

Modelado de la merluza en su ecosistema con interacciones tróficas y forzantes ambientales

Ecosistemic modelling of Peruvian hake, trophic interactions and environmental forcing

JORGE TAM^{1*} ASTRID JARRE² MARC TAYLOR³ CLAUDIA WOSNITZA-MENDO¹
 VERÓNICA BLASKOVIC¹ NATHALY VARGAS¹ ERICH DÍAZ¹
 JUAN ARGÜELLES¹ SARA PURCA¹

Resumen

Se plantea la hipótesis de que la merluza requiere un manejo basado en el enfoque ecosistémico para su recuperación. El objetivo es realizar simulaciones con un modelo ecotrófico multiespecífico, con dos estadios de merluza, para entender las interacciones tróficas de la merluza con sus presas, competidores y depredadores. Las simulaciones con factores biológicos y ambientales, sugirieron que la reducción poblacional de la merluza se atribuye más a factores biológicos (relaciones tróficas y presión de pesca) que a factores ambientales. En general, las proyecciones de biomasa del modelo sugirieron que el stock de merluza a bajos niveles poblacionales presenta una limitada resiliencia.

PALABRAS CLAVE: Modelo ecotrófico, merluza peruana, Ecosistema de la Corriente Peruana, Corriente de Humboldt, Perú.

Abstract.

It is hypothesized that hake requires an ecosystem approach to fishery management for its recovery. The objective is to carry out simulations with a multispecific ecotrophic model, with two stages of hake, to understand the trophic interactions of hake with its preys, predators and competitors. Simulations with biological and environmental factors, suggested that population reduction of hake is attributed more to biological factors (trophic relationships and fishery pressure) than to environmental factors. In general, biomass model projections suggested that low levels of hake stock present a limited resilience.

KEYWORDS: Ecotrophic model, Peruvian hake, Peruvian Current Ecosystem, Humboldt Current, Perú.

Introducción

El propósito del enfoque ecosistémico para el manejo de las pesquerías es planear, desarrollar, y manejar las pesquerías de una manera que afronte la multiplicidad de necesidades y deseos sociales, sin arriesgar las opciones para que las futuras generaciones se beneficien del rango total de bienes y servicios provistos por ecosistemas acuáticos (FAO 2003).

La merluza peruana *Merluccius gayi peruanus* ha sufrido una serie de cambios a nivel individual y poblacional, tal como la disminución drástica en la talla promedio durante 1991-92 (WOSNITZA-MENDO et al. 2004) y 1997-98 (WOSNITZA-MENDO et al. 2009).

El presente trabajo se realizó como parte del III Panel Internacional de Expertos de Evaluación de la

1 Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

2 Danish Institute for Fisheries Research, Sea Fisheries Institute, North Sea Centre, PO Box 101, DK-9850 Hirtshals, Denmark.

3 Center for Tropical Marine Ecology, Fahrenheitstr. 6, 28359 Bremen, Germany.

* Correo-e: jtam@imarpe.gob.pe, Esquina Gamarra y Gral. Valle s/n, Lima, Perú.

Merluza Peruana *Merluccius gayi peruanus* Ginsburg. En este panel, además del modelado ecosistémico, también se incluyeron aspectos económicos y legales para establecer las bases para el enfoque ecosistémico al manejo de esta pesquería.

En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue explorar el rol de forzantes ambientales y biológicos, y evaluar estrategias de manejo pesquero usando un modelo ecotrófico multiespecífico del Ecosistema de la Corriente de Peruano.

Material y métodos

MODELO

Se usó como base el modelo de red trófica del ecosistema frente al Perú norte-centro de 1995-96, con 31 grupos funcionales bióticos, el cual se describe en detalle en TAM et al. (2008) y en TAYLOR et al. (2008). Las simulaciones se realizaron con el programa computacional Ecopath with Ecosim (EWE) versión 5.1 (CHRISTENSEN et al. 2005).

