

La Dinámica en una Pesquería de Libre Acceso: El Caso Peruano, 1978 – 2007

KENYI CANSINO MONTAÑEZ

Universidad Nacional del Callao – Facultad de Ciencias Económicas

Resumen. *Este trabajo desarrolla un análisis cualitativo de la estabilidad del modelo dinámico de pesca de libre acceso desarrollado por Smith (1968), calculando los parámetros del modelo en forma empírica en dos escenarios para el caso peruano. En el primero con una muestra de las principales variables para el periodo 1978 – 2004 y el segundo proyectando las series utilizadas, expandiendo el periodo de análisis hasta el 2007, y utilizando solo su componente determinístico para el cálculo mediante el filtro de Hodrick y Prescott. Los resultados muestran la existencia de equilibrios bioeconómicos y la autorregulación de la pesquería de acuerdo al cambio en los parámetros, estos sugieren también la cautela en la interpretación cuantitativa de este tipo de modelos pero su gran importancia en la política económica de los recursos biológicos.*

Palabras clave. Pesquería de libre acceso, equilibrio bioeconómico, condiciones de estabilidad.

Abstract. *This work develops a qualitative analysis of the dynamic open access fishery model stability by Smith (1968), computing the parameters of the model in empiric way in two scenarios for the Peruvian case. In the first one with a sample of the main variables for the period 1978 - 2004 and the second one projecting the used series, expanding the period of analysis up to the 2007, and using only their deterministic component for the calculation by means of Hodrick and Prescott filter. The results show the existence of bioeconomic equilibriums and the self-regulation of the fishery according to the change in the parameters, these they also suggest the caution in the quantitative interpretation of this type of models but their great importance in the economic politics of the biological resources.*

Key words. Open access fishery, bioeconomic equilibrium, stability conditions.

Introducción

A partir de los trabajos pioneros desarrollados por Warming (1911), Gordon (1954), y Scott (1955) el problema de una pesquería de acceso abierto ha sido bastante estudiado y a partir de ello formulados muchos modelos matemáticos para tratar de explicar su comportamiento dinámico. Existe abundante bibliografía que aplica este tipo de modelos a la dinámica de extracción de distintas especies en diversos escenarios probando la existencia de equilibrios de largo plazo entre los niveles de la especie en cuestión y el esfuerzo de extracción.

Wilen (1976) y Bjørndal y Conrad (1987) probaron que el modelo dinámico básico presentado por Smith (1968) tiene una convergencia al largo plazo además de dar algunas recomendaciones de política.

Para Kronbak (2002) en su estudio del bacalao, el modelo sugiere que el recurso pudiera estar en su trayectoria al estado estacionario. Estos resultados de la industria pesquera del bacalao del mar báltico demuestran que aun cuando la biomasa ha sido críticamente baja (1992) la disminución de la presión en la industria pesquera evitaba la extinción de la especie y daba lugar a una oscilación en la dinámica de la especie y el esfuerzo de la industria pesquera.

Gordon (1954) y Schaefer (1955), describen la economía de las industrias pesqueras. Warming (1911) y Gordon (1954) intentaron explicar por qué una industria pesquera de libre acceso dio lugar a poco o ningún beneficio. Fue precisado que la entrada de los factores móviles procede más allá de los números suficientes para el uso eficiente económico del recurso biológico. Por lo tanto el exceso en el esfuerzo de extracción redujo la biomasa a niveles críticos.

En el caso peruano Palomares (2006) utilizando el modelo de Smith (1968) determinó el nivel de captura óptimo de la anchoveta considerando variables biológicas, económicas, tecnológicas y climáticas, que no han sido evaluadas en forma conjunta dentro del sector.

El presente trabajo muestra que el modelo de Smith (1968) predice bien de manera cualitativa el equilibrio de largo plazo sujeto a unas condiciones en los parámetros del modelo, pero se debe tener cautela en la interpretación de los valores de equilibrios de largo plazo debido a que ellos pueden variar críticamente en función del método para calcular los parámetros del modelo.

Para probar ello se desarrollan dos escenarios para el cálculo de los parámetros, en el primero se tomó las series sin ningún tratamiento adicional en el periodo de 1978 – 2004; en el segundo se proyectaron las series hasta el 2007 utilizando modelos ARIMA, luego se utiliza solo su componente determinístico extraído con el filtro de Hodrick y Prescott, con el propósito de “suavizar” su comportamiento y tener mayor precisión en el cálculo.

La Dinámica de una Pesquería de Libre Acceso

El modelo de Smith (1968) describe la extracción de recursos biológicos de una pesquería de libre acceso compuesta por una sola especie, para este caso se hará uso de la sardina (*sardinops sagax*)¹, a la cual se le relaciona un esfuerzo de pesca que varía en función al tiempo y a los beneficios reportados de la actividad.

Un concepto importante desarrollado por los biólogos pesqueros es el esfuerzo de pesca, Schaefer (1954) establece que un indicador para ello es la captura por unidad de esfuerzo que es un índice directamente proporcional a la abundancia del stock del recurso, en este caso representado por la biomasa de sardinas. A partir de ello se obtiene la relación:

¹ La razón primordial es que esta es una de las dos especies más extraídas del mar peruano (junto a la anchoveta), que en los últimos años ha tenido una considerable y continua merma en sus niveles de biomasa.

$$Y_t = H(E_t, B_t) = qE_t B_t, \quad (1)^2$$

Donde Y_t es el nivel de captura, o de producción (Clark, 1979) en el año t ; la función $H(.)$ es la tasa de captura del recurso o función de producción; $q > 0$, es el coeficiente de capturabilidad, B_t es el tamaño del stock de la población o la biomasa del recurso (sardinias) en el año t ; por último E_t es el esfuerzo de pesca, que en este caso esta representado por el número de embarcaciones sardineras activas en la pesquería en el año t ³.

Se asume que la actividad reporta un beneficio que está representado por la siguiente función:

$$\pi_t = p H(E_t, B_t) - c E_t, \quad (2)$$

donde p es el precio del recurso biológico en el mercado (para propósitos empíricos se utilizó el precio internacional de la harina de pescado, debido a que casi la totalidad del recurso analizado se destina a esa transformación) y c es una medida del costo por embarcación en alta mar (para el tratamiento empírico de esta variable se tomó información sobre los costos fijos y variables de diversos tipos de embarcaciones, FAO (1992), además de poner en función del precio internacional del barril de petróleo un porcentaje del costo variable).

