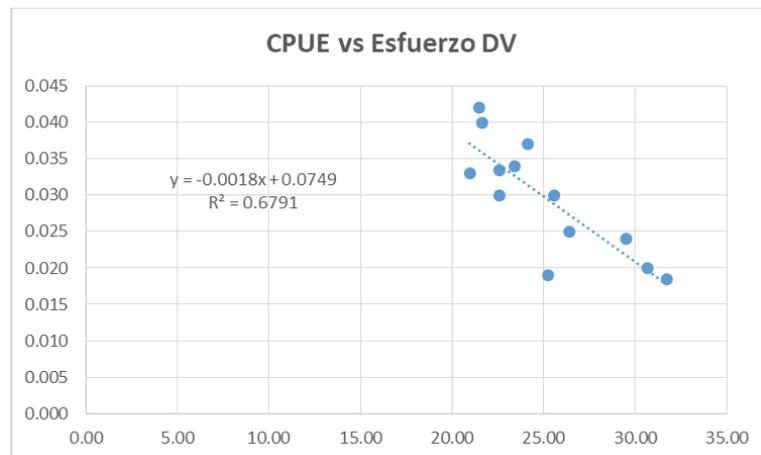
⁴¹ Memorando N° 048-2018-IMARPE/DGIRP de 22 de enero de 2018.

Figura 28. Captura por Unidad de Esfuerzo y Esfuerzo “Tiempo de Búsqueda”



Fuente: Imarpe
Elaboración propia

Figura 29. Captura por Unidad de Esfuerzo y Esfuerzo “Duración del Viaje”



Fuente: Imarpe
Elaboración propia

5.3 Estimación de los parámetros biológicos y tecnológicos K y q

La estimación de los parámetros biológicos y tecnológicos, denominados capacidad de carga (K) y coeficiente de capturabilidad (q), respectivamente,

se realizó aplicando los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo (a) y (b) obtenidos por regresión lineal (Tabla 9) y la tasa intrínseca de crecimiento (r) reportada por Oliveros (2009), conforme se muestra en la Tabla 10. Los parámetros (r) y (K) se asumen fijos (Flaaten, 2014) en los modelos bioeconómicos y biológicos.

Tabla 10. Estimación de los parámetros biológicos y tecnológicos K y q

$a = qK$	➔	$K = \frac{a}{q}$	➔	$K = 31.657.684$ toneladas
$b = \frac{q^2 K}{r}$	➔	$b = \frac{q^2 (\frac{a}{q})}{r}$	➔	$q = 2,45628E - 08$ año $(m^3)^{-1}$ -desemb $^{-1}$
$r = 0,955$ año $^{-1}$, Oliveros (2009)				

Cabe anotar que, el valor estimado de la capacidad de carga del hábitat, $K = 31.657.684$ toneladas, a partir de los datos empíricos de captura y esfuerzo pesquero, correspondientes al período de pesca 2004-2008, es bastante aproximado al valor $K = 33.000.000$ toneladas, señalado por Oliveros (2009).

Asimismo, el valor estimado del coeficiente de capturabilidad, $q = 2,45628E-08$ año $(m^3)^{-1}$ -desembarque $^{-1}$, se encuentra dentro del rango de los resultados obtenidos por Csirke (1989a) en su estudio sobre fluctuaciones estacionales del coeficiente de capturabilidad de la pesquería de la anchoveta peruana, para el período de estudio 1960-1971.

5.4 Cálculo del MSY, MEY, OSY y sus correspondientes niveles de esfuerzo y biomasa.

Para el cálculo del Rendimiento Máximo Sostenible (MSY), el Rendimiento Máximo Económico (MEY) y el Rendimiento Óptimo Sostenible (OSY), así como de sus correspondientes niveles de esfuerzo pesquero y de biomasa, se consideró, según el caso, los coeficientes de captura por unidad de esfuerzo a y b , así como los parámetros biológicos r y K , y el parámetro tecnológico q , así como los parámetros económicos: precio (p) del recurso en el desembarque, expresado en dólares, costo unitario (c) del esfuerzo pesquero, expresado en dólares/m³-desembarque, tasa social de descuento y el promedio ponderado del costo de capital (WACC⁴² por sus siglas en inglés); todos ellos se muestran en la Tabla 11.

Cabe indicar que, debido a la falta de registros oficiales sobre costos de captura del recurso anchoveta, se optó por considerar como costo unitario promedio de captura (C), para el período 2004-2008, el costo unitario de captura promedio ponderado de US\$ 85/t, resultante del costo mencionado por Galarza y Collado (2013) para el año 2006 de US\$ 76,31 por tonelada, el cual incluye el costo de oportunidad del capital (WACC) y el costo unitario reportado por De la Puente, *et al.* (2011) para la primera temporada de pesca del año 2009, bajo el supuesto que dicho costo aun respondería al patrón característico del régimen prereforma del año 2008. A dicho costo unitario se le sumó el corresponde costo de oportunidad del capital (13%), arrojando el

⁴² Weighted Average Cost of Capital (WACC)

valor de US\$ 93,27/t (Tabla 2). El costo unitario de captura (C) permite estimar el costo unitario del esfuerzo (c) estableciendo la igualdad entre el costo total de captura y el costo total del esfuerzo.

Tabla 11. Coeficientes de captura y parámetros biológicos y económicos 2004-2008

<i>Símbolo</i>	<i>Definición</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
a	Coeficiente de captura (intersección)	constante	0,7776
b	Coeficiente de captura (pendiente)	constante	-2E-08
r	Tasa intrínseca de crecimiento	año ⁻¹	0,955
q	Coeficiente de capturabilidad	año (m ³) ⁻¹ -desembarque ⁻¹	2,45628E-08
K	Capacidad de carga del hábitat	toneladas	31.657.684
p	Precio promedio del recurso	US\$/t	128
C	Costo unitario promedio de captura	US\$/t	85
c	Costo unitario promedio del esfuerzo	US\$/m ³ -desembarque	46,26
δ	Tasa social de descuento promedio	%	10,596
WACC	Promedio ponderado del costo de capital	%	13

La tasa social de descuento (δ) corresponde a la tasa aplicada en proyectos de inversión pública, calculada con la rentabilidad real ponderada del capital, utilizando todos los instrumentos de ahorro del mercado (Ministerio de Economía y Finanzas, 2012). Para los fines del presente trabajo, se calculó la tasa anual promedio del período 2004-2008.

Para el caso del WACC, se tomó como referencia la tasa aplicada por Galarza y Collado (2013). Y, en el caso del precio del recurso en el desembarque, se calculó el promedio ponderado del precio de pelágicos, excepto el atún, publicados por FAO (2015) y FAO (2018).

Cálculo del Rendimiento Máximo Sostenible (MSY)

La Tabla 12 muestra los resultados del rendimiento máximo sostenible (H_{MSY}) del recurso anchoveta y sus correspondientes niveles de esfuerzo pesquero y biomasa de la zona norte-centro para el período 2004-2008, calculados conforme al modelo biológico de Verhulst-Schaefer.

Tabla 12. Cálculo del Rendimiento Máximo Sostenible

Modelo	Captura (t) $H_{MSY} = a^2 / 4b$	Esfuerzo (m3-desembarque) $E_{MSY} = a / 2b$	Biomasa (t) $X_{MSY} = K / 2$
Verhulst-Schaefer	7.558.272	19.440.000	15.828.842

La aplicación del modelo Verhulst-Schaefer, determina que la captura (H_{MSY}) o rendimiento máximo sostenible, es de 7.558.272 toneladas y que ésta se genera a partir de una biomasa de 15.828.842 toneladas. Cabe indicar que, Csirke (1989) registró niveles mensuales estimados de biomasa promedio de anchoveta entre 13,2 y 17,7 millones de toneladas en la zona norte-centro del litoral, el año 1967, mientras que Oliveros (2010), reporta biomاسas medias anuales estimadas en 18,5 millones de toneladas los años 1969-1970.

Analizando los datos históricos de captura de anchoveta en la zona norte-centro, que se muestran en la Tabla 8, se verifica que la captura (H_{MSY}), ocurrió

los años 2004 y 2005, correspondientes al régimen de cuota total de captura, en los cuales se desembarcó 7.603.143 y 7.603.039 toneladas, respectivamente. Durante el régimen de cuotas individuales de pesca (2009-2017), se verifica que no se alcanzó el nivel de rendimiento máximo sostenible, pues el más alto nivel de desembarque de anchoveta fue de 6.139.047 toneladas, obtenido el año 2011, siendo el desembarque promedio anual de dicho período de 3,74 millones de toneladas, mientras que el desembarque promedio anual del período 2004-2008, fue de 6,12 millones de toneladas de anchoveta.

