

Banco Central de Chile
Documentos de Trabajo

Central Bank of Chile
Working Papers

N° 534

Diciembre 2009

EFFECTOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL SOBRE LA INDUSTRIA PESQUERA

Carlos Medel

La serie de Documentos de Trabajo en versión PDF puede obtenerse gratis en la dirección electrónica: <http://www.bcentral.cl/esp/estpub/estudios/dtbc>. Existe la posibilidad de solicitar una copia impresa con un costo de \$500 si es dentro de Chile y US\$12 si es para fuera de Chile. Las solicitudes se pueden hacer por fax: (56-2) 6702231 o a través de correo electrónico: bcch@bcentral.cl.

Working Papers in PDF format can be downloaded free of charge from: <http://www.bcentral.cl/eng/stdpub/studies/workingpaper>. Printed versions can be ordered individually for US\$12 per copy (for orders inside Chile the charge is Ch\$500.) Orders can be placed by fax: (56-2) 6702231 or e-mail: bcch@bcentral.cl.



BANCO CENTRAL DE CHILE

CENTRAL BANK OF CHILE

La serie Documentos de Trabajo es una publicación del Banco Central de Chile que divulga los trabajos de investigación económica realizados por profesionales de esta institución o encargados por ella a terceros. El objetivo de la serie es aportar al debate temas relevantes y presentar nuevos enfoques en el análisis de los mismos. La difusión de los Documentos de Trabajo sólo intenta facilitar el intercambio de ideas y dar a conocer investigaciones, con carácter preliminar, para su discusión y comentarios.

La publicación de los Documentos de Trabajo no está sujeta a la aprobación previa de los miembros del Consejo del Banco Central de Chile. Tanto el contenido de los Documentos de Trabajo como también los análisis y conclusiones que de ellos se deriven, son de exclusiva responsabilidad de su o sus autores y no reflejan necesariamente la opinión del Banco Central de Chile o de sus Consejeros.

The Working Papers series of the Central Bank of Chile disseminates economic research conducted by Central Bank staff or third parties under the sponsorship of the Bank. The purpose of the series is to contribute to the discussion of relevant issues and develop new analytical or empirical approaches in their analyses. The only aim of the Working Papers is to disseminate preliminary research for its discussion and comments.

Publication of Working Papers is not subject to previous approval by the members of the Board of the Central Bank. The views and conclusions presented in the papers are exclusively those of the author(s) and do not necessarily reflect the position of the Central Bank of Chile or of the Board members.

Documentos de Trabajo del Banco Central de Chile
Working Papers of the Central Bank of Chile
Agustinas 1180
Teléfono: (56-2) 6702475; Fax: (56-2) 6702231

EFFECTOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL SOBRE LA INDUSTRIA PESQUERA

Carlos Medel

Gerencia de Análisis Macroeconómico
Banco Central de Chile

Resumen

En este trabajo se desarrollan dos modelos de firmas pesqueras para conocer y estimar el efecto del calentamiento global (CG) sobre el valor de estas. Se define CG como el aumento adicional de la temperatura promedio de la superficie terrestre causada por emisiones de CO₂. Se argumenta que la mayor temperatura produce dos efectos en la biomasa que, en definitiva, afectan a la firma. El primero es a través de oscilaciones de la biomasa, para lo cual se modifica el modelo presentado en Pindyck (1984) incluyendo una variable de temperatura acuática. Los resultados indican que el valor puede caer entre 6 y 44% si la biomasa tiene una varianza de 1 y 20%, respectivamente. El segundo efecto se produce a través de la reducción de la biomasa, para lo cual se modifica el modelo desarrollado en Smith (1968), y se encuentra que el valor de la pesquera representativa puede caer entre 8 y 10% si la anomalía de temperatura aumenta entre +1 y +8°C. Se revisa la literatura biológica y de calentamiento global para sustentar dos supuestos cruciales: existencia de CG, y el efecto negativo de la mayor temperatura sobre la biomasa.

Abstract

This paper develops two models of fishery firms in order to understand and estimate the effect of global warming (CG) on their value. CG is defined as an additional increase in the average thermal temperature caused by CO₂ emissions. Two effects on the biomass stem from this temperature increase that affect the fisheries' value. The first, which makes it fluctuating, is a modification of the Pindyck (1984) model by including a variable for thermal temperature. Results indicate that the firm value can fall between 6% and 44% if the biomass decreases 1% and 20%, respectively. The second considers the reduction of the biomass itself, and belongs to a different version of the Smith (1968) model. Results here show that the same value reduction amounts to between 8% and 10% if temperature anomaly rises +1% and +8°C. Finally, estimates depend on two assumptions that rely on biological evidence: CG is a reality and temperature increases have a negative effect on the biomass.

Se agradecen los comentarios de Augusto Castillo, José Antonio Carrasco, Gonzalo Edwards, Rodrigo Harrison, Hugo Salgado, Diego Schmidt-Hebbel y un árbitro anónimo. Adicionalmente a los participantes del Seminario Interno GAM Agosto 2009 y asistentes al Encuentro Anual SECHI 2009. De la misma forma, se agradecen los aportes de investigación biológica a Marcelo Saavedra. El esfuerzo realizado en este trabajo está enteramente dedicado a la memoria de Diego Schmidt-Hebbel. Los errores u omisiones son responsabilidad del autor. E-mail: cmedel@bcentral.cl.

1 Introducción

En este trabajo se investiga el efecto económico del calentamiento global (CG¹) sobre la industria pesquera. Se entiende por actividad pesquera la extracción de recursos marinos desarrollada industrialmente a mar adentro y su posterior comercialización. La extracción se realiza por sobre la Zona Económica Exclusiva en la cual existe la competencia internacional por los recursos. Se prescinde de las artes rudimentarias de pesca y de la acuicultura, donde es posible tener mayor control sobre las variables que afectan la productividad en la extracción de los recursos. En este estudio, específicamente se explota la incapacidad de controlar la temperatura acuática.