El proceso de entrada y salida de embarcaciones del mar depende el nivel de beneficios que reporte la actividad al final de cada periodo, un reporte positivo incentivará a una mayor entrada de embarcaciones y viceversa, ese proceso se da de acuerdo a:

$$\Delta E_t = E_{t+1} - E_t = n \pi_t, \quad (3)$$

donde n es un parámetro de ajuste o constante de comportamiento, Kroenbac (2005), esta es una medida de la velocidad de ajuste del esfuerzo frente a un cambio en los beneficios de la actividad.

Por último se tiene:

$$\Delta B_t = B_{t+1} - B_t = F(B_t) - H(E_t, B_t) = r B_t \left(1 - \frac{B_t}{L}\right) - H(E_t, B_t), \quad (4)$$

donde $F(B_t)$ es una función del crecimiento natural de la biomasa, sujeta a la ley logística del crecimiento, dentro de la cual r es el ratio de crecimiento intrínseco de la población⁴ y L representa la capacidad de soporte medio ambiental que está determinado por el nivel de población (promedio) necesario para el sostenimiento de la especie en el largo plazo.

De (3) y (4), reemplazando adecuadamente se tiene el siguiente sistema dinámico en diferencias:

² En la literatura existente se utiliza funciones de producción como la Cobb –Douglas por considerarlas “más realistas”, para este estudio se considero la hipótesis de Schaefer por ajustarse de manera significativa a la regresión.

³ En otros casos puede utilizarse el tamaño de las redes, capacidad de bodega, tecnología disponible, etc. Esto en función de la disponibilidad de la información.

⁴ Este parámetro está en función a la cantidad de peces sobrevivientes desde el momento del desove hasta alcanzar un peso y volumen determinado para entrar en la población o cardumen, a la vez de las mermas o muertes por causas naturales.

$$\begin{aligned} E_{t+1} - E_t &= n(pqE_t B_t - cE_t) \\ B_{t+1} - B_t &= rB_t(1 - \frac{B_t}{L}) - qE_t B_t, \end{aligned} \quad (5)$$

El sistema de ecuaciones diferenciales toma la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \dot{E} &= n(pqEB - cE) \\ \dot{B} &= rB(1 - \frac{B}{L}) - qEB, \end{aligned} \quad (6)$$

De donde se tiene:

$$\frac{\partial \dot{E}}{\partial B} = npqE > 0 \quad \frac{\partial \dot{B}}{\partial E} = -qB > 0, \quad (7)^5$$

De (6) las variables de estado estacionario son:

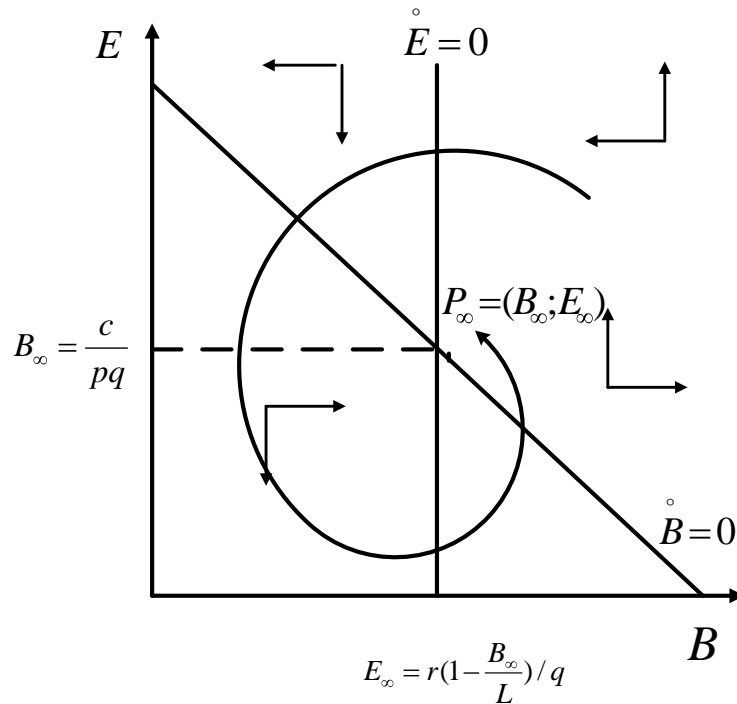
$$B_\infty = \frac{c}{pq} \quad E_\infty = r(1 - \frac{B_\infty}{L}) / q, \quad (8)$$

El comportamiento dinámico se muestra en la siguiente figura⁶:

⁵ Se asume el valor de las derivadas parciales para un comportamiento convergente en el largo plazo.

⁶ Un tratamiento más formal de las condiciones de estabilidad del modelo se dan en el Anexo 1.

Figura 1. Convergencia de largo plazo entre la biomasa y el esfuerzo de extracción