EFFECTO DE FACTORES BIOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Se ha observado una reducción del índice gonadosomático (IGS) y el factor de condición (FC) durante El Niño (BALLÓN et al. 2008), posiblemente debido a una dispersión de las presas de la merluza

por ampliación de su área de distribución durante El Niño (TAYLOR et al. 2008). Se usaron estas variables biológicas para forzar la tasa de producción de huevos de merluzas grandes. Las series de IGS y FC fueron suavizadas con una media móvil de tres meses y reescaladas respecto a los valores iniciales de la simulación (Figura 1).

Por otro lado, considerando que la merluza tiene una distribución latitudinal que se extiende al sur durante El Niño (MUCK 1989), se exploró el rol de factores ambientales usando 4 funciones de mediación trófica de la vulnerabilidad de todas las presas de la merluza: la temperatura superficial del mar (SST o TSM) y la profundidad de la isoterma de 15 °C (Z15) para dos rangos latitudinales: entre 3-7,5°S y entre 3,5-13,5°S (Figura 2).

Las series de SST y Z15 fueron promediadas según el año biológico (Jul. - Jun.), se reescalaron entre 0,5 y 2,0, y se introdujeron en el modelo creando variables de biomasa "dummy" conducidas determinísticamente por las variables ambientales, siguiendo el procedimiento de FIELD et al. (2006). La vulnerabilidad de las presas de la merluza fue mediada negativamente por las variables ambientales, es decir, a mayor temperatura, menor vulnerabilidad de presas de la merluza (Figura 3).

El ajuste de las simulaciones con los datos observados, se evaluó con la suma de cuadrados de las desviaciones (SS), es decir, a mayor ajuste, menor SS.

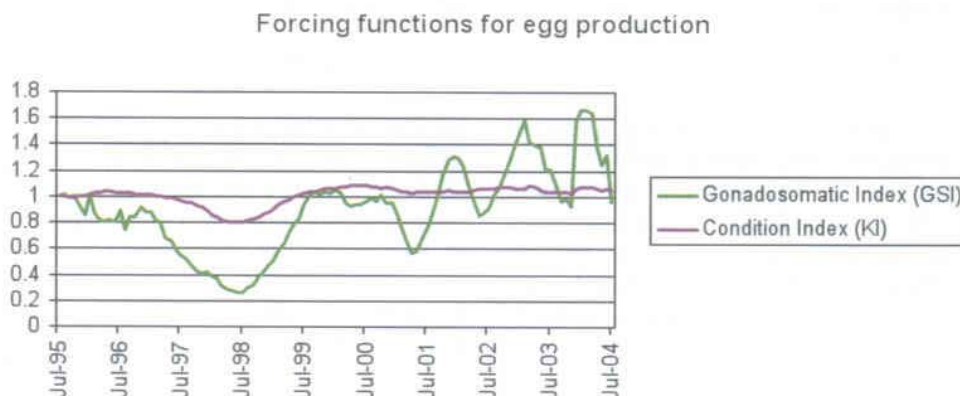


Figura 1.- Funciones forzantes de índice gonadosomático (IGS) y factor de condición (FC) aplicados a la tasa de producción de huevos. Se aplicó una media móvil de tres meses y un reescalamiento respecto a los valores iniciales de la serie de tiempo.