El CG por su parte, es un tema de creciente interés en múltiples disciplinas. A lo largo de este trabajo se consideran sólo los aspectos aplicados a la biología marina, la que ha acrecentado el esfuerzo por entender las relaciones de la biomasa² con los movimientos de temperatura, especialmente a la luz del fenómeno de El Niño (*El-Niño-Southern-Oscillation*, en adelante, ENSO) ocurrido en 1998.

Se consideran dos efectos del CG sobre la biomasa. El primero es su oscilación, por consiguiente, la firma que dispone de una tecnología para una biomasa sin oscilaciones enfrenta ahora una situación de riesgo por la cual debe incrementar sus esfuerzos para mantener su posición competitiva. Para efectos de la modelación se suponen oscilaciones aleatorias que reflejan el desconocimiento sobre la disponibilidad del recurso. Se supone además la participación de la pesquera en un mercado competitivo.

El segundo efecto es la reducción de la biomasa por CG. Para la modelación se supone que la causa de ello es el incremento de la mortalidad y/o migración. En consecuencia, la firma pesquera debe incrementar el esfuerzo de pesca o la cantidad extraída para que, dado el nivel de capital invertido, alcance la escala óptima de extracción rentable y biológicamente sustentable.

Lo anterior manifiesta el problema al cual se enfrenta la industria y es la principal motivación de este trabajo: estimar el impacto económico de ambos efectos del CG, modificando dos modelos de la literatura de *fisheries economics*. Para el caso de biomasa estocástica se modifica el modelo presentado en Pindyck (1984), incluyendo una variable de temperatura explícitamente en la biomasa e implícitamente en la función de beneficios para sopesar el costo económico que deben afrontar las firmas en su tarea de lograr su nivel óptimo de extracción. Para el segundo efecto se modifica el modelo de Smith (1968), también incluyendo la variable de temperatura en la biomasa y en la función de beneficios de la firma.

Ambos modelos, y su posterior estimación, se desarrollan bajo dos supuestos de una índole distinta a la económica. El primero es *la temperatura promedio de la superficie terrestre (marina) está aumentando*, y el segundo es *el calentamiento global afecta la biomasa*. Se revisan los datos y la literatura correspondiente para clarificar el alcance de ellos.

El trabajo se organiza de la siguiente forma. En la siguiente sección se exponen los argumentos que apoyan los dos supuestos recién mencionados, revisando parte de la literatura biológica relacionada y la de CG. En primer lugar, se argumenta que si bien las series de tiempo de temperatura ambiental aún son cortas para evidenciar cambio estructural, la tendencia ha sido alcista. Se revisan algunos estudios y datos que dan cuenta de aumentos de temperatura de distinta forma. Por ejemplo, se examinan las consecuencias del ENSO en el Océano Pacífico, algunos mares interiores, y calentamiento del fondo marino. En segundo lugar, el efecto de la mayor temperatura sobre la biomasa se deriva del

¹ El CG es el aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre causado por las emisiones de CO₂ que impiden la completa devolución a la atmósfera de la radiación absorbida por la Tierra.

² Se entiende por *biomasa* la abreviatura de *masa biológica*, esto es, la cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre y/o marina.

análisis de algunos casos particulares, revisando para ello la literatura sobre los impactos del ENSO en los océanos del hemisferio sur, y algunos fenómenos recientes observados en el hemisferio norte.

En la misma sección, se revisa la literatura de los tres temas que confluyen en este trabajo: economía de las pesqueras, CG y biología marina. Se detallan los primeros modelos de *fisheries economics* y su evolución. También se describe el estado actual de la literatura de CG, que aún se encuentra en etapas iniciales y carece de precisión.

En la Sección 3 se desarrolla el modelo de biomasa estocástica, basado en Pindyck (1984). Se utiliza el instrumental matemático de ecuaciones diferenciales estocásticas para modelar la biomasa, y la teoría clásica de la firma para la pesquera representativa. Se incluye una ecuación de respuesta a los *shocks* de biomasa que depende del impacto observado por la firma y del gasto anual destinado a mitigar y aprender del problema. Por esta vía, se espera crear un aprendizaje sobre el tratamiento de la biomasa estocástica, el cual puede forzarse con un mayor gasto o enfrentando un mayor número de *shocks*. Ambas soluciones son, por cierto, costosas.

En la Sección 4 se modifica el modelo de Smith (1968) para ajustarlo a los objetivos de este estudio. Su utilización se debe a la simplicidad que provee el análisis de estática comparativa de situaciones con mayor temperatura cada vez que la firma maximiza su beneficio. Adicionalmente su inclusión se realiza con el afán de analizar exhaustivamente los efectos de la temperatura sobre la biomasa.

En la Sección 5 se calibran ambos modelos para simular algunos resultados numéricos relevantes. Los resultados indican que el efecto de biomasa estocástica puede reducir el valor anual de la firma entre un 6 y un 44% si la varianza es de 1 y 20% respectivamente. Por otra parte, si la firma extrae los recursos de una biomasa entre +1 y +9°C más caliente, su valor anual puede reducirse entre un 8 y un 10%.

Del modelo de biomasa determinística también se extrae la dinámica óptima del capital invertido, el cual aumenta hasta que la anomalía de temperatura³ aumenta en +4,3°C para después caer y hacerse estable en valores negativos, es decir, económicamente conviene retirar capital de la firma si la anomalía de temperatura de la biomasa aumenta en +4,3°C. Lo anterior responde al problema de “muchos barcos” y “pocos peces”, transformando la industria en un sector de bajo atractivo para la inversión.

En la Sección 6 se describen las dificultades teóricas de fundir ambos modelos en uno, discutiendo sobre la modelación estática con componentes estocásticos. Con el análisis presentado en esta sección se justifica la separación de los efectos (biomasa oscilante y reducida) del CG, ya que si bien la revisión de la literatura sugiere que ocurren en conjunto, su aislamiento permite una estimación directa. Finalmente, en la Sección 7 se concluye.