La sardina del mar peruano

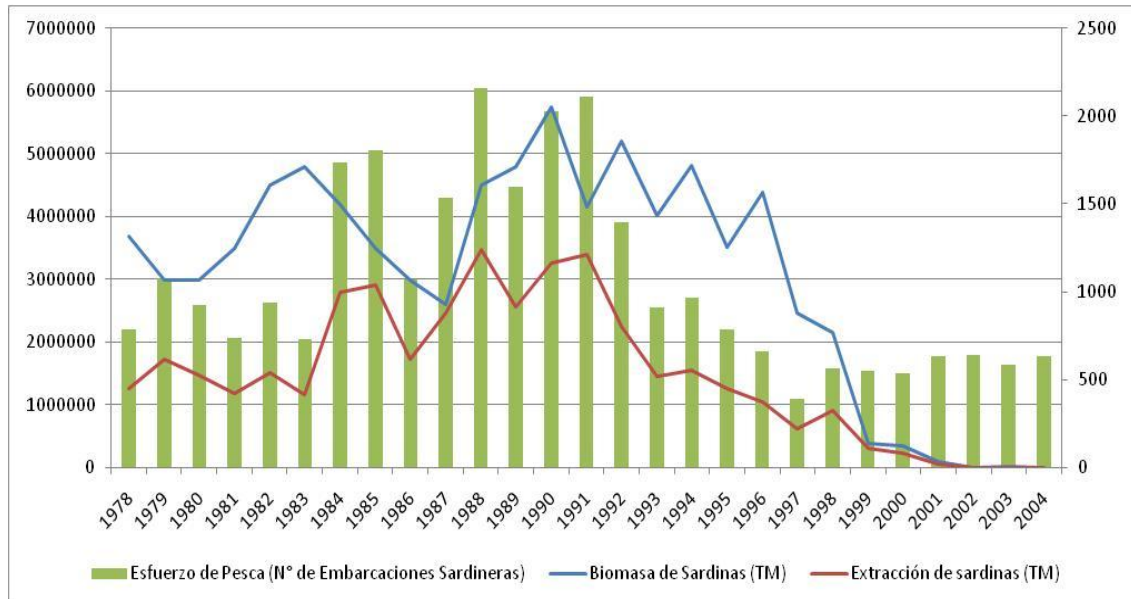
Durante los últimos años diversos estudios señalaban una gran preocupación por la constante merma de esta especie. Tal es el caso de Salvatechi y Mendo (2003)⁷ que sostenían “*Por ley, la proporción de juveniles de la sardina (*sardinops-sagax*) y anchoveta (*engraulis ringens*) capturados por parte de la pesquería debería, mantenerse por debajo del 10% de las capturas. Se debería ordenar la paralización de la actividad pesquera si se registrasen porcentajes mayores a este nivel. No obstante, este porcentaje es frecuentemente excedido por la flota y la pesca puede continuar capturando porcentajes que pueden alcanzar hasta 96% de juveniles, tal como sucedió en el 2004*”. Lamentablemente esos niveles tan abrumadores de captura, debido principalmente a la sobre explotación del recurso y a los fuertes fenómenos climatológicos⁸, han mermado a tal punto que hoy por hoy la sardina se encuentra prácticamente extinta para propósitos pesqueros⁹.

⁷ “Pérdida Económica en la Pesca de Juveniles”.

⁸ Principalmente los ENSO (El Niño Southern Oscillation) 1972 – 1973, 1982 – 1983 y 1997 – 1998.

⁹ “La Actividad Pesquera Peruana: Características y Retos para su Sostenibilidad”, Sueiro (2008).

Gráfico 1. Dinámica en la extracción de sardinas en el mar peruano



Fuente. Anuario Estadístico, INEI (1990, 1995, 2000 y 2004), elaboración propia.

De ello la principal motivación en encontrar herramientas de política efectivas que regulen de una mejor forma el sector pesquero y se evite poner en riesgo la futura actividad pesquera y el desarrollo sostenible del país y la región.

Modelo Empírico

En esta sección se presentarán las ecuaciones econométricas que se utilizaron para estimar los parámetros del modelo¹⁰, además de narrar el tratamiento de las diferentes variables utilizadas. Como se menciona en la primera sección del trabajo se trabajará con dos escenarios, el primero (*Escenario 1*) tomará la información de las variables en el periodo comprendido entre 1978 – 2004, entre tanto que para el segundo escenario (*Escenario 2*) se proyectaron las series hasta el año 2007 y solo se tomó el componente determinístico de cada una utilizando el filtro de Hodrick y Prescott¹¹, las ecuaciones utilizadas para estimar los parámetros fueron las mismas.

Coefficiente de capturabilidad

Para la estimación de este parámetro se utilizaron las series de los niveles de extracción de sardinas en toneladas métricas para la variable Y_t , de biomasa de sardinas en el mar peruano para la variable B_t , expresadas también en toneladas métricas y por último (como variable *proxi* del esfuerzo de pesca) el número de embarcaciones sardineras en alta mar E_t , mediante la siguiente ecuación:

$$Y_t = qE_tB_t + \mu_t \quad (9)$$

Se dio un tratamiento especial para el cálculo de la serie de los beneficios reportados por la actividad, en primer lugar se calculó la serie de ingresos totales multiplicando la transpuesta del

¹⁰ Se utilizó principalmente el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios.

¹¹ El procedimiento utilizado además de otros indicadores se muestran en el Anexo 2 del trabajo.

vector de precios internacionales de la harina de pescado (\mathbf{Phr}_t) utilizado como variable *proxi* del precio por tonelada métrica de la harina de pescado, por el vector \mathbf{Y}_t ; en segundo lugar se utilizaron los registros de la FAO (1992) en un informe al Gobierno Peruano titulado “*La Ordenación y Planificación Pesquera y la Reactivación del Sector Pesquero en el Perú*” de los costos totales de los distintos tipos de embarcaciones pesqueras para entrar en alta mar, tomando un promedio ponderado y poner en función de la variación internacional del precio del barril de petróleo (\mathbf{Prp}_t) un porcentaje del costo variable, por último se restaron ambos vectores para la obtención del vector π_t . De esta manera se tuvo insumo necesario para calcular los parámetros p y c con las siguientes ecuaciones:

$$IT_t = pY_t + \varepsilon_t, \quad (10)$$

$$CT_t = cE_t + \phi_t, \quad (11)$$

respectivamente.

El parámetro de ajuste (n) se calculó con la siguiente ecuación:

$$\Delta E_t = E_{t+1} - E_t = n\pi_t + \nu_t, \quad (12)$$

Por último para la función de crecimiento natural, $F(B_t)$, se utilizó la siguiente ecuación:

$$B_t = rB_{t-1} - r \frac{B_{t-1}^2}{L} + \varpi_t = \alpha_1 B_{t-1} + \alpha_2 B_{t-1}^2 + \varpi_t \quad (13)$$

Resultados

Los resultados de las regresiones para las ecuaciones (9), (10), (11) y (12) se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Resultado de la regresión para las ecuaciones (9), (10), (11) y (12) del *Escenario 1*

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	R-squared
q	0.000365	1.54E-05	23.67073	0	0.866329
p	422.5121	1.55E+01	27.21376	0	0.900274
c	222268.7	1.20E+04	18.59266	0	0.672486
n	8.03E-08	1.35E-07	0.596854	0.556	0.013821

Los modelos econométricos regresionados para encontrar los estimadores de los parámetros q , p y c muestran una buena bondad de ajuste (más del 65%), a la vez alta significancia individual; en contraste el parámetro n muestra bajos estadísticos y el modelo elegido evidentemente no es el más adecuado, pero su valor se tomará de forma referencial al computar las soluciones de largo plazo del modelo.