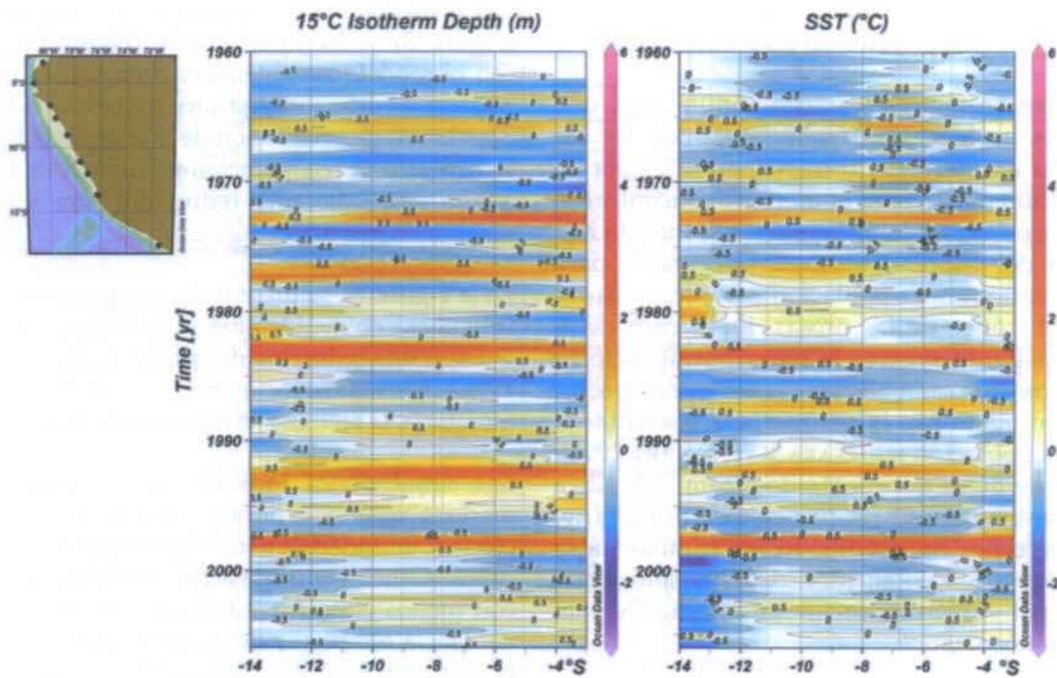


Figura 2.- Diagrama Hovmoller latitud-tiempo de las anomalías de la temperatura superficial del mar y la profundidad de la isoterma de 15 °C (1960-2005).

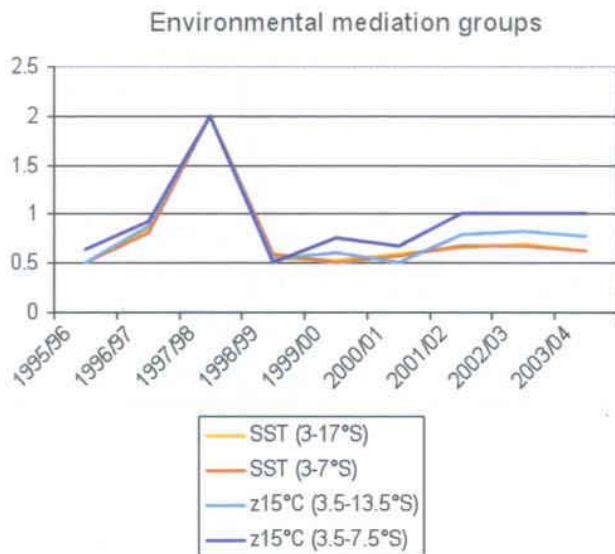


Figura 3.- Funciones de mediación trófica de temperatura superficial del mar (SST) y profundidad de la isoterma de 15 °C (Z15), para dos rangos latitudinales (3-7,5°S y 3,5-13,5°S). Se reescaló la serie de tiempo de 0,5 a 2,0.

SIMULACIONES DE BIOMASAS Y CAPTURAS

El modelo incluyó dos estadios de merluza: pequeño (<30 cm) y grande (>30 cm), que fueron conectados mediante una función multistanza, permitiendo el reclutamiento del estadio de merluzas pequeñas a partir del estadio de merluzas grandes. Las

simulaciones se realizaron asumiendo un valor de vulnerabilidad de presas de 2,0 (control trófico intermedio o mixto) (CHRISTENSEN et al. 2005).

El modelo se ajustó a series de tiempo disponibles entre 1995-2003 de biomazas, capturas y cambios del fitoplancton (durante La Niña y El Niño).

Las proyecciones de biomazas bajo diferentes estrategias de manejo pesquero se realizó cambiando la mortalidad por pesca en tres niveles: (i) F igual al status quo (F s.q.), (ii) F igual al 25 % del F s.q. y (iii) F igual a 0 (moratoria).