2 Revisión de la Literatura: Economía de las Pesqueras, Calentamiento Global y Biología Marina

Durante los primeros años de desarrollo, la biología y la economía crecieron como ciencias separadas. Sin embargo, a partir de la década de los 60, se ligó el problema económico de la firma pesquera (por ejemplo, inversión de flota y nivel óptimo de desembarque) con temas biológicos como sustentabilidad de la biomasa y enfermedades en la población de peces.

³ Algunos datos de temperatura están medidos en términos de *anomalías*, un término genérico para identificar una condición diferente del valor medio climatológico. Se expresa como la diferencia (absoluta o normalizada) con respecto a la media.

Un punto de partida en *fisheries economics* es Christy y Scott (1965), libro en el cual se presentan tópicos relevantes para las pesqueras. Por ejemplo, se analiza la divergencia creada entre los objetivos económicos y la sustentabilidad del recurso, motivada por la persistente competencia internacional, avances tecnológicos y la creciente demanda mundial por recursos marinos. En este contexto, se analiza el rol de la regulación pesquera de manera que asegure la renovabilidad del recurso. Lo anterior, es la piedra angular del trabajo de Scott (1955), en el cual se argumenta que una única firma dueña de la propiedad del recurso lo explotará de manera sustentable, lo que se basa en un argumento monopolístico comparado con la mayor extracción que supone la competencia. El enfoque de Christy y Scott (1965) es ligeramente complicado porque orienta la firma hacia la competencia, siempre en el plano de regulación internacional. El presente trabajo se desarrolla bajo ese planteamiento. En otras palabras, se entiende por industria pesquera al conjunto de firmas que producen bienes utilizando recursos marinos considerados *comunes*⁴, o transformándolos en productos (actividad conocida como “reducción”). Además, este trabajo se refiere a la pesca desarrollada a mar abierto, caracterizada por un alto nivel tecnológico y de industrialización, prescindiendo de las artes rudimentarias.

Se subraya que el conocimiento exhibido en Christy y Scott (1965) es bajo para el actual estado de las artes, y por esa razón la biodiversidad era amenazada por niveles de explotación propuestos por modelos teóricos estáticos, que por definición no captan problemáticas contingentes de la biomasa. Es así como la regulación fundamentada en estos modelos exacerba el daño ecológico al exceder el desembarque sustentable. Algunos de estos modelos, como los presentados en Beverton y Holt (1957) y Schaefer y Beverton (1963), a pesar de estos inconvenientes, constituyen la base de otros con mayor refinamiento.

Después de la década de los 70, los modelos incorporaron elementos matemáticos mejorando sustancialmente la eficiencia de las artes de pesca y la regulación. Empero, lo anterior no fue completamente internalizado por las firmas y los gobiernos que enfrentaban una alta presión de demanda y de competencia. Se produjeron grandes desfloraciones afectando para siempre la biodiversidad. En Pauly *et al.* (1998) se muestra que a nivel de los trópicos, el exceso de extracción redujo la población de especies depredadoras, causando efectos permanentes en la biodiversidad.

Una aproximación actual al tema de *fisheries economics* es el *survey* Bjørndal y Munro (1998), en el cual se realiza una síntesis teórica recientemente potenciada en Bjørndal *et al.* (2007).

2.1 *Fisheries Economics*: Modelos Estáticos

El tema de CG es una línea de investigación naciente, por lo que, antes de la década de los 70 la agenda investigativa de *fisheries economics* estaba marcada por la necesidad de estrechar sólo la relación entre la modelación biológica y la teoría clásica de la firma. En esa dirección, los trabajos más importantes son Beverton y Holt (1957), Shaefer y Beverton (1963) y Gordon (1964), donde se expresa lo que después es recogido por Smith (1968, 1969) agregando aspectos de la teoría de la firma, y expandiendo el análisis a otros recursos naturales. Básicamente, el planteamiento de estos modelos es presentado a continuación (basándose en Bjørndal y Munro, 1998). Se centra el análisis en la biomasa pescable (*fishable biomass*), es decir, en la biomasa que de soporte a masas de peces que pueden extraerse industrialmente. Se supone que una biomasa no interactúa con otra, y su movimiento está afectado por (i.) reclutamiento (el ingreso a la biomasa de nuevas especies), (ii.) crecimiento individual, (iii.) mortalidad natural, y (iv.) mortalidad inducida, esto es, la extracción. Siguiendo a Shaefer y Beverton (1963), sea x la *biomasa pescable*,

$$\dot{x} = z(x) + g(x) - m(x) - f(x, E) \quad (2.1)$$

⁴ Cuando un bien es *común*, su uso por parte de un consumidor reduce el consumo de otro (*rival*), y es imposible impedir que lo utilicen otros consumidores (*no excluible*), a diferencia de un bien *público*, en el cual un consumidor no reduce el consumo de otro (*no rival*), y no se impide que lo utilicen otros consumidores (*no excluible*).

donde $z(x)$, $g(x)$, $m(x)$ y $f(x,E)$ representan el reclutamiento, crecimiento individual, mortalidad natural y mortalidad por pesca, con $x^* \equiv dx/dt$. La mortalidad por pesca depende de E , denominado ‘esfuerzo de pesca’, comúnmente medido en términos de días-barco por unidad de tiempo. Típicamente, una simplificación realizada en este tipo de modelos se debe a la imposibilidad de conocer la forma funcional exacta del lado derecho de la ecuación 2.1. Por lo tanto, se asume que,

$$\dot{x} = b(x, A) = b(x) \quad (2.2)$$

donde A es una constante que denota el entorno acuático. En general, para hablar de recursos pesqueros y no de otro recurso, la especificación de $b(x)$ en forma de U-invertida en el plano (x, x^*) es la clave. Para las pesqueras se ha utilizado ampliamente el modelo logístico, debido a la intuición que éste provee. En efecto,