Para la ecuación (13) se presentan los siguientes resultados:

Tabla 2. Resultado de la regresión para la ecuación (13) del *Escenario 1*

<i>Variable</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>Prob.</i>	<i>Adjusted R-squared</i>
$\alpha_1 = r$	1.346347	2.50E-01	5.392977	0	0.755889
$\alpha_2 = r/L$	-9.30E-08	5.68E-08	-1.636646	0.1148	

El modelo elegido para la estimación de los parámetros r y L , es estadísticamente significativo y se hace confiable la inferencia a partir de los valores encontrados.

De la misma manera para las series filtradas:

Tabla 3. Resultado de la regresión para las ecuaciones (9), (10), (11) y (12) del *Escenario 2*

<i>Variable</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>Prob.</i>	<i>R-squared</i>
q	0.000397	5.80E-06	68.34459	0	0.981518
p	422.0705	5.73E+00	73.61057	0	0.983267
c	226703	7.17E+03	31.63612	0	0.721947
n	-1.99E-08	2.91E-08	-0.682405	0.5006	0.007027

Tabla 4. Resultado de la regresión para la ecuación (13) del *Escenario 2*

<i>Variable</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-Statistic</i>	<i>Prob.</i>	<i>Adjusted R-squared</i>
$\alpha_1 = r$	0.746005	8.64E-02	8.636186	0	0.982965
$\alpha_2 = r/L$	6.04E-08	2.20E-08	2.746537	0.0106	

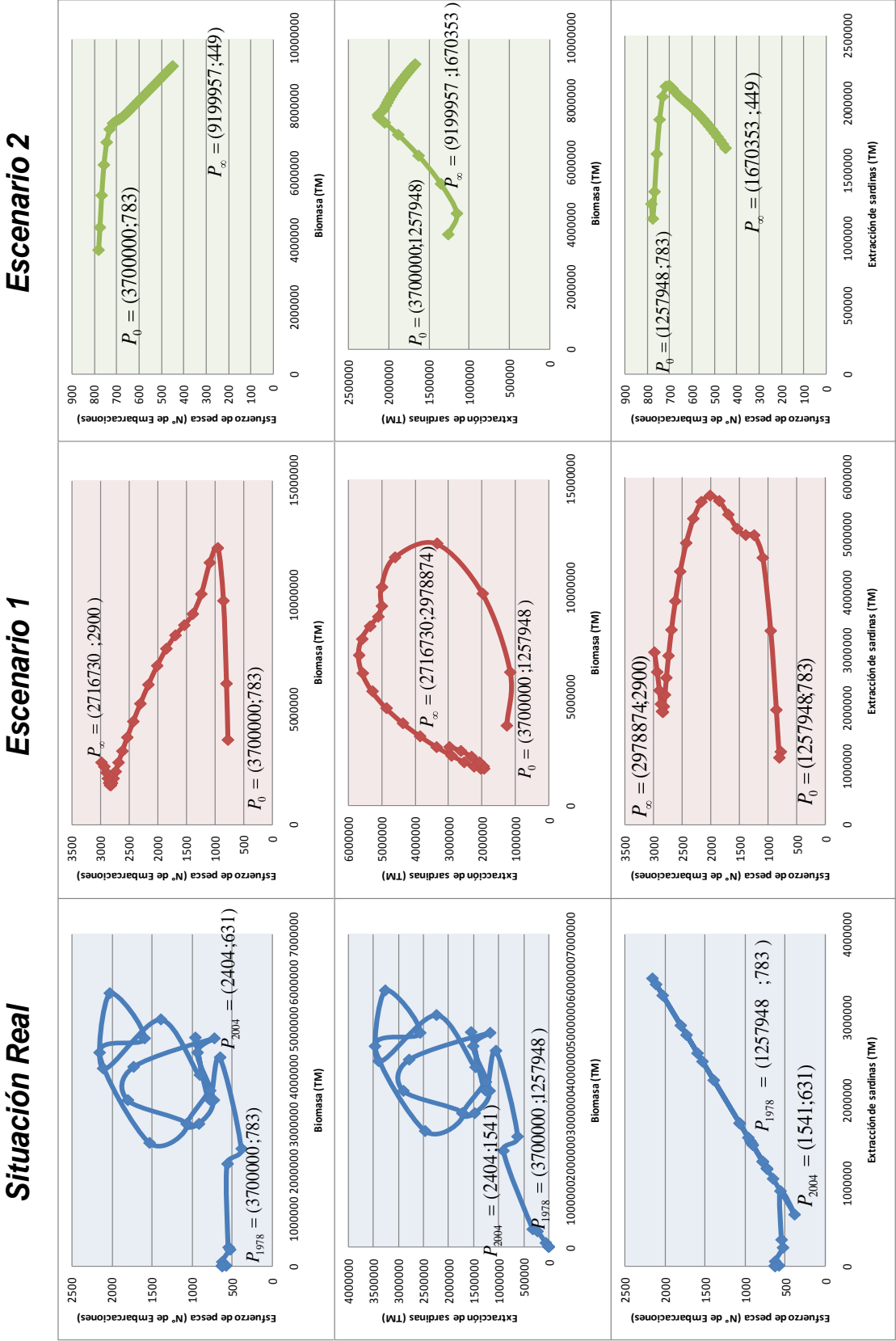
Se puede apreciar que en promedio para todos los modelos de las series filtradas regresionados existe un mejor ajuste y mayor significancia en los parámetros hallados

Tabla 5. Parámetros estimados en ambos escenarios

<i>Escenarios</i>	q	r	n	L	p	c
1	0.000365	1.34634675	8.03E-08	14476220.5	422.5121	222268.7
2	0.000397	0.746005	-1.99E-08	12351076.2	422.0705	226703

Reemplazado los parámetros en el sistema dinámico discreto (5) se obtienen (mediante solución numérica) el comportamiento temporal de las series tal como se muestran en el Gráfico 2.

Gráfico 2. Convergencias de largo plazo entre las variables



Fuente. Elaboración propia

En el gráfico anterior se muestra en primer lugar (primera columna, gráficos azules) el comportamiento de las principales variables analizadas (Y_t , B_t y E_t) sin ningún tratamiento, claramente las series convergen a un equilibrio en el horizonte analizado¹², esto prueba la hipótesis de Smith de que la industria que extrae el recurso se autorregula al ver mermado sus beneficios, dejando de elevar el esfuerzo de pesca frente a la presencia de la biomasa cada vez más escasa. En segundo lugar (segunda columna, gráficos rojos) se aprecia la convergencia del sistema dinámico en el primer escenario, este claramente converge al equilibrio de manera más acelerada que en el segundo escenario (tercera columna, gráficos verdes) a pesar de haber utilizado el componente determinístico de las series estudiadas, esto muestra que los valores de largo plazo de las principales variables (Y_∞ , B_∞ y E_∞) pueden cambiar considerablemente al utilizar un método distinto en la estimación de los parámetros.