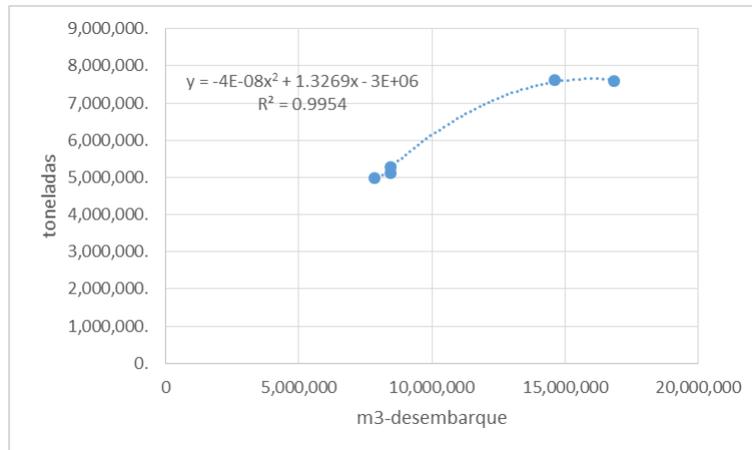
Cabe anotar que, los años 2004 y 2005, en los que se alcanzó desembarques de anchoveta en el nivel de rendimiento máximo sostenible, las biomásas hidroacústicas anuales fueron de 12,7 y 12,5 millones de toneladas, respectivamente, según los niveles de biomasa por temporada de pesca estimados por Imarpe⁴³; ambos volúmenes, algo más bajos que la biomasa calculada mediante el modelo Verhulst-Schaefer (Tabla 12).

Por otra parte, se verificó que la medida seleccionada de esfuerzo pesquero (m^3 -desembarques), permite cumplir con el segundo requisito del modelo de Verhulst-Schaefer, referido a la formación de una curva cuadrática o parabólica, expresada en la ecuación (2.8) que relaciona los niveles de captura y esfuerzo. La Figura 30 muestra esta relación con un $R^2 = 0,9954$ y confirma

⁴³ Memorando N° 048-2018-IMARPE/DGIRP de 22 de enero de 2018.

el rendimiento máximo sostenible (H_{MSY}) y el esfuerzo (E_{MSY}), calculados mediante las ecuaciones del modelo Verhulst-Schaefer (Tabla 12).

Figura 30. Rendimiento Máximo Sostenible (MSY): Captura vs Esfuerzo



Cálculo del Rendimiento Máximo Económico (MEY)

El rendimiento máximo económico (H_{MEY}) del recurso anchoveta y sus correspondientes niveles de esfuerzo pesquero y biomasa de la zona norte-centro para el período 2004-2008, calculados de acuerdo al modelo bioeconómico estático de Gordon-Schaefer, se muestran en la Tabla 13.

Según Clark (como se citó en Clarke *et al.*, 1992), la idea detrás del MEY es que la pesquería se maneja como un bien de capital que maximiza el valor presente neto [de un período discreto].

Tabla 13. Cálculo del Rendimiento Máximo Económico

Modelo	Captura (t) $H_{MEY} = \frac{a^2 p^2 - c^2}{4bp^2}$	Esfuerzo (m3-desembarque) $E_{MEY} = \frac{(a - \frac{c}{p})}{2b}$	Biomasa (t) $X_{MEY} = \frac{K}{2} + \frac{c}{2pq}$	Renta π (US\$)
Gordon-Schaefer	5.916.558	10.379.883	23.205.959	275.086.669

Se puede advertir que la captura (H_{MEY}) es 21,72% más baja que la captura (H_{MSY}); y, el esfuerzo (E_{MEY}), 46,60% más bajo que el esfuerzo (E_{MSY}). Esto significa que, con menor esfuerzo es posible maximizar la renta del recurso, pero siempre que se consiga incrementar la biomasa (X_{MEY}) en un 46,60% con respecto a la biomasa (X_{MSY}). La renta del recurso (π) en el nivel del máximo rendimiento económico, se calcula a partir de la ecuación (2.14).

Cálculo del Rendimiento Óptimo Sostenible (OSY)

La Tabla 14 muestra los resultados del rendimiento óptimo sostenible del recurso anchoveta y sus correspondientes niveles de esfuerzo pesquero y biomasa de la zona norte-centro para el período 2004-2008, calculados según el modelo bioeconómico dinámico en tiempo continuo de Clark-Munro, con una tasa social de descuento de $\delta = 10,596$ (Tabla 11).

El modelo de Clark-Munro, a diferencia del modelo de Gordon-Schaefer, considera en su formulación la variable tiempo, implícita en la aplicación de la tasa social de descuento que permite calcular y maximizar el valor presente de los flujos de retornos económicos netos (renta del recurso) futuros.

Tabla 14. Cálculo del Rendimiento Óptimo Sostenible

<i>Ecuación</i>	Valor
<p><i>Biomasa óptima (t)</i></p> $X^* = \frac{K}{4} \left[\left(\frac{c}{pqK} + 1 - \frac{\delta}{r} \right) + \sqrt{\left(\frac{c}{pqK} + 1 - \frac{\delta}{r} \right)^2 + \frac{8c\delta}{pqKr}} \right]$	22.596.442
<p><i>Captura óptima (t)</i></p> $H^* = r \cdot X^* \left(1 - \frac{X^*}{K} \right)$	6.176.636
<p><i>Esfuerzo óptimo (m3-desembarque)</i></p> $E^* = \frac{H^*}{q \cdot X^*}$	11.128.454

La estimación de la biomasa óptima (X^*) es de singular importancia en el modelo de Clark-Munro, pues debe convertirse en el objetivo de la administración pesquera, manejando la captura como variable de control. Así, con una tasa social de descuento de 10,956%, se calculó una biomasa óptima (X^*) de 22.596.442 toneladas, inferior en 2,62% a la biomasa del nivel de rendimiento máximo económico (X_{MEY}) de 23.205.959 toneladas calculada mediante el modelo de Gordon-Schaefer el cual no considera en su

formulación una tasa social de descuento (δ). Como se mencionó anteriormente, la biomasa hidroacústica anual de anchoveta estimada por Imarpe durante el período 2004-2008, estuvo por debajo de 12,7 millones de toneladas.

La ecuación (2.35) del modelo de optimización de Clark-Munro, sugiere invertir en el recurso en caso que la biomasa óptima estimada resulte superior a la biomasa actual, a fin de alcanzar, tan rápido como sea posible, el nivel poblacional óptimo. En este caso, invertir en el recurso significa cerrar la zona de pesca completamente y suspender temporalmente la actividad pesquera ($h = 0$), a fin de permitir la reconstrucción del recurso (Scott, 1955; Clark y Munro, 2017).

La captura óptima (H^*) es de 6.176.3636 toneladas, esto es, 4.4% mayor que la captura (H_{MEY}) de 5.916.558 toneladas, mientras que el esfuerzo óptimo (E^*) fue de 11.128.454 m³-desembarque, 7,2% mayor que el esfuerzo (E_{MEY}) de 10.379.883 m³-desembarque.

Conviene anotar que, en general, los resultados de esfuerzo y biomasa de anchoveta en los niveles de MSY, MEY y OSY coinciden con el marco teórico explicitado en las Figuras 21 y 24.

La captura óptima (H^*) y el esfuerzo óptimo (E^*), permitirán calcular la renta óptima del recurso (π^*).

Cálculo de la Renta del Recurso Óptima

La Tabla 15 muestra los resultados de la renta del recurso óptima (π^*) de la zona norte-centro para el período 2004-2008, así como H^* , E^* , X^* y el $CPUE^*$, calculados en base al modelo bioeconómico dinámico en tiempo continuo de Clark-Munro, aplicando diversos niveles de tasa social de descuento (δ). La renta del recurso óptima (π^*) se calcula a partir de la ecuación (2.23).