$$b(x) = rx \left(1 - x / W\right) \quad (2.3)$$

donde r es la tasa intrínseca de crecimiento de la población (constante), que contiene los elementos de reclutamiento y mortalidad, y W denota la capacidad máxima de soporte permitido por la biomasa. El vínculo de la firma con la biomasa se realiza a través del desembarque (*harvesting*). Para ello, siguiendo a Schaefer y Beverton (1963), la función de extracción⁵ que emula la función $f(x,E)$ en (2.1) es,

$$h(E, x) = qE^a x^\beta \quad (2.4)$$

donde q , a y β son constantes. En general, se supone que $a=\beta=1$ y $q \in [0,1]$. Con esta intervención, la biomasa toma la forma,

$$\dot{x} = b(x) - h(E, x). \quad (2.5)$$

La solución de estado estacionario ($x^*=0$) ocurre a un nivel de extracción positivo, es decir, $b(x^*)=b(E, x^*)>0$ con $0 < x^* < W$. Dada la solución x^* , el esfuerzo y la extracción pueden escribirse en función de x , que en la función $b(x)$ equivale al *sustainable yield* (Y_s), ya que siempre $x^*=0$. Gráficamente se presenta en la Ilustración 1, donde Y_s^* corresponde a la máxima extracción sustentable.

Mientras $b(\dots)$ sea función de E , entonces el *sustainable yield* también puede escribirse en función de E y corresponder a una variable de decisión de la firma. En ese caso, el *sustainable yield* corresponde a

$$Y_s = \eta E - \theta E^2 \quad (2.6)$$

con $\eta=qW$ y $\theta=q^2W/r$, conservando la forma de U-invertida. La ecuación 2.6 es el núcleo de la teoría estática. Desde ahí se puede encontrar el nivel óptimo de esfuerzo que permite el mayor nivel de extracción sustentable.

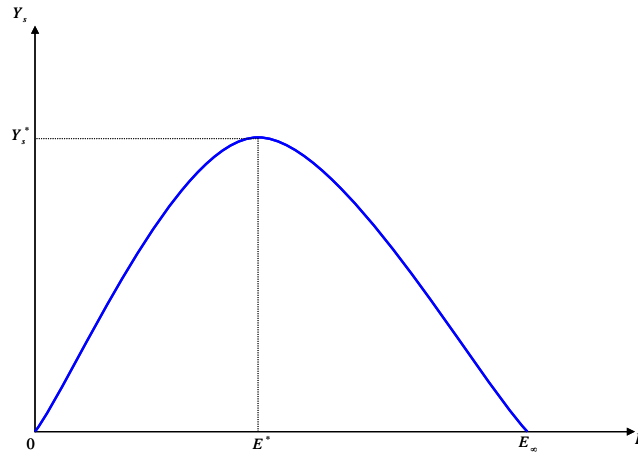
La introducción de la función de costos en este escenario es directa, $C(E)=\gamma E$ con $\gamma>0$. Por lo tanto, la maximización de la firma ocurre cuando,

$$\max_{\{E\}} [IT(E_0) - C(E)] \geq 0 \quad (2.7)$$

donde $IT(\dots)$ corresponde al ingreso total, y $E=E_0$ representa el nivel de esfuerzo óptimo obtenido con (2.6). Gráficamente, el problema estático de la firma está descrito en la Ilustración 2. La solución $E=E_\infty$ corresponde a la situación de competencia perfecta, con utilidades completamente disipadas, existiendo equilibrio biológico y económico.

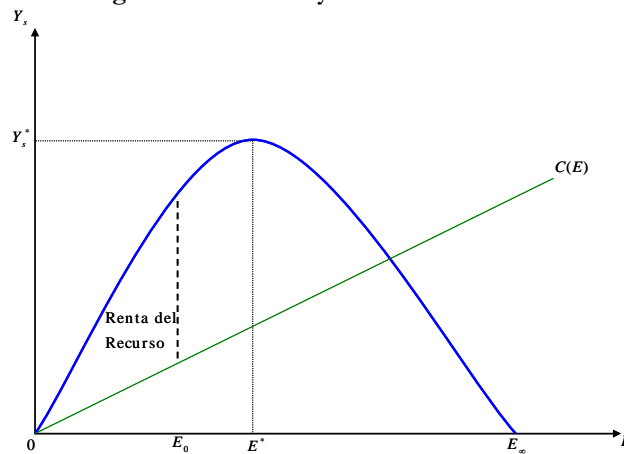
⁵ Pese a que no son idénticos, se utilizarán los términos desembarque (*harvesting*) y extracción indistintamente, lo que no modifica los resultados relevantes.

Ilustración 1: Extracción Sustentable como Función del Esfuerzo de Pesca



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 2: Ingreso Sustentable y Costo Total de Esfuerzo de Pesca



Fuente: Elaboración propia.

En Anderson (1977) se dedican los primeros capítulos a la derivación de este resultado. Además incluye mayor instrumental microeconómico para diferenciar la situación de competencia con la monopolística. No obstante, aquí se mantienen en todo momento los supuestos de un mercado competitivo.

2.2 Fisheries Economics: Modelos Dinámicos

Respecto a modelos avanzados, el trabajo referencial es el de Clark (1976), donde se propone una completa teoría dinámica del proceso de pesca, e incluye una revisión exhaustiva a los modelos existentes en ese entonces para luego introducir la teoría de control óptimo para la obtención del nivel adecuado de extracción. Las mejoras respecto al enfoque estático se presentan a continuación. La firma mantiene su objetivo, ahora en términos de valor presente. En efecto,

$$\max VP = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} \pi(x_t, h_t) dt \quad (2.8)$$

donde δ es la tasa de descuento social. La función de beneficios corresponde a

$$\pi(x_t, h_t) = \{p - c(x)\}h_t, \quad \forall t \quad (2.9)$$

donde p es el precio unitario, y $c(x)$ es el costo unitario. La modelación de la biomasa sigue representándose por la ecuación 2.5. El hamiltoniano correspondiente es,

$$H = e^{-\delta t} \{p - c(x)\}h_t + \lambda_t \{b(x) - h_t\} \quad (2.10)$$

donde λ_t es el multiplicador de Lagrange dinámico, cuya interpretación es la del precio sombra del recurso. Esta formulación enfatiza el *trade-off* temporal enfrentado por la firma respecto al nivel de inversión a realizar por período, relativo a la utilidad obtenida en el período. La solución es la *ecuación fundamental de explotación de recursos naturales*, expuesta (por ejemplo) en Pearce y Turner (1990) y presentada a continuación,

$$b_x + \left. \frac{\partial \pi / \partial x}{\partial \pi / \partial h} \right|_{h=b(x^*)} = \delta \quad (2.11)$$