Conclusiones

En el periodo analizado ha habido un fuerte desorden en la extracción del recurso, incrementando el esfuerzo de pesca en los periodos en los cuales la biomasa de la especie estaba decreciendo de manera acelerada, respondiendo al beneficio propio de la actividad y a las condiciones favorables en el mercado del producto procesado evidenciando una sobreexplotación y una baja regulación de la actividad.

El cambio en el comportamiento convergente de las series de un escenario a otro evidencia que la actividad extractiva puede ser regulada mediante utilización de algunas variables del modelo tomándolas como variables de control o de política, tales son los casos de las variables p y c , que pueden modificar el comportamiento de los beneficios intertemporales haciendo que se llegue a un equilibrio de manera más o menos acelerada, de esta manera corregir el desorden en la extracción del recurso y evitando la sobreexplotación.

Recomendaciones de Política

Es necesario reducir el desorden en la extracción de los recursos hidrobiológicos, se menciona *recursos* puesto que la lógica proveniente del modelo (Depredador – Presa) es aplicable a cualquier especie marina, esto se lograría implementando una reestructuración del sistema de vigilancia y control de la actividad, de esta manera se disminuiría la probabilidad de extinción del recurso y se garantizaría el pleno ejercicio de la actividad en el largo plazo.

Por otro lado influenciar en la actividad por el lado de los impuestos, ya sean por el lado de los aranceles para la exportación de productos pesqueros de las grandes industrias o por el lado de los derechos de pesca, es de vital importancia ya que están entre las escasas variables de control para la regulación de la actividad. Otras formas de regular la actividad se encuentran en la imposición de periodos de veda “efectivos” al identificar grandes tasas de merma de los recursos, a la vez establecer límites de captura permisibles que vayan más de acorde con el stock del recurso.

Cada política debe estar sujeta a un previo análisis de factibilidad de los costos y beneficios de la industria, es necesario identificar qué política ha de ser aplicada y en qué intensidad con el fin de llegar a un equilibrio, no perder competitividad en los mercados internacionales y velar por el bienestar de la población, pero eso es materia de otra investigación.

¹² Para los tres casos, con propósitos de resolver numéricamente el sistema dinámico, se utilizaron los valores iniciales reales de las series de biomasa, embarcaciones y extracción ($B_0=3700000$, $E_0=783$ y $Y_0=1257948$).

La dimensión sustentable debe estar en un lugar importante en la agenda de política de manejo de los recursos naturales del Perú y de los demás gobiernos, solo de esa manera se estaría salvaguardando el bienestar de las futuras generaciones y de nuestro planeta.

Bibliografía

Bjørndal, T. y J. M. Conrad (1987). “*The dynamic of an open access fishery*”. Can. J. Econ. XX (1): 74-85.

Bonifaz, J. y Lama, R. (2002). “*Optimización dinámica y teoría económica*”, Serie: Apuntes de estudio N° 33, Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico (CIUP).

Cárdenas, G. (2005). “*La Sardina Peruana, Sardinops Sagax Sagax y el Desarrollo de su Pesquería*”, Vol. 75 Número 01-02, IMARPE.

Chiang, A. C. (2005). “*Métodos fundamentales de economía matemática*”, Mc Graw Hill.

Gandolfo, G. (1976). “*Métodos y modelos matemáticos de la dinámica económica*”, Biblioteca Tecnos de Ciencias Económicas, Editorial Tecnos, Madrid - España.

González, E. (1998). “*Una clase de modelos bioeconómicos continuos*”, Instituto de Matemáticas, Universidad Católica de Valparaíso.

Greene, W. (1999). “*Análisis Econométrico*”, Prentice Hall.

Instituto del Mar del Perú (IMARPE), entrevista con la Dr. Gládys Cárdenas.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Anuario Estadístico (1990, 1995, 2000, 2004).

Kronbak, L.G. (2002). “*The Dynamics of an Open-access: The Case of the Baltic Sea Cod Fishery—A Strategic Approach*”, Paper de trabajo No. 31/02, Department of Environmental and Business Economics. Esbjerg, Denmark: University of Southern Denmark.

Kronbak, L.G. (2005). “*The Dynamics of an Open-access Fishery: Baltic Sea Cod*”, Marine Resource Economics, Vol. 19, pp. 459 – 479, Marine Resources Foundation, University of Southern Denmark.

Ministerio de la Producción (PRODUCE), Anuario estadístico (2004, 2006).

Ministerio de la Producción (PRODUCE), entrevista con el Ing. Rodolfo Gallo.

Muñoz, E. y Kikut, A. C. (1994). “*El filtro de Hodrick y Prescott: Una técnica para la extracción de la tendencia de una serie*”, Departamento de Investigaciones Económicas, División Económica, Banco Central de Costa Rica.

Novalés, A. (1993). “*Econometría*”, Mc Graw – Hill/Interamerica de España S.A.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (1992), “*La Ordenación y Planificación Pesquera y la Reactivación del Sector Pesquero en el Perú*”, Informe preparado para el Gobierno de la República del Perú, Programa de Asesoramiento en Ordenación y Legislación Pesquera, Gobierno de Noruega.

Schaefer, M. B. (1954). “Some aspects of the dynamics of population important to the management of the commercial marine fisheries”. Bull. Inter-Am. Trop. Tuna Comm. 1 (2): 27 56. Reprinted in Bull. Math. Biol. 53, (1/2): 253 - 279. 1991.

Smith, V.L. (1968). “Economics of Production from Natural Resources”. American Economic Review 58:409–31.

Sueiro, J. C. (2002). “¿Cómo estamos en la pesca?”, COOPERACCION, Acción Solidaria para el Desarrollo.