Tabla 15. Renta del Recurso Óptima a diversos niveles de tasa social de descuento

Modelo	δ (%)	H^* (t)	E^* (m3- desembarque)	X^* (t)	π^* (US\$)	$CPUE^*$ (t/m3- desembarque)
Clark- Munro	0	5.916.558	10.379.883	23.205.959	275.086.669	0.570
	5	6.045.251	10.742.238	22.910.915	274.751.432	0.563
	10,59	6.176.636	11.128.454	22.596.442	273.655.962	0.555
	20	6.370.488	11.733.561	22.103.740	270.408.078	0.543
	∞	7.523.436	20.759.766	14.754.234	0	0.362

El nivel estimado de biomasa óptima (X^*) es de 22.596.442 toneladas, a una tasa social de descuento, $\delta = 10,59\%$, la cual corresponde a la tasa aplicada por Ministerio de Economía y Finanzas (2012) en la evaluación de proyectos de inversión pública. El nivel estimado de biomasa óptima, indica la necesidad de una substancial inversión en el stock, dado que la biomasa promedio anual entre el 2004-2008 fue de 10,6 millones de toneladas en la zona norte-centro,

de acuerdo a los niveles de biomasa por temporada de pesca estimados por Imarpe. Esencialmente, se requiere reconstruir el stock natural de anchoveta a niveles anteriores al año 2004. Invertir en el stock significa que las capturas deberían reducirse por debajo del crecimiento natural del stock durante un período de tiempo a fin de permitir su crecimiento y recuperación. Al nivel de stock óptimo se le denomina también nivel de stock en el estado estacionario (Bjørndal y Bezabih, 2010), lo cual supone un nivel de biomasa óptima sostenible en términos bioeconómicos que maximiza la renta del recurso *ad infinitum*.

Se puede observar, asimismo, que la biomasa óptima (X^*), varía entre 23.205.959 toneladas ($\delta = 0$) y 14.754.234 toneladas ($\delta = \infty$). Se confirma que los valores obtenidos con la tasa social de descuento $\delta = 0$ (es decir, sin tasa social de descuento), coinciden con los valores estimados para el *MEY*, lo cual supone que el “modelo Gordon-Schaefer, implícitamente, asume que la tasa social de descuento, δ , es: $\delta = 0$ ” (Clark y Munro, 2017) y que el modelo dinámico de Clark-Munro es una extensión del modelo estático de Gordon-Schaefer. Los resultados obtenidos con la tasa de descuento $\delta = \infty$, coinciden con los valores de equilibrio bionómico que corresponden a una pesquería de acceso abierto, en la cual desaparece la renta del recurso, puesto que, el costo total equivale al ingreso total y, desde el análisis marginal, el costo marginal equivale al ingreso promedio (Gordon, 1954; Flaaten, 2014), conforme se detalla en la sección 2.2.4 de esta tesis. Ambos modelos, Clark-Munro y Gordon-Schaefer, maximizan la renta del recurso, con la diferencia de que el

primero lo hace con relación a flujos esperados de beneficios futuros y, el segundo, en relación a beneficios actuales.

Asimismo, se observa que el nivel óptimo de la biomasa, X^* , decrece a medida que δ aumenta, y, consecuentemente, tenderá a aproximarse a la biomasa en equilibrio bionómico (pesquería de acceso abierto) cuando $\delta \rightarrow +\infty$, de acuerdo a lo mencionado por Berachi (2003). Estos resultados, también confirman lo indicado por Bjørndal y Bezabih (2010) en el mismo sentido, cuando afirman que el nivel de equilibrio de la biomasa, X^* , se reduce con tasas de descuento más altas y que esto se debe a que las tasas de descuento más altas hacen que las capturas actuales sean más atractivas que las capturas menores que permitirían un aumento de las capturas futuras. En otras palabras –señalan- el aumento de las tasas de descuento hace que las ganancias actuales sean más valiosas que las futuras.

La captura óptima, H^* , estimada con la tasa social de descuento $\delta = 10,59\%$, es de 6.176.636 toneladas, mientras que el promedio de desembarque en el período 2004 – 2008 fue 6.121.634 toneladas de anchoveta (Tabla 8); nivel de pesca similar a la captura óptima. Se observa, asimismo, que la captura óptima, H^* , no cambia mucho para las tasas de descuento entre 0 y 10,59%. Esto se debe a la curvatura de la función de crecimiento estimada. Se determina, asimismo, que un nivel de captura de 7.523.436 toneladas, corresponde al punto de equilibrio bionómico, en el cual la renta del recurso (π) es cero, propio de un régimen de acceso abierto, conforme a lo

mencionado por Gordon (1954). Este nivel de captura es ligeramente inferior al alcanzado los años 2004 y 2005: 7.603.143 toneladas y 7.610.039 toneladas, respectivamente; tal vez, por ello, al año siguiente la captura se cayó a 4.986.443 toneladas (Tabla 8). Al nivel de captura óptima se le denomina también captura anual en el estado estacionario (Bjørndal y Bezabih, 2010), y tiene la particularidad de maximizar la renta del recurso *ad infinitum*.

El esfuerzo óptimo (E^*) se estima en 11.128.454 m³-desembarque, ligeramente inferior al esfuerzo promedio del período 2004-2008 que se ubicó en 11,2 millones de m³-desembarque, registrándose los niveles más altos de esfuerzo pesquero los años 2004 y 2005 con 16,8 y 14,6 millones de m³-desembarque, respectivamente.

La Renta del Recurso Óptima (π^*) estimada con una tasa social de descuento $\delta = 10,59\%$, es de US\$ 273.655.962. Dicho monto total se obtiene a partir de una biomasa óptima (X^*) de 22.596.442 toneladas, una captura óptima (H^*) de 6.176.636 toneladas y un esfuerzo óptimo (E^*) de 11.128.454 m³-desembarque.

Cálculo del derecho de pesca

El derecho de pesca del recurso anchoveta bajo condiciones de optimización dinámica continua, se calculó a partir de la ecuación (4.2) y los resultados se

muestran en la Tabla 16. Se consideró conveniente estimar los derechos de pesca para los mismos niveles de tasa social de descuento aplicados en el caso del cálculo de la renta del recurso óptima, a efectos de ver los cambios en función a la variación de la tasa de descuento. Los datos de captura óptima (H^*) y esfuerzo óptimo (E^*), aplicados en la ecuación (4.2) corresponden a los mostrados en la Tabla 14; y, los datos de precio del recurso por tonelada y el costo unitario del esfuerzo pesquero son los que se muestran en la Tabla 11, los cuales -como ya se mencionó- se asumen constantes para el período de pesca 2004 – 2008, correspondiendo a precios y costos promedio de dicho período.

Tabla 16. Derecho de pesca a diversos niveles de tasa social de descuento

Modelo	δ (%)	<i>Derecho de Pesca</i> (<i>FF</i>) (US\$/t)
Clark- Munro	0	46,49
	5	45,45
	10,59	44,31
	20	42,45
	∞	0

El monto del derecho de pesca, calculado a la tasa social de descuento aplicada en proyectos de inversión pública ($\delta = 10,59\%$) y bajo condiciones de optimización de la biomasa, de la captura y del esfuerzo pesquero, fue de US\$ 44,31/t (35% del precio del recurso). Estudios han demostrado que los

niveles históricos de renta podrían haber estado entre 10 y 60 por ciento de los ingresos brutos de la pesca (Campbell y Haynes, 1990).

La variación del importe del derecho de pesca sigue la misma tendencia que la renta del recurso con respecto al cambio de la tasa social de descuento (Tabla 14); es decir, el derecho de pesca se reduce a medida que la tasa de descuento aumenta, debido al incremento del costo del esfuerzo como consecuencia de una reducción de la biomasa y, pese a que, la captura se incrementa por la atracción que significan tasas de descuento más altas que hace que las ganancias actuales sean más valiosas que las futuras.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

6.1 Derecho de Pesca

El método de optimización dinámica de Clark-Munro, utilizado en la presente tesis, ha permitido calcular un derecho de pesca por la extracción del recurso anchoveta de US\$ 44,31/t (35% del precio del recurso), estimado en base a la maximización de la renta del recurso a una tasa social de descuento de $\delta = 10,59\%$, aplicada en la evaluación de proyectos de inversión pública por el Ministerio de Economía y Finanzas (2012). La maximización de la renta del recurso, se obtuvo bajo el supuesto de invertir en el stock del recurso un volumen tal que permitiera alcanzar una biomasa de 22.596.442 toneladas y capturar 6.176.636 toneladas con un esfuerzo de pesca de 11.128.454 m³-desembarque. Dichos parámetros óptimos se estimaron a partir de las series históricas 2004 – 2008 (Tabla 8), correspondientes a un período de prereforma.