La ecuación 2.11 se interpreta como una regla de decisión de inversión: el retorno marginal de la inversión en el recurso debe ser igual a la tasa de descuento social. El primer término del lado izquierdo es el impacto de una unidad adicional de *stock* del recurso en el retorno del recurso, mientras que el segundo, refleja el hecho que el nivel de *stock* tiene un impacto distinto en los costos de extracción. En Clark y Munro (1982), Bjørndal (1987) y Clark (1990) se presentan distintas formas de derivar este resultado, convergiendo a la interpretación que se ha dado en este trabajo. Las diferencias sólo provienen del hecho que se resaltan situaciones particulares en el planteamiento de las ecuaciones previas.

Las extensiones de este resultado son diversas. En Clark *et al.* (1979) se utiliza para conocer el efecto de inversión irreversible sobre el nivel óptimo de extracción, encontrando que al menos en el corto plazo el supuesto de irreversibilidad es relevante, forzando a la firma a mayores esfuerzos de pesca. En Bjørndal (1987) se analiza la situación del arenque en Canadá el año 1977, cuando la prohibición de extracción de esta especie a tiempo evitó su extinción de esa zona. Otras aplicaciones incluyen la modelación bioeconómica de focas arpa del Océano Atlántico (Conrad y Bjørndal, 1991), de tiburones al sur de Australia (Pascoe *et al.*, 1992) y de gamba tigre (crustáceo similar a la langosta) en el Golfo Exmouth, Australia (Ye *et al.*, 2005).

Los modelos dinámicos tienden a asociarse no sólo con decisiones temporales, sino además con la inclusión de variables aleatorias. En Pindyck (1984) se incluye un componente estocástico dependiente del nivel de biomasa. En ese estudio, la formulación de la biomasa es del tipo

$$dx = \{b(x) - h_t\}dt + \sigma(x)dz \quad (2.12)$$

donde $z = \varepsilon_t \sqrt{dt}$ es un proceso Wiener, o alternativamente, ε_t es un proceso browniano. La variable $\sigma(x)$ indica la variabilidad de la biomasa, y se especifica de tal manera que el recurso sea siempre no-negativo. La representación de la biomasa descrita por la ecuación 2.12 ha sido aplicada a diversas problemáticas. De Leo y Gatto (2001) plantean un modelo para la captura de anguilas en las costas de Italia. En Levy *et al.* (2006) se extiende el resultado de (2.12) para captar contingencias que pueden afectar el crecimiento de la biomasa. En ese trabajo la función especificada para la biomasa es del siguiente tipo

$$dx = \{b(x)s(x) - h_t\}dt + \sigma(x)dz \quad (2.13)$$

donde la función $s(x)$ capta el efecto de algún desastre que reduzca la biomasa.

Un enfoque distinto es el de Chong *et al.* (2006). Se utiliza un instrumental matemático avanzado y complejo. La perspectiva adoptada en el trabajo permite captar de mejor manera la variable *tiempo*, por lo tanto, un *output* del modelo es el momento óptimo de extracción. Con una metodología similar, Chong *et al.* (2005) desarrollan un modelo similar para pesca en ríos.

Otros refinamientos al planteamiento dinámico es la inclusión de expectativas racionales (Clark, 2007) y el análisis con teoría de juegos e información incompleta (Hannesson, 2007; Kobayashi, 2007; Lindroos *et al.*, 2007; McKelvey *et al.*, 2007).

En el presente trabajo se postula que a pesar de estas sofisticaciones existe una problemática reciente de una índole inédita con bajo nivel de conocimiento y que puede afectar el desempeño de las pesqueras: el calentamiento de la superficie terrestre y marina. Es reciente porque los aumentos de temperatura persisten hasta 2007, presentando una tendencia alcista como se observa en la Ilustración 3. Por otro lado, es inédito porque no obedece al régimen cíclico anterior al año 1990, como se advierte en la Ilustración 13 del Anexo 1.

2.3 Sobre la existencia de Calentamiento Global

En esta sección se pretende orientar la interpretación y alcance del Supuesto 1: *La temperatura de la superficie terrestre (marina) está aumentando*. El CG es el aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre, causado por las mayores emisiones de CO₂ que impiden la completa devolución a la atmósfera de la radiación solar absorbida por la Tierra. El efecto se potencia con la emisión de gases contaminantes causantes del *efecto invernadero* como metano, ozono, óxidos de nitrógeno, entre otros⁶. En el Anexo 1 se presentan gráficamente las emisiones de CO₂ por continente desde 1800 hasta 2000. Se expone además la relación entre temperatura y emisión de CO₂ desde 1000 hasta 2000, desechando la posibilidad de comportamiento cíclico de ambas series y otorgándole al fenómeno la característica de inédito. De la definición no es directo el origen del CG, ya que los aumentos en las emisiones de CO₂ pueden deberse a factores antropogénicos y naturales (como incendios forestales) o una combinación de ambos.

Metodológicamente se cuenta con la suficiente confianza para afirmar que, según las series de tiempo, la tendencia de la temperatura ha ido al alza. No obstante, biológicamente los datos deben interpretarse con precaución, ya que para afirmar cambios estructurales en los ecosistemas se necesitan series más extensas que las disponibles. Por lo tanto, una forma de revisar el Supuesto 1 es a través del análisis de estudios específicos de zonas geográficas. Una inspección general de las series de tiempo se realiza sólo de manera expositiva. En la Ilustración 3 se exhibe el *Global Land-Ocean Temperature Anomaly Index*, entre enero de 1979 y abril de 2008, proporcionado por Goddard Institute for Space Studies (GISS) de National Aeronautics and Space Administration (NASA), EEUU. Se aprecia una tendencia al alza en la anomalía desde 1993, aumentando el *peak* de cada ciclo (3 – 5 años) entre +0,02 y +0,08°C por ciclo.