Resultados y discusión

EFFECTO DE FACTORES BIOLÓGICOS Y AMBIENTALES

Los resultados de las simulaciones con factores biológicos y ambientales se muestran en la Tabla 1. Las series de tiempo de temperatura (SST) y profundidad de la isoterma de 15 °C no mejoraron significativamente el ajuste de las simulaciones 1 a 4. Las series de tiempo biológicas del índice gonadosomático (IGS) y factor de condición (FC) introducidas al modelo como forzantes de la producción de huevos de merluza, mejoraron ligeramente el ajuste de las simulaciones 5 y 6 (reducción de la SS en -1,05% y -0,22%,

respectivamente). El ajuste de las simulaciones con los datos observados se presenta en las Figuras 4 y 5.

Los factores biológicos parecen influir más que los factores ambientales en la dinámica de las poblaciones de merluza, al menos en la escala de tiempo estudiada. TAYLOR et al. (2008) encontraron que la incorporación del fitoplancton (asociada a la intensidad del afloramiento) era importante para simular reducciones poblacionales ocasionadas por control trófico de las presas. En el caso de la merluza, luego de eventos El Niño, varios factores naturales, como el canibalismo y la escasez de presas contribuyen, junto con la pesquería, a aumentar el estrés de la población (GUEVARA y LLEONART 2008). El análisis de datos del contenido estomacal indica que la disminución de las principales presas (e.g. sardina, bereche) ha producido un cambio hacia otras presas (e.g. eufáusidos, canibalismo), con efectos negativos en el factor de condición y el índice gonadosomático.

Las simulaciones con factores biológicos y ambientales, sugieren que la reducción poblacional de la merluza se atribuye más a factores biológicos (relaciones tróficas y presión de pesca) que a factores ambientales.

Tabla 1.- Resultados de simulaciones con variables físicas y biológicas

Simulation	SS (sum of + squares)	Change in SS (%)
Initial 2-stage hake multistanza; no additional mediation	207,82	
1) + prey mediation to → SH,LH w/ SST (3-17°S)	215,31	3,60%
2) + prey mediation to → SH,LH w/ SST (3-7°S)	213,78	2,87%
3) +prey mediation to → SH,LH w/ z15°C (3,5-13,5°S)	214,37	3,15%
4) + prey mediation to → SH,LH w/ z15°C (3,5-7,5°S)	213,36	2,67%
5) + forcing function → Egg production w/ GSI	205,64	-1,05%
6) + forcing function → Egg production w/ KI	207,36	-0,22%

SIMULACIONES DE BIOMASAS Y CAPTURAS

Las simulaciones de biomاسas y capturas se ajustaron relativamente bien a los datos observados (Figuras 6 y 7), con tendencias similares a las obtenidas por TAYLOR et al. (2008). Las series de tiempo de fitoplancton sirvieron para forzar los cambios de diatomeas y dinoflagelados durante El Niño y La Niña.

Las proyecciones de biomاسas de merluza pequeña (Figura 8) y merluza grande (Figura 9) obtenidas con el modelo ecosistémico, permitieron explorar el impacto de diferentes estrategias de manejo pesquero, basadas en una reducción de la mortalidad por pesca. Se espera una recuperación moderada de la merluza adulta sólo bajo una reducción muy fuerte de la presión de pesca.

En la Figura 10, se presenta la recuperación relativa de la biomasa de merluza luego de 8 años, observándose que con una reducción de la mortalidad por pesca del 25%, la biomasa se recupera en más del 10%, y bajo una moratoria, la biomasa se recupera en más de un 40%.

Las simulaciones indican que la dinámica de la merluza responde principalmente a efectos tróficos con la comunidad de peces demersales y a la presión de pesca. Considerando la actual estructura poblacional, con menos clases de edad que en los años 90, y la tendencia observada de aumento del canibalismo de la merluza, la proyección de biomاسas del modelo sugirió que el stock de merluza a bajos niveles poblacionales presenta una limitada resiliencia.

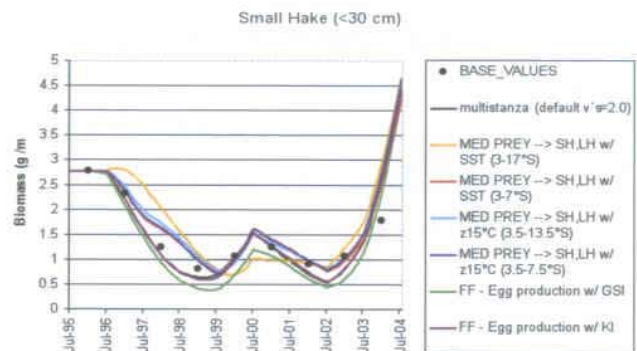


Figura 4.- Biomاسas simuladas (líneas) y observadas (puntos) de merluza <30 cm, usando diferentes funciones forzantes y funciones de mediación trófica.