El monto pagado por los armadores pesqueros por concepto de derecho de pesca entre el 2012 – 2016, fue de US\$ 3,91 en promedio (Tabla 6). Dicho monto se mantuvo inalterable por diez años conforme a lo dispuesto por el Decreto Legislativo N° 1084 que introdujo el régimen de cuotas individuales de pesca en la extracción del recurso anchoveta y la obligatoriedad de aportes por parte del sector privado pesquero para atender compromisos que abarcaron seis rubros: aporte para la jubilación, aporte para la caja de beneficios del pescador, pago fijo y pago variable para el programa de

reconversión laboral (Foncopes), pago del programa de vigilancia y control de desembarques y pago por el sistema de seguimiento satelital (Sisesat), significando todo ello, un aporte total adicional al pago por derecho de pesca de US\$ 3,39/t (Galarza y Collado, 2013).

Al momento de la redacción de la presente tesis, se viene debatiendo las propuestas del Estado sobre el modo y forma del cálculo de los derechos de pesca del recurso anchoveta, así como el monto resultante, el cual se basa en la determinación de la renta del recurso como nuevo criterio de cálculo, convirtiéndose, por tanto, el costo de extracción del recurso en factor clave del nuevo método propuesto. Así, la Sociedad Nacional de Pesquería, el gremio más importante del sector privado pesquero, señala en un medio local⁴⁴ que el costo de extracción estimado por la autoridad pesquera no obedece a un costo real, pues ha determinado US\$ 105 por tonelada de recurso extraído, estando en realidad el costo de extracción de anchoveta por encima de los US\$ 170 por tonelada. Asimismo, se señala en la nota de prensa que, además del derecho de pesca, que equivale a US\$ 3,95 por tonelada, sus afiliados vienen pagando otros aportes vinculados a la actividad extractiva que hacen un total de US\$ 14,65 por tonelada.

Sobre este particular, cabe enfatizar que los estudios académicos revisados mencionan costos de extracción entre US\$ 76 – US\$ 102 por tonelada, en el período 2006 – 2011, es decir previo a la reforma y durante los tres primeros

⁴⁴ Diario Gestión de 25/04/2019. Entrevista a presidenta de la Sociedad Nacional de Pesquería.

años de vigencia de ésta. La eficiencia nunca fue una virtud escatimada al nuevo régimen de pesca instituido, lo cual supone un efecto directo en la reducción de costos y una mejora de los márgenes de utilidad en la extracción pesquera. Por tanto, no podría descartarse que el costo al que alude el gremio pesquero se refiera al costo de una actividad integrada entre la propia actividad extractiva y la de procesamiento, vista como una sola unidad productiva, considerando que las plantas de harina y aceite de pescado permanecen cerradas durante la ausencia de pesca por veda biológica. De cualquier manera, conviene precisar que la renta del recurso se determina considerando únicamente el costo del esfuerzo pesquero.

La pregunta que corresponde hacer en este momento es si el monto del derecho de pesca estimado mediante el modelo Clark-Munro, a partir de la información de captura y esfuerzo correspondiente a un período de prereforma, podría aplicarse al régimen de reforma pesquera del recurso anchoveta iniciado el 2009. Parece que no, ya que, si bien el modelo Clark-Munro responde a un enfoque dinámico predictivo, estamos frente a dos regímenes de pesca distintos, el primero menos eficiente que el segundo, y, adicionalmente, la medida de esfuerzo pesquero diseñada en el presente estudio resultó incompatible con el régimen de pesca vigente del recurso anchoveta, tal como se explica más adelante. No obstante, parece razonable considerar el monto estimado del derecho de pesca como un monto base referencial y, de hecho, menor al que pudiera determinarse en un régimen de cuotas individuales de pesca, supuestamente, más eficiente y rentable.

Conviene precisar, sin embargo, que para efectos metodológicos el derecho de pesca de la anchoveta se calculó en base a precios de pelágicos (excepto el atún) obtenidos del Appendix Table 29: Fish Price Indices, de FAO, ante la ausencia de información estadística en el país sobre precios de anchoveta para consumo humano indirecto, conforme se indicó en la sección 1.1.6. Asimismo, y con el mismo propósito, se usaron costos estimados de trabajos académicos para años específicos, no de series de datos provenientes de la propia industria.

De cualquier modo, y al margen de la precisión anotada en el párrafo anterior, se ha validado, desde un enfoque cuantitativo de la investigación científica, el modelo dinámico Clark-Munro como herramienta de cálculo de la renta del recurso, determinándose que la renta calculada a una tasa social de descuento $\delta = 0\%$, es igual a la obtenida mediante el modelo estático de Gordon-Schaefer, usado ampliamente en el análisis bioeconómico de las pesquerías en el mundo. Ver Tablas 13 y 15.

En consecuencia, se confirma la hipótesis planteada en la presente tesis, en el sentido que la renta del recurso, estimada mediante el modelo bioeconómico de optimización dinámica en tiempo continuo de Clark y Munro (1975), puede constituirse en un fundamento económico válido para el cálculo de los derechos de pesca de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*).

6.2 Captura y esfuerzo de pesca

Tanto la captura óptima de anchoveta, 6.176.636 toneladas, como el esfuerzo óptimo de esta pesquería, 11.128.454 m³-desembarque, estimados por el modelo Clark-Munro para el período 2004-2008, a una tasa social de descuento $\delta = 10,59\%$, coincidieron con el promedio anual de captura y esfuerzo pesquero de dicho período. No hay que olvidar que la captura óptima estimada tiene la virtud de maximizar la renta del recurso *ad infinitum*.

Considerando que la captura promedio anual de anchoveta, según las series históricas del período 2009-2017, fue de 3,7 millones de toneladas, cabe preguntarse si puede ser válido en este análisis concluir que durante dicho período se realizaron capturas anuales alejadas de un nivel óptimo de pesca y, por tanto, distante también de un renta del recurso óptima. Dicha conclusión parece tener validez lógica, en la medida que los estimados de captura y de biomasa óptimos pertenecen al mismo stock poblacional y guardan relación con los niveles biológicos correspondientes al MSY y con el marco teórico revisado. Consecuentemente, sería razonable también sugerir la necesidad de invertir en el stock del recurso dentro del régimen de cuotas individuales de pesca, a fin de alcanzar una captura en el nivel de estado estacionario determinado, que permita maximizar la renta del recurso *ad infinitum*.

Debe anotarse que la medida seleccionada de esfuerzo pesquero en el presente estudio –expresado en términos de m³-desembarque- resultó únicamente compatible y funcional con la serie histórica 2004 – 2008,

correspondiente a un período de prereforma; y que, los intentos por aplicar las medidas de selección del esfuerzo pesquero diseñadas como indicadores de abundancia por el Instituto del Mar del Perú, en términos de “días de viaje”, “tiempo de búsqueda” y “número de lances”, para la serie histórica 2009 – 2017 correspondiente al período de reforma, tampoco resultaron conformes al marco teórico a la hora de graficar las relaciones “Captura-Esfuerzo”.

En consecuencia, un trabajo futuro de investigación académica podría enfocarse en la necesidad de seleccionar una medida de esfuerzo pesquero compatible con las características del régimen de pesca vigente desde el año 2009, que permita aplicar sin limitaciones el modelo bioeconómico dinámico de Clark-Munro.

6.3 Biomasa

La biomasa óptima de anchoveta estimada por el modelo Clark-Munro en el nivel de estado estacionario, a una tasa social de descuento $\delta = 10,59\%$, es de 22.596.442 toneladas para el período de prereforma 2004-2008, en tanto que la biomasa hidroacústica anual de anchoveta estimada por Imarpe para el mismo período, estuvo por debajo de 12,7 millones de toneladas. La biomasa óptima antes mencionada generaría una captura óptima de 6.176.636 toneladas y una renta óptima en valor presente de US\$ 273.655.962, *ad infinitum*.

Para efectos del presente análisis asumamos que, desde el punto de vista biológico, el nivel de estado estacionario estimado para la biomasa del recurso anchoveta en el período 2004-2008, es válido también para el período 2009-2017, períodos de prereforma y reforma, respectivamente.

En tal sentido, y de acuerdo al marco teórico revisado, sería necesario diseñar una política de recuperación del stock hasta alcanzar el nivel de estado estacionario estimado para la biomasa del recurso, la cual supone evaluar diferentes escenarios atendiendo los posibles efectos socioeconómicos resultantes de la medida a adoptarse. No debe perderse de vista que durante el período 2009-2017 (Figura 9), se aprecia una reducción sostenida de la captura de anchoveta, coincidente con la autorización de pesca durante el mes de enero de cada año, situación que no se había dado antes de la reforma pesquera y que merecería ser evaluada a la hora de implementar una política de inversión en el stock del recurso.