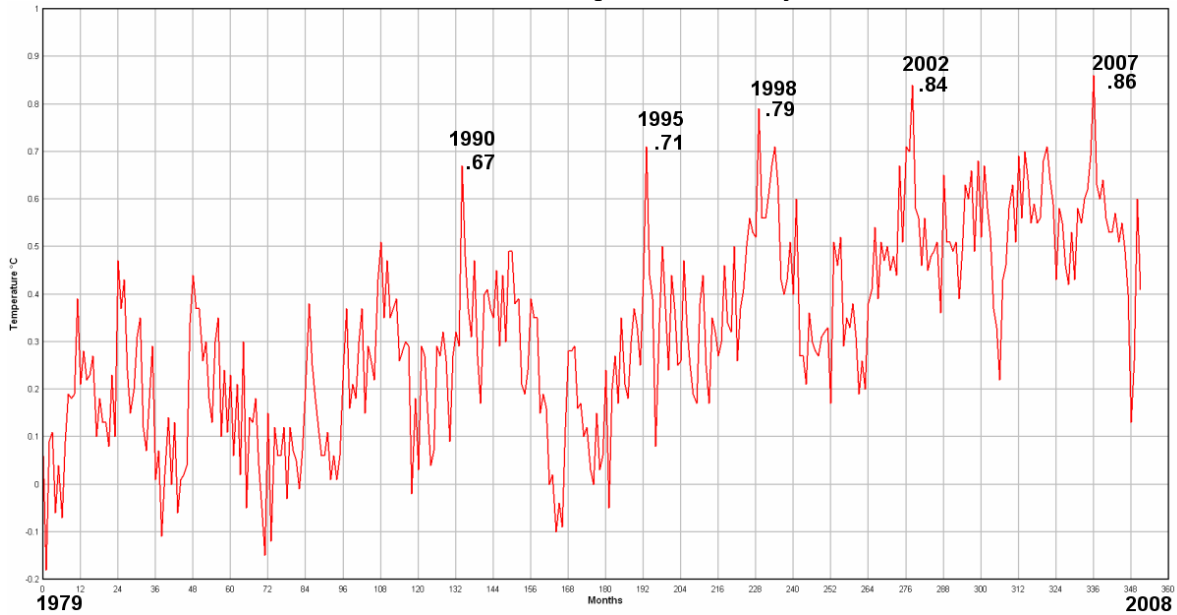
En Hansen *et al.* (2006) se analizan exhaustivamente las series de GISS desde 1880 hasta 2005. Calculan que desde comienzos del siglo pasado hasta 1975 la anomalía de temperatura fue de aproximadamente +0,2°C por década. Después de esa fecha hasta el cambio de siglo, se calcula que fue alrededor de +0,7°C por década. Posteriormente, los autores estiman que se ha retomado la tasa de +0,2°C por década. En la Ilustración 14 del Anexo 2 se expone una de las series de anomalías de temperatura analizada en el trabajo, manifestando los resultados recién explicados.

En cuanto al calentamiento acuático como tal, existen datos y estudios específicos que dan cuenta de los aumentos de temperatura. En Trathan *et al.* (2007) se señala que la perturbación climática afecta con mayor severidad los ecosistemas ubicados en las zonas de menor temperatura, es decir, los círculos polares.

En la Ilustración 15 del Anexo 2 se presenta gráficamente la serie de anomalías globales oceánicas desde 1880 hasta 2005, de la base de datos de GISS. Comparada con la serie de las anomalías terrestres, se advierte que el aumento es menor, empero, la tendencia también es al alza a partir de 1993.

⁶ En Kempfert (2005), se exponen las series de tiempo de emisiones de esos gases a nivel mundial.

Ilustración 3: *Global Land-Ocean Temperature Anomaly Index, 1979-2008.1T.*



Fuente: *Goddard Institute for Space Studies*, <http://data.giss.nasa.gov>.

En Quayle *et al.* (2002) se señala que en Isla Signey, del archipiélago Orcadas del Sur, en el Mar Antártico (ver Anexo 3) la temperatura ha aumentado en $+0,8^{\circ}\text{C}$ en los últimos 50 años. El fenómeno ENSO ocurrido en 1998 es el caso de estudio relevante para la investigación de CG, ya que como se señala en Thompson y Ollason (2001), el ecosistema está influenciado por cambios de largo y corto plazo, correspondiendo el ENSO a un cambio repentino de corto plazo con consecuencias de largo plazo. Forcada *et al.* (2006) señalan que el ENSO incrementó en $+2,0^{\circ}\text{C}$ la temperatura del archipiélago Orcadas del Sur. Algunas consecuencias del fenómeno se documentan en Chan y Liu (2004), mostrando que la frecuencia de tifones en el Océano Pacífico Oriental ha aumentado por este mismo fenómeno.

En Trathan *et al.* (2007) además se argumenta que dada la interconexión del Mar Antártico con el Océano Pacífico, el Océano Atlántico y el Océano Índico los efectos de mayor temperatura se propagan por todo el hemisferio sur, desde el polo hacia las zonas tropicales, afectando los ecosistemas instalados en esos Océanos de manera permanente.

El estudio de Johnson *et al.* (2007) es categórico con relación a la temperatura oceánica. Allí se investiga sobre la tendencia de la temperatura del fondo del Océano Pacífico, y los resultados confirman el mismo patrón observado en la superficie.