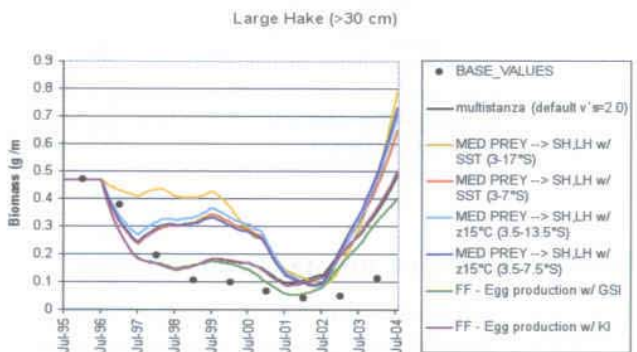


Figura 5.- Biomاسas simuladas (líneas) y observadas (puntos) de merluza >30 cm usando diferentes funciones forzantes y funciones de mediación trófica.

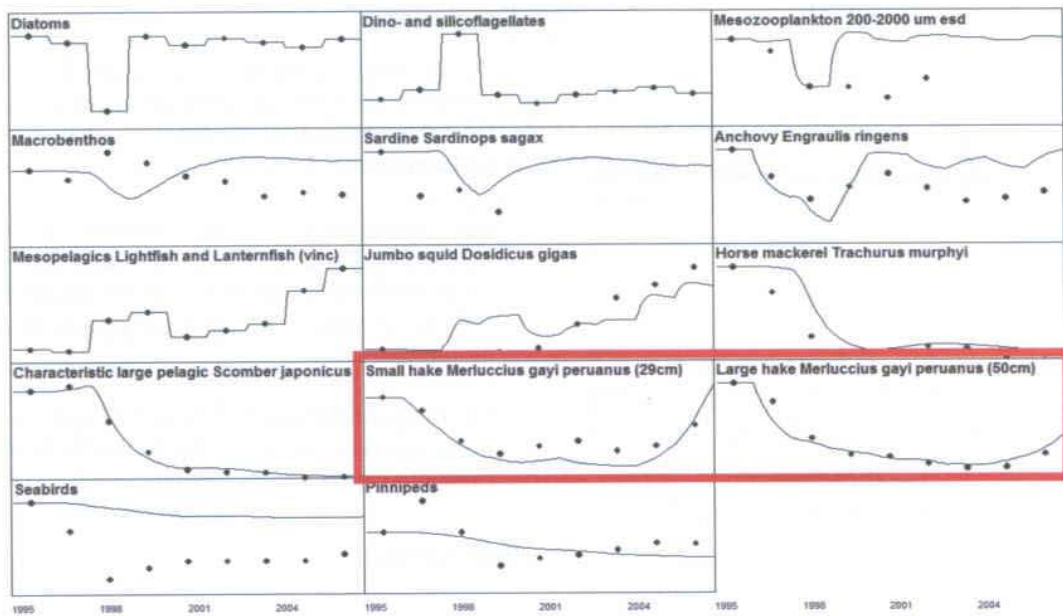


Figura 6.- Biomosas simuladas (líneas) y observadas (puntos) de diferentes grupos funcionales del ecosistema, incluyendo los estadios de merluza (rectángulo).