Sueiro, J. C. (2008). “La actividad pesquera peruana: Características y retos para su sostenibilidad”, COOPERACCION, Acción Solidaria para el Desarrollo.

www.aquahoy.com

Anexo 1: Condiciones de estabilidad

El sistema (6) tiene como puntos fijos a $P_0=(0,0)$, $P_I=(1,0)$ y el equilibrio no trivial de largo plazo $P_\infty=(B_\infty, E_\infty)$, esto se obtiene haciendo 0 tanto a \dot{E} como a \dot{B} , que da como resultado (8).

La matriz Jacobiana de (6) es la siguiente:

$$J = \begin{bmatrix} npqB - nc & npqE \\ -qB & r - 2rB/L - qE \end{bmatrix}, \quad (14)$$

Reemplazando (8) en (14) se obtiene la matriz Jacobiana de largo plazo:

$$J_\infty = \begin{bmatrix} n(1-c) & nr(p - c/qL) \\ -c/p & -rc/Lpq \end{bmatrix}, \quad (15)$$

De donde el determinante del Jacobiano de largo plazo es:

$$Det(J_\infty) = [rcn(c-1)]/Lpq + nr[c(pqL-1)/pqL], \quad (16)$$

Los valores para ambos escenarios se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Valores de los determinantes del Jacobiano de largo plazo para ambos escenarios

Escenarios	Det(J_∞)
1	0.026422258
2	-0.003734179

Lo que nos garantiza la no dependencia funcional y solución del sistema de ecuaciones.

La traza del Jacobiano de largo plazo tiene la siguiente forma:

$$Tr(J_{\infty}) = n(1 - c) - rc / Lpq, \quad (17)$$

Los resultados para ambos escenarios se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Valores de la traza del Jacobiano de largo plazo para ambos escenarios

Escenarios	$Tr(J_{\infty})$
1	-0.02103605
2	0.00221697

Al analizar las raíces características del Jacobiano de largo plazo para el *Escenario 1* se tiene que $Tr(J_{\infty})^2 - 4Det(J_{\infty}) < 0$, entonces se está presente ante una fluctuación cíclica. A la vez se tiene $Det(J_{\infty}) > 0$ y $Tr(J_{\infty}) < 0$ lo que garantiza la existencia de un foco estable. Esto indica que la pesquería tiende a un punto de equilibrio estable en el largo plazo.

Para el *Escenario 2* se tiene que $Tr(J_{\infty})^2 - 4Det(J_{\infty}) > 0$, en este caso las raíces características son reales y diferentes y no es posible ninguna fluctuación. Se tiene además que $Det(J_{\infty}) < 0$ y $Tr(J_{\infty}) > 0$ lo que evidencia un punto de silla. Esto implica la no existencia de un equilibrio bioeconómico de largo plazo¹³.

Anexo 2: Proyecciones

Para el segundo escenario se proyectaron las series hasta el 2007 con modelos ARIMA.

Un ARIMA (3,1,0) para la serie de Y_t (Extracción de sardinas), B_t (Biomasa de sardinas) y E_t (Esfuerzo de pesca) con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta Y_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta Y_{t-1} + \beta_2 \Delta Y_{t-2} + \beta_3 \Delta Y_{t-3} + \varphi_t, \quad (18)$$

$$\Delta B_t = \delta_0 + \delta_1 \Delta B_{t-1} + \delta_2 \Delta B_{t-2} + \delta_3 \Delta B_{t-3} + \psi_t, \quad (19)$$

$$\Delta E_t = \varsigma_0 + \varsigma_1 \Delta E_{t-1} + \varsigma_2 \Delta E_{t-2} + \varsigma_3 \Delta E_{t-3} + \xi_t, \quad (20)$$

Con los siguientes resultados:

Tabla 8. Valores de la regresión para los modelos ARIMA(3,1,0)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	Adjusted R-squared
β_0	-50865.73	2.20E+05	-0.230759	0.8197	0.138971
$AR(\beta_i)$	4.14E-01	1.94E-01	2.133266	0.0449	
δ_0	-153878.1	100447.9	-1.531919	0.1405	0.372662
$AR(\delta_i)$	-0.623303	0.166177	-3.750844	0.0012	
ς_0	-3.056606	136.9038	-0.022327	0.9824	0.149076
$AR(\varsigma_i)$	0.425449	0.193102	2.203236	0.0389	

Entre tanto que para las series Phr_t (Precio internacional de la harina de pescado) y Prp_t (Precio internacional del barril de petróleo) se utilizó un AR (1) con las siguientes ecuaciones:

¹³ Véase Gonzáles (1998).

$$Phr_t = a_0 + a_1 Phr_{t-1} + e_t \quad (21)$$

$$P rp_t = b_0 + b_1 P rp_{t-1} + u_t \quad (22)$$

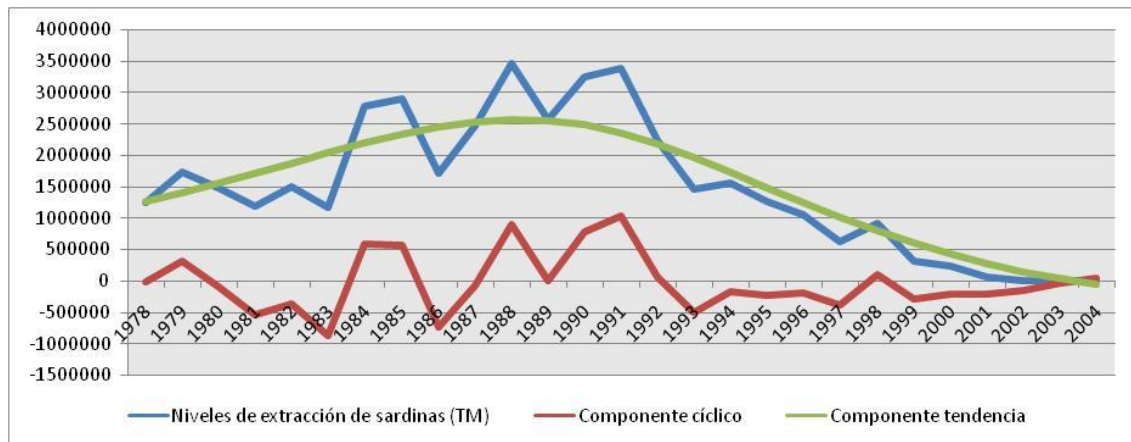
Teniendo como resultado:

Tabla 9. Valores de la regresión para los modelos AR(1)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	Adjusted R-squared
a₀	469.7704	3.90E+01	12.05591	0	0.252023
a₁	5.47E-01	1.78E-01	3.069768	0.0053	
b₀	24.90707	3.203566	7.774794	0	0.40831977
b₁	0.654985	0.153313	4.272212	0.0003	

Para extraer el componente determinístico se utilizó el filtro de Hodrick y Prescott¹⁴ con un $\lambda=100$ ¹⁵. Las descomposiciones de las series proyectadas se aprecian en los siguientes gráficos:

Gráfico 3. Descomposición de la serie Extracción de sardinas



Fuente. Anuario Estadístico, INEI (1990, 1995, 2000 y 2004), elaboración propia.