La situación en el norte se presenta de manera similar. En la Ilustración 16 del Anexo 2 se comparan las series de anomalías de temperatura de ambos hemisferios. A partir de 1987, las anomalías promedio del hemisferio norte son cada vez más altas que las del hemisferio sur. En 2005, el aumento en el norte fue de $+0,75^{\circ}\text{C}$ aproximadamente, mientras que en sur fue alrededor de la mitad ($+0,36^{\circ}\text{C}$). En la Ilustración 17 del Anexo 2 se verifica este comportamiento presentando la serie de anomalías de la zona comprendida entre los 90 y $23,6^{\circ}\text{N}$, es decir, de los dos tercios más árticos del hemisferio norte. El aumento de la anomalía en esa zona bordeó $+1,0^{\circ}\text{C}$ en 2005.

A nivel mundial, el estudio de Goreau *et al.* (2005) presenta el comportamiento de la temperatura dividiendo la Tierra en 21 zonas oceánicas, encontrando alzas de temperatura sostenidas para la totalidad de ellas a partir de 1980, incluyendo océanos interiores.

El *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2001) desarrolla escenarios teóricos de CG para evaluar efectos, proyecciones y políticas concernientes a la mayor temperatura climática. Algunas proyecciones hasta el año 2100 se exponen en el Anexo 4. Los resultados indican un aumento entre +1,0 y +6,0°C, siendo la base para las estimaciones de la sección de resultados numéricos.

2.4 Revisión de la Literatura sobre Calentamiento Global

Las investigaciones de CG aplicados a fenómenos económicos se encuentran en una etapa de desarrollo. Una dificultad en la modelación radica en el desconocimiento de las consecuencias intersectoriales, conocido como el *problema de agregación* (Fankhauser *et al.*, 1997) El carácter de inédito también contribuye a la incertidumbre de las consecuencias del CG.

Un punto de partida es el *survey* de Peterson (2006), donde se sintetizan los descubrimientos recientes que pretenden acotar la incertidumbre de las proyecciones de las consecuencias económicas de CG. Empero, son estudios multidisciplinarios y no existen principios concretos en la modelación, originando divergencias en las estimaciones. Por ejemplo, en Bosello *et al.* (2007) se proyectan las consecuencias económicas del aumento del nivel del mar en las zonas costeras, producto del derretimiento de masas de hielo en tierra⁷. Las estimaciones arrojan pérdidas del valor de la superficie costera, sin embargo, establecer políticas y tecnologías proteccionistas generan pérdidas aún mayores. Las pérdidas son asimétricas, y si bien el sector agrícola y ganadero de una economía puede favorecerse con mayor temperatura, el sector pesquero puede verse fuertemente erosionado. En síntesis, las eventuales ganancias de un sector pueden aminorar las pérdidas de otros.

Para descartar esta dificultad, algunas estimaciones se realizan a nivel agregado. Por ejemplo, en Fankhauser y Tol (2002) se adapta el modelo de crecimiento de Ramsey-Caas-Koopmans para conocer los efectos macroeconómicos de CG concluyendo que reduce el ahorro y disminuye la acumulación de capital. Dumas y Ha-Duong (2008) suponen el crecimiento con una estrategia de adaptabilidad al CG consistente en protección del capital. Señalan que su implementación temprana tendría efectos despreciables en el consumo anual, con pérdidas desde 0,044% por año en el peor escenario, hasta 0,00005% por año en el escenario más favorable. Hübler *et al.* (2007) desarrollan un modelo determinístico, calibrado para Alemania, encontrando que la productividad del trabajo cae, generando pérdidas entre 0,1% y 0,5% del PIB por año. Sin embargo, no todos los resultados son categóricos. Tol (2002) calcula la pérdida de producto ocasionado por el aumento de la temperatura climática promedio de +1°C resultando en +2, -3 y 0%, dependiendo del método de agregación. Un estudio comprehensivo, denominado *Stern Review* (Stern, 2006) pretende ser la base de un análisis estándar de CG, aunque para los propósitos de este trabajo aun es generalizado y no aborda la problemática con la profundidad requerida.

Respecto a la materia de interés de este trabajo, existe solo un estudio que explícitamente aborda el problema de CG en las pesqueras con elementos de *fisheries economics*. En Arnason (2007) se supone un proceso browniano para la temperatura que impacta directamente a la firma, considerada como insumo en la función de producción. En este trabajo, por otro lado, se supone un paso intermedio adicional, considerando primero el efecto de la temperatura en la biomasa y posteriormente el efecto de esa biomasa transformada en el valor de la firma. Además se consideran únicamente aumentos de temperatura.

La estimación empírica del modelo de Arnason se realiza con el método de descomposición de Solow. En resumen, se atribuye a la temperatura cualquier cambio que no es atribuible a otros factores productivos. Probablemente se encuentre reflejado allí un cambio del nivel tecnológico, variaciones temporales de la eficiencia de los pescadores, o cualquier otro elemento que modifique la productividad de los factores empleados. El modelo se calibra para Groenlandia e Islandia, y los resultados son de una

⁷ Ya que el derretimiento de hielo en agua no produce cambios en el nivel del mar.

magnitud similar a los encontrados aquí, pese a no ser directamente comparables debido a que las estimaciones presentadas en este trabajo se construyen en base a datos de diversas zonas geográficas.

Otras diferencias importantes de este trabajo con el de Arnason provienen de una modelación mas detallada del mecanismo de traspaso de la mayor temperatura al valor de la firma, y de la separación de los efectos que tiene la temperatura en la biomasa (oscilación y reducción). Con todo, constituye el mejor *benchmark* en términos de exposición del estado actual de la literatura.

2.5 Revisión de la Literatura sobre efectos de Calentamiento Global en la Biomasa

En esta subsección se revisa la literatura relativa al Supuesto 2: *El calentamiento global afecta la biomasa*. No se pretende ser exhaustivo en ella, sino orientar y depurar la interpretación del supuesto. En Hannesson (2004) se desarrolla un modelo bajo un supuesto similar para conocer el efecto de migración de especies de un país a otro por calentamiento acuático, encontrando que es posible llegar rápidamente a un nivel de extracción tal que sea económicamente inviable. La relevancia de ese argumento está en línea con la motivación de este trabajo al encontrar que la velocidad de emigración de las especies es mayor a la velocidad de retiro de capital de las firmas, generando una situación de riesgo para la industria.