Otro aspecto importante a tenerse en cuenta a la hora de dar por concluida la temporada de pesca, y que contribuiría a la reconstrucción del stock del recurso, es la pérdida de peso que sufre el recurso durante el viaje a puerto y en el desembarque en la planta de harina y aceite de pescado, el cual llegaría a un 14% en promedio, según reporta Oliveros (2009) en su estudio sobre el manejo sostenible del stock de la anchoveta peruana. Esto es enteramente razonable, dado que el Instituto del Mar del Perú recomienda una cuota de pesca en base al peso vivo de la anchoveta, mientras que la autoridad

pesquera da por concluida la temporada de pesca sobre la base del peso desembarcado del recurso. Ambos pesos son diferentes.

6.4 Implicancias de política

El análisis bioeconómico del caso de la pesquería de la anchoveta peruana genera algunas implicancias de política pesquera relativas a dos aspectos fundamentales: el cálculo de los derechos de pesca y la gestión del recurso.

Con respecto al primer tema, queda en evidencia que existe base teórica suficiente para sustentar -desde una perspectiva científica- una nueva metodología para el cálculo de los derechos de pesca del recurso anchoveta, relativo a la aplicación del concepto de maximización de la renta del recurso a la actividad extractiva. Asimismo, la autoridad pesquera deberá elegir si, en su condición de propietario del recurso, toma la totalidad de la renta del recurso o sólo una parte de ella. Esta decisión estará en función del análisis de los costos de administración de la pesquería y de las necesidades de reinversión en activos fijos del armador pesquero o en la diversificación de su inversión en la industria pesquera y su impacto en la generación de empleo.

Con relación al segundo tema, la gestión del recurso supone la inversión en el stock del recurso hasta alcanzar el nivel estimado de estado estacionario de la biomasa, usando la captura como variable de control. Invertir en el stock significa incorporar a la biomasa parte o todo el volumen del crecimiento natural del recurso, cuya captura se decide diferir para aumentar la cantidad

disponible a usarse en fecha futura con un beneficio mayor y sostenido. Así, el administrador de la pesquería, deberá analizar diferentes escenarios que permitan alcanzar en el menor tiempo posible el nivel estimado de estado estacionario de la biomasa (Figura 25), sin dejar de considerar dentro del análisis los posibles efectos socioeconómicos de la medida a seleccionarse. Uno de los posibles escenarios a analizar sería la moratoria completa de la pesquería por un período determinado, el cual permitiría alcanzar más rápidamente el stock deseado, sin embargo esta medida draconiana pasa por evaluar la flexibilidad tanto del capital producido como del capital humano, es decir, “que ambos capitales puedan ser movidos con facilidad y sin costo significativo dentro o fuera de la pesquería” (Clark y Munro, 2017). Otro escenario sería la elección arbitraria de un volumen de captura anual. En todos los casos, resulta fundamental el plazo estimado de reconstrucción del stock óptimo, que considera la captura anual autorizada y el saldo del crecimiento natural que se incorpora al stock al final del período anual, así como el cálculo del valor presente de los flujos netos anuales de las capturas. El valor presente de los ingresos netos anuales, permite comparar cada escenario y elegir el que resulte más rentable.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

7.1 Se ha confirmado la hipótesis planteada en la presente tesis, en el sentido que la renta del recurso, estimada mediante el modelo bioeconómico de optimización dinámica en tiempo continuo de Clark y Munro (1975), puede constituirse en un fundamento económico válido para el cálculo de los derechos de pesca de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*).

7.2 El derecho de pesca calculado bajo condiciones de optimización dinámica continua, fue de US\$ 44,31/t para el período de acceso abierto regulado 2004-2008 (prereforma). No fue posible aplicar el modelo bioeconómico dinámico de Clark-Munro al período 2009-2017 correspondiente al régimen de cuotas individuales de pesca (reforma), debido a que la unidad de medida seleccionada del esfuerzo pesquero no resultó compatible con los fundamentos del marco teórico a la hora de aplicarse a la dinámica de pesca de dicho régimen, siendo necesario, por tanto, profundizar los estudios en esta materia. No obstante, dado que, el régimen de pesca del período 2004-2008 se considera menos eficiente que el régimen de cuotas individuales de pesca, y por tanto, este último más rentable que el primero, resulta razonable considerar el monto de derecho de pesca calculado como monto base de referencia y, de hecho, menor al que pudiera determinarse para un régimen de cuotas individuales de pesca.

7.3 Los parámetros biológicos, como la captura óptima (6.176.636 toneladas) y la biomasa óptima (22.596.442 toneladas), estimados para el período 2004-2008, parecen ser aplicables al análisis del régimen de cuotas individuales iniciado el 2009, el cual muestra una captura promedio anual de 3,7 millones de toneladas. Se puede concluir, entonces, en la necesidad de invertir en el stock a fin de facilitar su recuperación y alcanzar el nivel de estado estacionario de la biomasa antes anotado que permitiría un nivel de captura sostenible óptima *ad infinitum*, sin perjuicio de evaluar el problema de la pérdida de peso de la anchoveta durante el viaje a puerto y en el desembarque, y su impacto en el cumplimiento de la cuota total de captura, tal como se mencionó en el acápite 6.3 del capítulo anterior. Los esquemas de recuperación del stock responden a un análisis socioeconómico de la pesquería, tal como se discutió en el acápite 6.4 “Implicancias de política”, del capítulo anterior.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

- 8.1 En el desarrollo del presente estudio, se pudo advertir como una seria limitación la ausencia de registros de precios de anchoveta, así como la falta de estudios sistemáticos sobre costos de extracción de este recurso, no obstante que, la anchoveta es el recurso más importante del país. Se sugiere que el Estado realice los esfuerzos necesarios a fin de superar esta debilidad, ya que, la estimación de la renta del recurso depende de esta información clave.
- 8.2 La medida de esfuerzo pesquero aplicada en el presente estudio resultó compatible y funcional únicamente con el régimen de pesca de prereforma. Se recomienda realizar estudios sobre medidas de esfuerzo pesquero compatibles con el régimen de pesca de cuotas individuales de pesca - vigente desde el año 2009- que permitan aplicar sin limitaciones el modelo bioeconómico dinámico de Clark-Munro para el cálculo de la renta del recurso y del derecho de pesca para dicho régimen de pesca.
- 8.3 Desarrollar estudios sobre posibles escenarios de inversión en el stock de la anchoveta, a fin de alcanzar en el menor plazo posible y con el menor costo social, el nivel de estado estacionario de la biomasa de la anchoveta, sin perjuicio de incluir en el estudio sobre el mejor escenario de inversión, el problema de la pérdida de peso de la anchoveta durante la travesía a

puerto y en el desembarque, y su impacto en el cumplimiento de la cuota total de captura autorizada.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Arnason, R. (2007). *Loss of economic rents in the global fishery. Aquatic Living Resources*. Reikiavik: Department of Economics – University of Iceland.
- Anderson, L.G y Seijo, J. C. (2010). *Bioeconomics of Fisheries Management*. First Edition. John Wiley & Sons, Ltd.
- Banco Central de Reserva del Perú (2017). Tipo de cambio desde 1950. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/estadisticas/cuadros-anuales-historicos.html>
- Berachi, I. (2003). *Bioeconomic analysis of artisanal marine fisheries of Tanzania (Mainland)*. MSc. Thesis in International Fisheries Management. University of Tromsø, Norway.
- Beverton, R. J. H. y Holt, S. J. (1993). *On the dynamics of exploited fish populations*. Chapman & Hall, London.
- Bjørndal, T. y Munro, G. (2012). *The Economics and Management of World Fisheries*. Oxford: Oxford University Press.
- Bjørndal, T. y Bezabih, M. (2010). Resource Rents and Management Regimes: The Case of the Western Channel Sole Fishery. *Marine Resource Economics*, Volume 25, pp. 325–331.
- Bjørndal, T. y Gordon, D.V. (2007). On the Contributions of Professor G.R. Munro to Economics. En: *T. Bjørndal, D.V. Gordon, R. Arnason y R. Sumaila (Eds). Advances in Fisheries Economics*. Blackwell Publishing Ltda, UK.
- Bonifaz, J. y Lama, R. (2013). *Optimización Dinámica y Teoría Económica* (1era. ed. corregida). Universidad del Pacífico, Centro de Investigación. Lima.