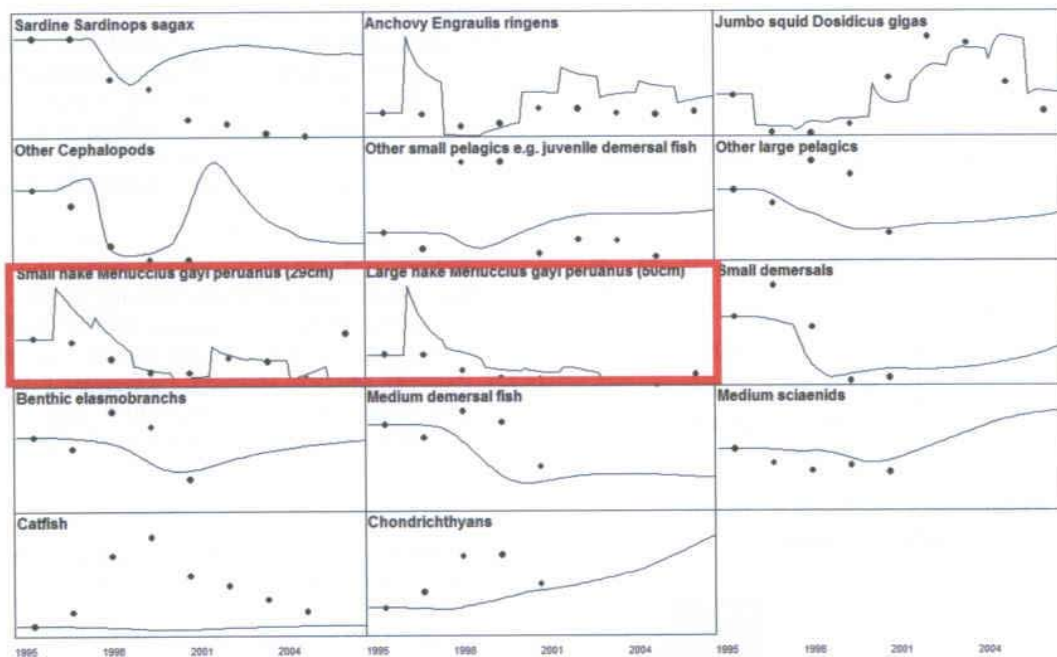


Figura 7.- Capturas simuladas (líneas) y observadas (puntos) de diferentes grupos funcionales del ecosistema, incluyendo los estadios de merluza (rectángulo).

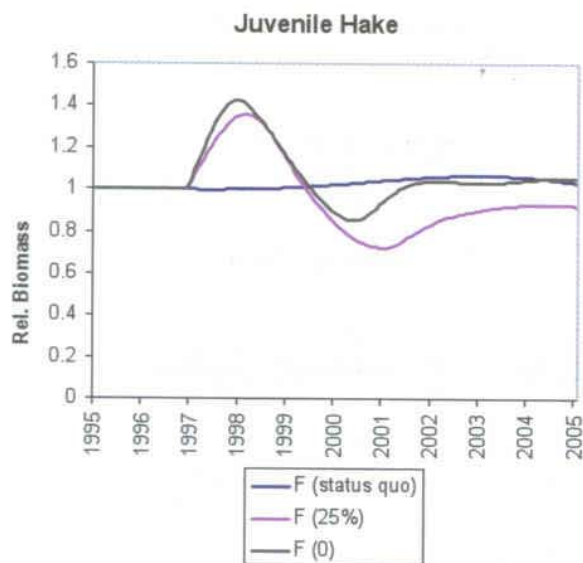


Figura 8.- Proyecciones de biomasa relativa de la merluza < 30 cm del modelo ecosistémico.

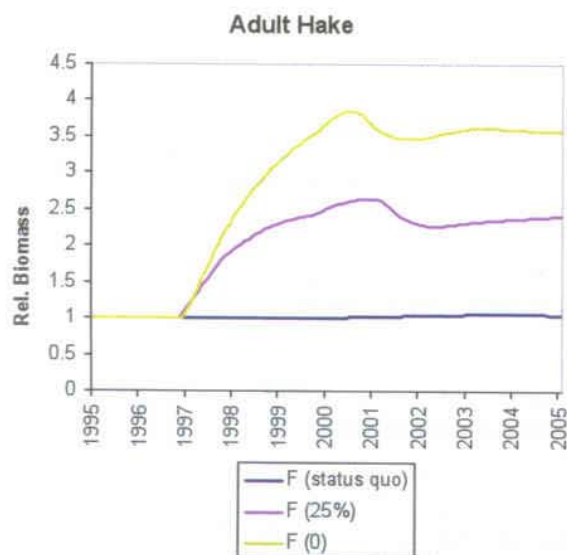


Figura 9.- Proyecciones de biomasa relativa de la merluza >30 cm del modelo ecosistémico.