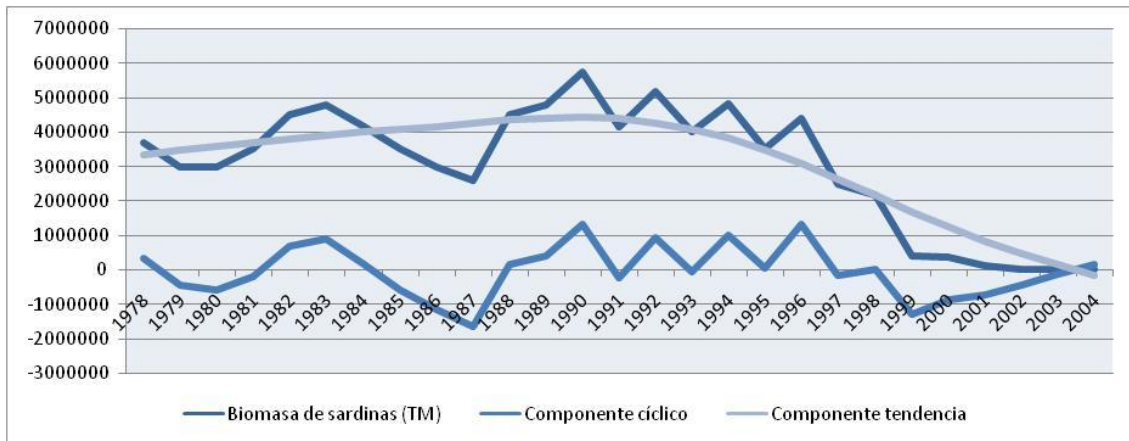
Gráfico 4. Descomposición de la serie Biomasa de sardinas

¹⁴ Los autores proponen que el componente tendencia de una serie es el que minimiza la siguiente

$$\text{ecuación: } \sum_{t=1}^T (y_t - \tau_t)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{T-1} [(\tau_{t+1} - \tau_t) - (\tau_t - \tau_{t-1})]^2$$

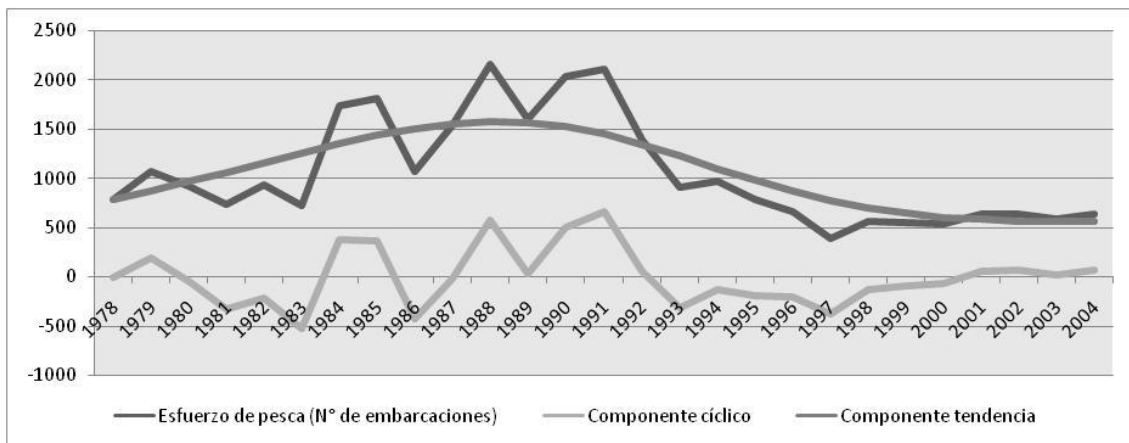
donde y_t es la serie en estudio, τ_t es la tendencia de la serie y λ es el parámetro de suavidad con el cual se controla la aceleración en el componente tendencia (es decir las variaciones en la tasa de crecimiento del componente tendencia), de donde la medida de las fluctuaciones cíclicas está dada por $c_t = y_t - \tau_t$.

¹⁵ Los autores recomiendan un $\lambda < 1600$, utilizado para series trimestrales, por tratarse de una serie anual. Trabajos con el objetivo de extraer el componente cíclico han utilizado un valor de $\lambda=100$, véase Backus y Kehoe (1992).



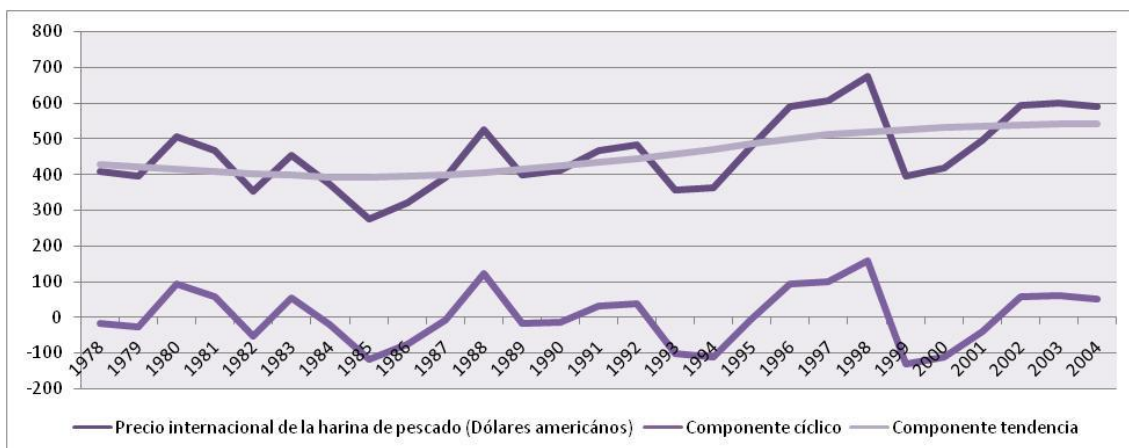
Fuente. Anuario Estadístico, INEI (1990, 1995, 2000 y 2004), elaboración propia.