- Cadima, E. (2003). *Fish Stock Assessment Manual*. FAO Fisheries Technical Paper 393. Roma.
- Campbell, D. y Haynes, J. (1990). Resource Rents in Fisheries. *Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics*. Canberra.
- Clark, C. W. (1990). *Mathematical bioeconomics: the optimal management of renewable resources* (2da. ed). New York: Wiley.
- Clark, C. W. (2006). Fisheries bioeconomics: why is it so widely misunderstood? *Population Ecology*, 48:95–98.
- Clark, C. W., Clarke, F. H. y Munro, G. (1979). The Optimal Management the Renewable Resources Stocks: Problems of Irreversible Investment. *Econometrica* 47(1):25-47.
- Clark, C. W. y Munro, G. R. (2017). Capital Theory and the Economics of the Fisheries: Implications for Policy. *Marine Resource Economics*, volume 32, number 2.
- Clark, C. W. y Munro, G. R. (1975). Economics of fishing and modern capital theory: a simplified approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2, 92- 106.
- Clarke, R. P., Yoshimoto, S. S. y Pooley, S. G. (1992). A bioeconomic analysis of the Northwestern Hawaiian Islands Lobster fishery. *Marine Resource Economics* 7, 115-140.
- Crutchfield, J. y Zellner, A. (1962). Economic aspects of the Pacific halibut fishery. *Fish. Ind. Res. 1, N° 1. U. S. Department of Interior, Washington, D.C.*

- Csirke, J. (2014). Are catch shares compatible with ecosystem-based management? Experts respond. *Marine Ecosystems and Management*, December 2013-January 2014, Vol. 7(3): 4
- Csirke, J. y Gumy, A. (1996). *Análisis bioeconómico de la pesquería pelágica peruana dedicada a la producción de harina y aceite de pescado*. Boletín Vol 15, N° 2, Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú.
- Csirke, J. (1989a). Changes in the catchability coefficient in the Peruvian anchoveta (*Engraulis ringens*) fishery, p. 207-219. En: *D. Pauly, P. Muck, J. Mendo and I. Tsukayama (eds.) The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18, 438 p.* Instituto del Mar del Perú (IMARPE), Callao, Perú; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschbom, Federal Republic of Germany; and International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines.
- Csirke, J. (1989b). *Introducción a la dinámica de poblaciones de peces*. FAO, Documento Técnico de Pesca, (192):82 p.
- Dale Squires, N. V. (2016). Economics of Fisheries. DOI: 10.1093/obo/9780199363445-0056. Recuperado de <http://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199363445/obo-9780199363445-0056.xml>.
- De La Puente, O., Sueiro, J., Heck, C., Soldi, G. y De La Puente, S. (2011). *La pesquería peruana de Anchoveta*. Centro para la Sostenibilidad Ambiental, Universidad Peruana Cayetano Heredia.

- Dorfman, R. (1969). An interpretation of optimal control theory. *Amer. Econ. Rev.* 59, 817-831.
- Eggert, H. (1998). Bioeconomic Analysis and Management. The case of Fisheries. *Environmental and Resource Economics* 11(3-4): 399-411, Göteborg University, Sweden.
- FAO (2018). *Food Outlook. Biannual Report on Global Food Markets*. Roma.
- FAO (2016). *Effort rights in fisheries management. General principles and case studies from around de world*. Workshop 17-20 September 2012, Bilbao, Spain.
- FAO (2015). *Food Outlook. Biannual Report on Global Food Markets*. Roma.
- FAO (2001). *Directrices para la recopilación sistemática de datos relativos a la pesca de captura*. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 382. Roma. 132p.
- Farroni, P. (2015). *Bioeconomic modeling. An optimal control approach*. Master's Thesis. Libera Università Internazionale degli Studi Sociali Guido Carli, Roma.
- Flaaten, O. (2014). *Fisheries Economics and Management*. Norwegian College of Fishery Science University of Tromsø. Norway.
- Galarza, E. y Collado, N. (2013). Los derechos de pesca: el caso de la pesquería de anchoveta peruana. *Apuntes: Revista de Ciencias Sociales*, Vol. XL, N° 73, 7-42. Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico.
- Gordon, H. S. (1954). The Economic Theory of Common Property Resources: The Fishery. *Journal of Political Economy* 62, No. 2: 124-142.

- Grafton, R. (1995). Rent Capture in a Rights-Based Fishery. En: *Journal of Environmental Economics and Management* 28, 48-67.
- Gutiérrez, M. (2000). Estimados de biomasa hidroacústica de los cuatro principales recursos pelágicos en el mar peruano durante 1983 – 2000. *Bol Inst Mar Perú*, 19 (1-2): 139-156.
- Imperial, M. y Yandle, T. (2005). Taking Institutions Seriously: Using the IAD Framework to Analysis Fisheries Policy. *Society & Natural Resources* Vol 18(6), 493-509.
- Instituto Nacional de Estadística del Perú. (2017). PBI de las actividades económicas, por años. Pesca y Acuicultura (2007 – 2016). Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>
- Kamien, M. y Schwartz, N. (1981). *Dynamic Optimization: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management*. En: *Dynamic Economics: Theory and Applications*. Maurice Wilkinson, *Editor*. Columbia University. New York.
- Kroetz, K., Sanchirico, J., Galarza, E., Corderi, D, Collado, N. y Swiedler, E. (2016). *Examination of the Peruvian anchovy Individual Vessel Quota (IVQ) System*. Inter-American Development Bank. Environment, Rural Development and Disaster Risk Management Division. IDB Working Paper Series N° IDB-WP-749.
- Larkin, S., Álvarez, S., Sylvia, G. y Harte, M. (2011). *Practical Considerations in Using Bioeconomic Modelling for Rebuilding Fisheries*. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 38, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5kgk9qclw7mv-en>.

- Ministerio de Economía y Finanzas (2012). Actualización de la tasa social de descuento. Recuperado de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/estudios_documentos/estudios/Actualizacion_TSD_Junio_2012.pdf
- Munro, G. (2010). The Economics of Overcapacity and the Management of Capture Fishery Resources: A Review. *International Review of Environmental and Resource Economics* 4(2):93-122.
- Munro, G. y Sumaila, U. (2015). On the Contributions of Colin Clark to Fisheries Economics. *Environmental and Resource Economics* 61(1):1–17.
- Nurayanakumar, R. (2013). Economics, fisheries and responsible fisheries management. En: *ICT –oriented Strategic Extension for Responsible Fisheries Management, 05 – 25 November 2013, 345-352.*
- Ñiquen, M., Bouchon, M., Cahuín, S. y Díaz, E. (2000). Pesquería de Anchoveta en la Costa Peruana. *Bol. Inst Mar Perú* Vol. 19, N° 1 y 2: 117 – 124.
- Oliveros, D., Guevara, R., Simmonds, J., Csirke, J., Gerlotto, F., Peña, C. y Tam, J. (2010). Integrated assessment model for the north-central stock of Peruvian anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns. *Bol Inst Mar Perú* 25(1-2):49-55.
- Oliveros, D. (2009). *Modelo de control viable para el manejo sostenible del stock de anchoveta peruana (Engraulis ringens)*. Tesis para optar el título de Biólogo. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Agraria La Molina. 66 pp.
- Palomares, M.L., Muck, P., Mendo, J., Chuman, E., Gomez, O. y Pauly, D. (1982). Growth of the Peruvian Anchoveta (*Engraulis ringens*), 1953 to 1982, p. 117-

141. En: *D. Pauly and I. Tsukayama (eds). The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. ICLARM Studies and Reviews 15.*
- Paredes, C. (2012). *Eficiencia y equidad en la pesca peruana: la reforma y los derechos de pesca.* Lima, Instituto del Perú, Universidad de San Martín de Porres.
- Perea, A., Peña, C., Oliveros, D., Buitrón, B. y Mori, J. (2011). Producción potencial de huevos, reclutamiento y veda reproductiva de la anchoveta peruana (*Engraulis ringens*): Implicaciones en el manejo pesquero. *Ciencias Marinas* 37(4B): 585–601
- Pontryagin, L., Boltyanskii, V., Gramkrelidze, R. y Mishchenko, E. (1962). “*The Mathematical Theory of Optimal Processes*”. Wiley, New York.
- Rodgers, T. y Webster, S. (2007). Resource rent mechanisms in Australian primary industries: some observations and issues. *Paper presented at the 51st Annual Conference 2007 of the Australian Agricultural and Resource Economics Society Conference.* Australia.
- Schaefer, M. B. (1954). Some Aspects of the Dynamics of Populations Important to the Management of the Commercial Marine Fisheries. *Inter-American Tropical Tuna Commission. Bulletin, 1(2), 27-51.*
- Schaefer, M. B. (1957): Some considerations of population dynamics and economics in relation to the management of marine fisheries. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 14, 669-681.*
- Scott, A. (1955). The Fishery: The Objectives of Sole Ownership. *Journal of Political Economy, 63(2), University of Chicago Press. pp. 116 – 124.*