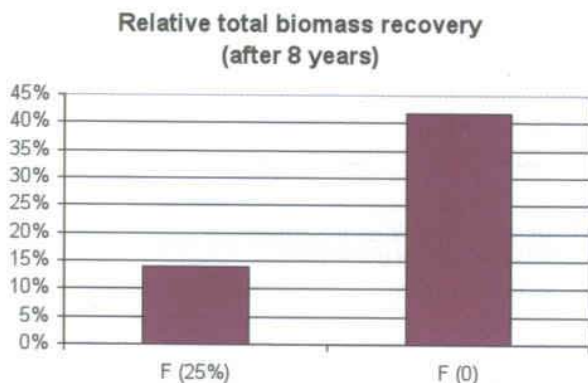


Figura 10.- Recuperación relativa de la biomasa de merluza luego de ocho años.

Conclusiones

- El modelo ecotrófico multiespecífico, con dos estadios de merluza, permitió explorar escenarios de recuperación de la merluza, bajo un enfoque ecosistémico.
- Las simulaciones con factores biológicos y ambientales, sugirieron que la reducción poblacional de la merluza se atribuye más a factores biológicos (relaciones tróficas y presión de pesca) que a factores ambientales.
- Las proyecciones de biomasa del modelo sugirieron que el stock de merluza a bajos niveles poblacionales presenta una limitada resiliencia.

Referencias

BALLÓN M, WOSNITZA-MENDO C, GUEVARA-CARRASCO R, BERTRAND A. 2008. The impact of overfishing and El Niño on the condition factor and reproductive success of Peruvian hake, *Merluccius gayi peruanus*. *Progress in Oceanography*. 79:300-307.

CHRISTENSEN V, WALTERS C, PAULY D. 2005. Ecopath with Ecosim: a user's guide. Fisheries Centre Research Reports 12, 154.

FAO. 2003. The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. (4):112.

FIELD JC, FRANCIS RC, AYDIN K. 2006. Top-down modeling and bottom-up dynamics: Linking a fisheries-based ecosystem model with climate hypotheses in the Northern California Current. *Progress in Oceanography* 68:238-270.

GUEVARA-CARRASCO R, LLEONART J. 2008. Dynamics and Fishery of the Peruvian hake: between the nature and the man. *Journal of Marine Systems*. 71:249-259.

MUCK P. 1989. Anchoveta consumption of Peruvian hake: a distribution and feeding model, pp. 306-320. In: PAULY D, MUCK P, MENDO J, TSUKAYAMA I. The Peruvian upwelling ecosystem: Dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings 18, 438 pp.

TAM J, TAYLOR MH, BLASKOVIC V, ESPINOZA P, BALLÓN M, DÍAZ E, WOSNITZA-MENDO C, ARGÜELLES J, PURCA S, AYÓN P, QUIPÚZCOA L, GUTIÉRREZ D, GOYA E, OCHOA N, WOLFF M. 2008. Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part I: Comparing trophic linkages under La Niña and El Niño conditions. *Progress in Oceanogr.* 79:352-365.

TAYLOR MH, TAM J, BLASKOVIC V, ESPINOZA P, BALLÓN M, WOSNITZA-MENDO C, ARGÜELLES J, DÍAZ E, PURCA S, OCHOA N, AYÓN P, GOYA E, GUTIÉRREZ D, QUIPÚZCOA L, WOLFF M. 2008. Trophic modeling of the Northern Humboldt Current Ecosystem, Part II: Elucidating ecosystem dynamics from 1995 to 2004 with a focus on the impact of ENSO. *Progress in Oceanogr.* 79:366-378.

WOSNITZA-MENDO C, GUEVARA-CARRASCO R, BALLÓN M. 2004. Possible causes of the drastic decline in mean length of Peruvian hake in 1992, *Bol. Inst. Mar Perú*. 21:1-26.