Gráfico 5. Descomposición de la serie Esfuerzo de pesca (N° de embarcaciones)



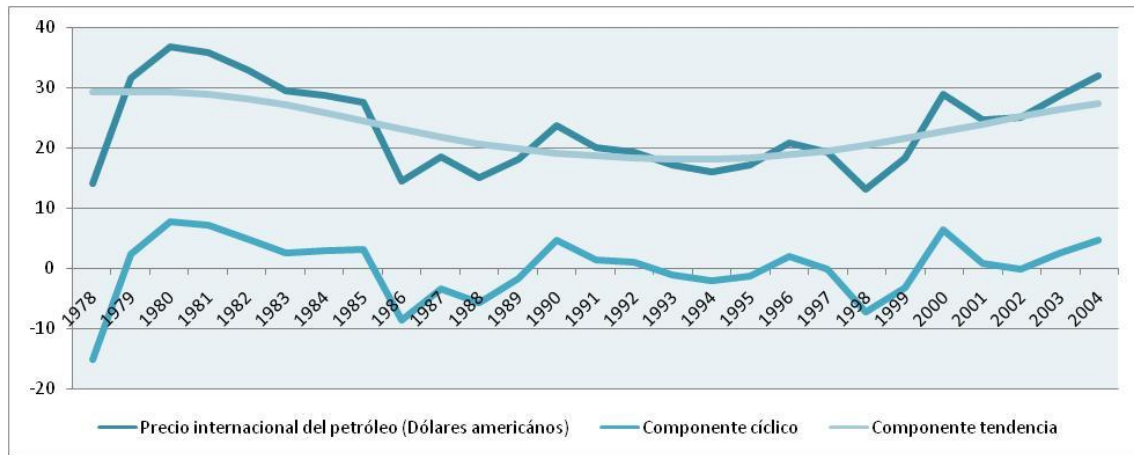
Fuente. Anuario Estadístico, INEI (1990, 1995, 2000 y 2004), elaboración propia.

Gráfico 6. Descomposición de la serie Precio internacional de la harina de pescado



Fuente. www.aquahoy.com, INEI (1990, 1995, 2000 y 2004), elaboración propia.

Gráfico 7. Descomposición de la serie Precio internacional de barril de petróleo



Fuente. Anuario Estadístico, INEI (1990, 1995, 2000 y 2004), elaboración propia.

Anexo 3: Información Estadística

Cuadro 1. Extracción de Sardinas (en toneladas métricas), Perú (1978 – 2004)

Año	Extracción de Sardinas (TM)	Año	Extracción de Sardinas (TM)	Año	Extracción de Sardinas (TM)
1978	1257948	1987	2469202	1996	1056413
1979	1727031	1988	3470422	1997	625143
1980	1480396	1989	2568910	1998	908291
1981	1182947	1990	3265297	1999	321212
1982	1509675	1991	3398397	2000	226294
1983	1172191	1992	2243225	2001	60298
1984	2788744	1993	1461759	2002	6853
1985	2903728	1994	1551833	2003	9172
1986	1720905	1995	1265658	2004	1541

Fuente. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Anuarios estadísticos.

Cuadro 2. Biomasa de Sardinas (en toneladas métricas), Perú (1978 – 2004)

Año	Biomasa de Sardinas (TM)	Año	Biomasa de Sardinas (TM)	Año	Biomasa de Sardinas (TM)
1978	3700000	1987	2600000	1996	4400000
1979	3000000	1988	4500000	1997	2477000
1980	3000000	1989	4800000	1998	2158000
1981	3500000	1990	5750000	1999	400000
1982	4500000	1991	4166000	2000	353019
1983	4800000	1992	5198000	2001	94065
1984	4200000	1993	4029000	2002	10691
1985	3500000	1994	4816000	2003	14308
1986	3000000	1995	3510000	2004	2404

Fuente. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Anuarios estadísticos.

Cuadro 3. Embarcaciones Sardineras en alta mar (en toneladas métricas), Perú (1978 – 2004)

Año	Embarcaciones Sardineras en alta mar	Año	Embarcaciones Sardineras en alta mar	Año	Embarcaciones Sardineras en alta mar
1978	783	1987	1536	1996	657
1979	1074	1988	2159	1997	389
1980	921	1989	1598	1998	565
1981	736	1990	2031	1999	551
1982	939	1991	2114	2000	533
1983	729	1992	1395	2001	631
1984	1735	1993	909	2002	637
1985	1806	1994	965	2003	583
1986	1070	1995	787	2004	631

Fuente. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Anuarios estadísticos.

Cuadro 4. Precio Internacional de la Tonelada Métrica de Harina de Pescado
(en Dólares Americanos)

Año	Precio Internacional de la TM de Harina de Pescado (US\$)	Año	Precio Internacional de la TM de Harina de Pescado (US\$)	Año	Precio Internacional de la TM de Harina de Pescado (US\$)
1978	409.92	1987	392.8	1996	590.89
1979	394.92	1988	527.44	1997	608.29
1980	507.7	1989	398.2	1998	676.14
1981	466.3	1990	412.17	1999	395.15
1982	352.8	1991	467.04	2000	419.52
1983	453.4	1992	483.13	2001	496.67
1984	373.17	1993	355.77	2002	595.63
1985	274.7	1994	361.58	2003	601.7
1986	320.58	1995	481.02	2004	590

Fuente. www.aquahoy.com

Cuadro 5. Precio Internacional del Barril de Petróleo (en Dólares Americanos)

Año	Precio Internacional del Barril de Petróleo (US\$)	Año	Precio Internacional del Barril de Petróleo (US\$)	Año	Precio Internacional del Barril de Petróleo (US\$)
1978	14.02	1987	18.42	1996	20.81
1979	31.61	1988	14.96	1997	19.30
1980	36.83	1989	18.20	1998	13.11
1981	35.93	1990	23.81	1999	18.25
1982	32.97	1991	20.05	2000	29.00
1983	29.55	1992	19.37	2001	24.70
1984	28.66	1993	17.07	2002	25.00
1985	27.51	1994	15.98	2003	28.80
1986	14.38	1995	17.18	2004	32.00

Fuente. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Anuarios estadísticos.