- Seijo, J. C., Defeo, O y Salas, S. (1997). *Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo*. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 368. Rome, FAO. 176p.
- Sparre, P. y Venema, S. C. (1998). *Introduction to Tropical Fish Stock Assessment. Part 1. Manual*. FAO Fisheries Technical Papers, N° 301.1, Rev. 2. Rome, FAO. 407 p.
- Toledo, I. (1981). *La Moderna Teoría del Control Óptimo: Una aplicación al Monopolio Español de Tabacos*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 493 p.
- Vílchez, R., Zuzunaga, J., Peña, N., Calienes, R., Cárdenas, G., Ñiquen, M., Antonietti, E., Carrasco, S. y Sánchez, G. (1991). *Evaluación de los Principales Recursos Pelágicos de la Costa Peruana*. Informe N° 101, Instituto del mar del Perú.
- Viet Thanh, N. (2006). *Bioeconomic analysis of the shrimp trawl fishery in the Tonkin Gulf, Vietnam*. MSc. Thesis. University of Tromsø, Norway.
- World Bank Group (2017). *The Sunken Billions Revisited: Progress and Challenges in Global Marine Fisheries*. Washington, DC: World Bank. Environment and Sustainable Development series. doi:10.1596/978-1-4648-0919-4. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.
- World Bank and Food and Agriculture Organization (2009). *The Sunken Billions: The Economic Justification for Fisheries Reform*. Washington, DC: World Bank Publications.

Yandle, T. (2003). The challenge of building successful stakeholder groups: New Zealand's experience in developing a co-management regime. *Mar. Policy* 27(2):179–192.

ANEXO A
TEORÍA DEL CONTROL ÓPTIMO - PRINCIPIO DEL MÁXIMO DE
PONTRYAGIN⁴⁵

El funcional objetivo

El problema fundamental en la teoría del control óptimo es determinar un control posible $u(t)$ que maximice el *funcional objetivo* $V\{u\}$. Si dicho control existe, se llama *control óptimo*. La siguiente ecuación se denomina funcional objetivo, sujeta a ciertas restricciones:

$$8.1.1 \quad \text{Max } V\{u\} = \int_0^T f(t, x(t), u(t)) dt \quad [\text{Funcional objetivo}] \quad \text{[A.1]}$$

$$8.1.2 \quad \text{Sujeto a } \quad x'(t) = g(t, x(t), u(t)) \quad [\text{Ecuación de estado}] \quad \text{[A.2]}$$

$$8.1.3 \quad x(0) = x_0, \quad [\text{condición inicial}] \quad \text{[A.3]}$$

$$8.1.4 \quad x(T) = x_T \quad [\text{condición terminal}] \quad \text{[A.4]}$$

donde $f(t, x(t), u(t))$, es una función dada, diferenciable continuamente, y $x(t)$ denota la respuesta a $u(t)$.

Principio del máximo

⁴⁵ El contenido de esta sección se basa en Clark (1990).

El *principio del máximo*, establece ciertas condiciones necesarias que todo *control óptimo* debe satisfacer para maximizar un *funcional objetivo*.

El *principio del máximo* se formula más convenientemente en términos de la siguiente expresión, llamada el *Hamiltoniano*:

$$H[x(t), t, u(t); \lambda(t)] = f[x(t), t, u(t)] + \lambda(t)g[x(t), t, u(t)] \quad [\text{A.5}]$$

Aquí, $\lambda(t)$ es una función adicional desconocida llamada *variable adjunta*.⁴⁶ Si $u(t)$ es un control óptimo y $x(t)$ es la correspondiente respuesta, el *principio del máximo* afirma la existencia de una *variable adjunta* $\lambda(t)$, tal que, las siguientes ecuaciones son satisfechas para todo t , $0 \leq t \leq T$:

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{\partial f}{\partial x} - \lambda(t)\frac{\partial g}{\partial x} \quad [\text{A.6}]$$

$$H[x^*(t), t, u^*(t); \lambda(t)] \equiv \max_{u \in U} H[x^*(t), t, u; \lambda(t)] \quad [\text{A.7}]$$

Debe enfatizarse que estas ecuaciones se refieren al *control óptimo* $u(t)$, su respuesta asociada $x(t)$ y la correspondiente variable adjunta $\lambda(t)$. Ellas son las *condiciones necesarias* que deben ser satisfechas por un control óptimo y su respuesta.

⁴⁶ También se le denomina variable auxiliar o variable de coestado.

La ecuación diferencial, [A.6], llamada la ecuación adjunta, es fácilmente entendida, pero la ecuación [A.7], a veces referida por sí misma como *principio del máximo*, requiere explicación. Esta ecuación afirma que en cada tiempo dado t , el valor $u(t)$ del control óptimo debe *maximizar el valor de la expresión Hamiltoniana* en todos los valores “admisibles” $u(t)$, satisfaciendo las restricciones de control $u(t) \in U_t$. Es útil observar que si el *control óptimo* $u(t)$ se encuentra en el *interior* del intervalo de control U_t (esto es, si las restricciones de control no son vinculantes), entonces, la ecuación [A.7] implica que:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0 \quad \text{[A.8]}$$

¿Cómo se aplica el *principio del máximo*? En el problema hay tres funciones desconocidas a determinar: $x(t)$, $u(t)$ y $\lambda(t)$. Para estas tres funciones se tiene tres ecuaciones: la *ecuación de estado* [A.2], la *ecuación adjunta* [A.6] y el *principio del máximo* [A.7]. La *ecuación de estado* (ecuación de movimiento de la variable de estado) y la *ecuación adjunta* (ecuación de movimiento de la variable de coestado), son ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden. Estas dos ecuaciones, simultáneamente, se denominan *sistema canónico* o *sistema Hamiltoniano* y sus soluciones requieren de la especificación de la condición inicial o terminal. Tales condiciones se incluyen en el problema: la condición inicial ecuación [A.3] y la condición terminal ecuación [A.4]. Así, se tiene justo el número correcto de condiciones para determinar las funciones desconocidas: $x(t)$, $u(t)$ y $\lambda(t)$.

Además, se debe tener en cuenta que la *ecuación de estado* [A.2], también se puede expresar en términos de la función Hamiltoniana:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial H}{\partial \lambda} \quad [\text{A.9}]$$

Condición de transversalidad

En ciertos problemas no se especifica ningún valor terminal para la variable de estado. En dichos problemas, denominados *problemas de valor terminal libre*, el *principio del máximo* se amplía, añadiéndose la condición de transversalidad:

$$\lambda(T) = 0 \quad [\text{A.10}]$$

Así se tiene un problema de valor de frontera de dos puntos para las ecuaciones diferenciales [A.6] y [A.9], también denominadas, en forma conjunta, *sistema canónico o sistema Hamiltoniano*.

Las condiciones del principio del máximo, tal como han sido descritas, se aplican a problemas de control óptimo no lineales, pero cuando se trata de problemas de control óptimo lineal (menos frecuentes), como es el caso del modelo Clark-Munro, conviene aplicar la versión generalizada de la primera condición del principio del máximo de Pontryagin, tal como se describe en el Anexo B de este documento.

ANEXO B

MODELO AUTÓNOMO LINEAL SIMPLE DE GESTIÓN ÓPTIMA DE LA PESCA FORMULADO POR CLARK Y MUNRO⁴⁷

1. Funcional objetivo

El objeto es maximizar el valor presente de la renta derivada de la pesca. Dados los supuestos de precio constante y costos lineales en la pesca, el funcional objetivo puede expresarse como:

$$PV_{\pi} = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} \{p - c[x(t)]\} h(t) dt \quad [\text{B.1}]$$

$$\text{Sujeto a } \frac{dx}{dt} = F(x) - h(t) \quad [\text{Ecuación de estado}] \quad [\text{B.2}]$$

$$x(0) = x_0 \quad [\text{condición inicial}] \quad [\text{B.3}]$$

donde δ es la tasa de descuento social instantánea, p el precio, y $c(x)$ el costo unitario de captura, la variable $x = x(t) \geq 0$ (biomasa o stock de capital) es la variable de estado y $h = h(t)$ (captura), es la variable de control. La población inicial $x(0) = x_0$, se asume conocida. El control $h(t)$, se asume sujeto a las restricciones:

$$0 \leq h(t) \leq h_{max} \quad [\text{B.4}]$$

h_{max} puede ser, en general, una función dada, $h_{max} = h_{max}[t; x(t)]$. La restricción h_{max} puede verse como una restricción determinada por la capacidad de captura de la industria pesquera en cualquier punto en el tiempo.

⁴⁷ Clark y Munro (1975)

Dado que el objetivo funcional es lineal en la variable de control $h(t)$, el problema es uno de control óptimo lineal. Entonces, el problema es determinar el control óptimo $h(t) = h^*(t)$, $t \geq 0$, y la correspondiente población óptima $x(t) = x^*(t)$, $t \geq 0$, sujeto a la ecuación de estado [B.2] y las restricciones de control [B.4], tal que el funcional objetivo [B.1] asume un control óptimo. El problema se resuelve por la vía del *principio del máximo*. En consecuencia, corresponde formular el siguiente Hamiltoniano:

$$H = e^{-\delta t} \{p - c[x(t)]\}h(t) + \lambda(t)\{F(x) - h(t)\} \quad [\text{B.5}]$$

donde la variable de coestado $\lambda(t)$, se interpreta como el valor sombra en *valor presente* de la variable de estado (stock), por lo que se sustituye por su equivalente: el valor sombra en *valor corriente* descontado por el mismo factor de descuento del funcional objetivo a maximizarse. En consecuencia, el Hamiltoniano [B.5] queda como sigue:

$$H = e^{-\delta t} \{p - c[x(t)]\}h(t) + e^{-\delta t} \psi(t)\{F(x) - h(t)\} \quad [\text{B.6}]$$

La expresión [B.6] es conocida como *Hamiltoniano en valor presente* debido a que cuenta con un factor de descuento. “El Hamiltoniano puede considerarse un indicador de desempeño para la pesquería. En cualquier punto del tiempo un propietario del recurso tiene dos opciones: capturar no capturar, lo último

es invertir en el stock. El primer término del Hamiltoniano representa el ingreso de la captura. El segundo término representa el cambio net del stock, o la inversión en el stock” (Bjørndal y Bezabih, 2010).

$$\begin{aligned}
 H &= e^{-\delta t}\{p - c(x)\}h(t) + e^{-\delta t}\psi(t)\{F(x) - h(t)\} \\
 H &= e^{-\delta t}ph(t) - e^{-\delta t}c(x)h(t) + e^{-\delta t}\psi(t)F(x) - e^{-\delta t}\psi(t)h(t) \\
 H &= [e^{-\delta t}p - e^{-\delta t}c(x) - e^{-\delta t}\psi(t)]h(t) + e^{-\delta t}\psi(t)F(x) \\
 H &= e^{-\delta t}[p - c(x) - \psi(t)]h(t) + e^{-\delta t}\psi(t)F(x) \\
 H &= \sigma(t)h(t) + e^{-\delta t}\psi(t)F(x) \tag{B.7}
 \end{aligned}$$

donde $\sigma(t)$ es la función de cambio (*switching change*), dada por:

$$\sigma(t) = e^{-\delta t}[p - c(x) - \psi(t)] \tag{B.8}$$

y $\psi(t)$, es la *variable adjunta o variable de coestado en valor corriente*.

El procedimiento estándar para resolver los problemas de control óptimo lineal establece que, primero se determina la llamada *solución singular* x^* , la cual surge cuando $\sigma(t) \equiv 0$. Así, de [B.8], se tiene que:

$$\sigma(t) = e^{-\delta t}[p - c(x) - \psi(t)] = 0 \tag{B.9}$$

$$[p - c(x) - \psi(t)] = 0$$

$$p - c(x) = \psi(t) \tag{B.10}$$

La ecuación [B.9] conduce a la *solución singular* x^* , sustituyéndose primero [B.10] en la función Hamiltoniana [B.7]:

$$H = \sigma(t)h(t) + e^{-\delta t}(p - c(x^*))F(x^*) \quad [\text{B.11}]$$

El siguiente paso es tomar la derivada $\partial H/\partial u = 0$, pero, dado que la $\partial H/\partial u$ no contiene u , esto es, la variable de control $h(t)$, resulta ineficaz aplicar esta condición necesaria de optimalidad; por lo que, conviene aplicar la versión generalizada (Pontryagin) de la ecuación diferencial [A.8], es decir

$$u(t) \text{ maximiza } H(x(t), t; u; \lambda(t)) \text{ para todo } t,$$

Derivando [B.11] e igualando a cero:

$$\frac{dH}{dt} = 0$$

y, aplicando la regla de derivación del producto de dos funciones, se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{dH}{dt} &= \frac{d\sigma(t)}{dt} h(t) + \sigma(t) \frac{dh(t)}{dt} + \frac{d(e^{-\delta t})}{dt} [(p - c(x^*))F(x^*)] \\ &+ e^{-\delta t} \frac{d[(p - c(x^*))F(x^*)]}{dt} = 0 \end{aligned}$$

considerando $\sigma(t) = 0$, se tiene:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{d(e^{-\delta t})}{dt} [(p - c(x^*))F(x^*)] + e^{-\delta t} \frac{d[(p - c(x^*))F(x^*)]}{dt} \frac{dx^*}{dx^*} = 0$$

(usando un artificio, se ha multiplicado el segundo miembro de la ecuación

anterior por $\frac{dx^*}{dx^*}$, lo cual permite luego introducir $\frac{dx^*}{dt}$)

$$\frac{dH}{dt} = \frac{d(e^{-\delta t})}{dt} [(p - c(x^*))F(x^*)] + e^{-\delta t} \frac{d[(p - c(x^*))F(x^*)]}{dx^*} \frac{dx^*}{dt} = 0$$

Se sabe que en ausencia de captura, la variación de la biomasa dx/dt es

equivalente a la tasa de crecimiento natural $F(x)$, entonces:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{d(e^{-\delta t})}{dt} [(p - c(x^*))F(x^*)] + e^{-\delta t} \frac{d[(p - c(x^*))F(x^*)]}{dx^*} F(x^*) = 0$$

$$-\delta e^{-\delta t} [(p - c(x^*))F(x^*)] + e^{-\delta t} \frac{d[(p - c(x^*))F(x^*)]}{dx^*} F(x^*) = 0$$

$$e^{-\delta t} \frac{d[(p - c(x^*))F(x^*)]}{dx^*} F(x^*) = \delta e^{-\delta t} [(p - c(x^*))F(x^*)]$$

$$\frac{d[(p - c(x^*))F(x^*)]}{dx^*} = \delta (p - c(x^*))$$

$$\frac{1}{\delta} \frac{d[(p - c(x^*))F(x^*)]}{dx^*} = p - c(x^*) \quad [\text{B.12}]$$

Esta ecuación no involucra explícitamente el tiempo t . Por tanto, la *solución* x^* es constante, por lo tanto, es una *solución en estado de equilibrio*.

Tomando la derivada se tiene:

$$\frac{1}{\delta} \left[\frac{d(p - c(x^*))}{dx^*} F(x^*) + (p - c(x^*)) \frac{dF(x^*)}{dx^*} \right] = p - c(x^*)$$

$$\frac{1}{\delta} [-c'(x^*)F(x^*) + (p - c(x^*))F'(x^*)] = p - c(x^*)$$

Multiplicando ambos lados por:

$$\frac{\delta}{p - c(x^*)}$$

resulta la ecuación denominada la *regla de oro modificada*:

$$F'(x^*) - \frac{c'(x^*)F(x^*)}{p - c(x^*)} = \delta \quad [\text{B.13}]$$

La ecuación [B.13] establece que el stock óptimo x^* es aquel cuya tasa de interés es igual a la tasa social de descuento δ . Es también una ecuación

implícita para la población x . Se asume que dicha ecuación tiene una *solución única* $x = x^*$, denominada *nivel poblacional óptima (equilibrio)*.

La solución de la ecuación (B.13), conduce a una función cuadrática donde el nivel de stock óptimo x^* , es una raíz cuadrada positiva y depende de los parámetros c, p, q, r, k y δ , conforme a la siguiente relación:

$$x^* = \frac{k}{4} \left[\left(\frac{c}{pqk} + 1 - \frac{\delta}{r} \right) + \sqrt{\left(\frac{c}{pqk} + 1 - \frac{\delta}{r} \right)^2 + \frac{8c\delta}{pqkr}} \right] \quad [\text{B.14}]$$

El rendimiento óptimo sostenible (OSY) y el nivel de esfuerzo óptimo sostenible (E_{OSY}), para el precio del tiempo o tasa de descuento especificada δ , se obtiene con la siguiente expresión:

$$OSY = r \cdot x^* \left(1 - \frac{x^*}{K} \right) \quad [\text{B.15}]$$

$$E_{OSY} = \frac{OSY}{q \cdot x^*} \quad [\text{B.16}]$$