Por otra parte, se debe considerar es que la biomasa siempre está cambiando por causas naturales. No obstante, Pauly *et al.* (1998) muestran que a nivel de los trópicos, las mayores fluctuaciones de la biomasa se deben a causas antropogénicas, es decir, a la actividad humana. Christensen *et al.* (2002) estiman que desde 1960 la biomasa de especies pelágicas⁸ de las costas africanas ha declinado en un factor de 13 veces, debido a múltiples causas que incluyen la temperatura.

Se recalca que en el presente trabajo se remitirán los movimientos de biomasa exclusivamente a los causados por el aumento de temperatura, revisando la literatura idónea. Por ejemplo, la transmisión del ENSO hacia el Océano Pacífico Sur se analiza en Suárez *et al.* (2004), centrando su estudio en la biomasa de una especie de importancia comercial, el atún. Un resultado relevante es que la reducción de la biomasa del atún está en relación 3 a 1 respecto a su recuperación, es decir, la biomasa perdida en un período es recuperable en los siguientes tres. Hernández *et al.* (2004) estudian el Pacífico Norte, asociando el ENSO con la reducción de 200 millones de toneladas de peces pelágicos.

Otra forma de comprobar el efecto de la temperatura en la biomasa, es estudiando el comportamiento de los depredadores de una zona geográfica (Thompson y Ollason, 2001). Este enfoque es adoptado por Trathan *et al.* (2003) con el krill, principal alimento de los depredadores del Mar Antártico, demostrando la estrecha relación entre temperatura y abundancia del krill antártico. Lo anterior es congruente con la investigación de Trathan *et al.* (2006), donde se documenta que la variabilidad del *stock* de esa especie, provocada por ENSO, afectó a otras especies dependientes de él, reduciendo la biomasa por emigración. Brierly *et al.* (1999) documentan que el aumento en la variabilidad inter-anual e intra-anual del krill afectó la biomasa de sectores cercanos a Georgia del Sur, en el Mar Antártico (Ver Anexo 3). Murphy *et al.* (2007) estiman que el aumento de +1,0°C en el Mar del Scotia (Océano Antártico) durante 100 años, reduciría la biomasa y abundancia del krill en un 95%.

En Lipp *et al.* (2001) se documenta que, al menos en las zonas cercanas a la costa de Tampa Bay, EEUU, la mayor temperatura posibilitó la incubación de enfermedades, afectando negativamente la biomasa (fenómeno conocido como *acidificación*).

⁸ Las especies pelágicas son los peces que viven en mar abierto (o lagos muy grandes), en las capas superficiales o entre aguas, evitando o limitando al máximo su contacto con la costa y el fondo.

En las zonas polares del hemisferio norte existen investigaciones sobre otro fenómeno del CG que afecta la biomasa: los deshielos. Estos influyen en la densidad del agua, actuando sobre la circulación termohalina⁹. Link y Tol (2005) muestran que un cambio en esa circulación provoca una importante reducción del *stock* de bacalao y capulín¹⁰ en el Mar de Barents, al norte de la Península Escandinava.

Stein (2007) muestra que en las costas de Groenlandia, la temperatura marina ha aumentado en +2,0°C perjudicando el *stock* de bacalao y abadejo, especies de alto valor comercial.

La literatura de *fisheries economics* incluye también estudios sobre las consecuencias naturales de factores antropogénicos. Por ejemplo, en Levy *et al.* (2006) se desarrolla un modelo que incorpora la posibilidad de desastres por límites de captura demasiado altos, mayor eficiencia de los pescadores y subsidios gubernamentales. La contaminación industrial también es otro factor. Otros trabajos que abordan asuntos puntuales en la biomasa son los citados en la subsección 2.2.

Otros estudios de *fisheries economics*, como el caso de Christensen *et al.* (2002), incluyen la temperatura como parte de la modelación, sin embargo, su utilización es como *proxy* de salinidad del agua, indicador de la calidad de biomasa.

Con esta revisión se pretende guiar la interpretación y el ámbito de los supuestos, como así también introducir la literatura de *fisheries economics*. De la lectura se desprende que la mayor temperatura (i) hace la biomasa oscilante, y (ii) la reduce. En este trabajo se modelan y cuantifican los impactos económicos en la firma pesquera de ambas alteraciones. Para el primer efecto se modifica el modelo de Pindyck (1984) para aislar de mejor manera los *shocks* de biomasa. El segundo efecto puede medirse contrastando situaciones de mayor temperatura en cada momento del tiempo, para lo cual se adecua el modelo de Smith (1968).

3 Modelo de Biomasa Estocástica: *Shocks* de Calentamiento Global

En esta sección se modela una firma pesquera cuya principal característica es que explota los recursos de una biomasa estocástica. La modelación se realiza de tal manera que el aumento de temperatura, un factor exógeno, sea el motor de la oscilación de la biomasa. El modelo está inspirado en el trabajo de Pindyck (1984), y básicamente difiere en el sentido que la temperatura es relevante en el valor de la firma pesquera. El planteamiento desarrollado también difiere de Arnason (2007) a pesar de entenderse como complementario. En el trabajo de Arnason se supone un movimiento browniano de temperatura del tipo

$$dT_t = \mu_t dt + \sigma_t dz \quad (3.1)$$

y posteriormente incluye la variable T , de temperatura, como insumo de la firma pesquera, para realizar una descomposición *à la* Solow. De esta forma se conoce la incidencia del cambio de temperatura en el valor de la firma. Como se expresa arriba, este trabajo difiere al analizar el efecto de biomasa estocástica sobre el valor de la pesquera, y no de la temperatura estocástica, ya que ésta se supone siempre aumentando ($dT/dt > 0$).

⁹ Se llama *circulación termohalina* a la circulación convectiva (es decir, por transmisión de calor mediante un fluido) que afecta de modo global al conjunto de las masas de agua oceánicas. En conjunto, la circulación global puede describirse como un flujo relativamente superficial de agua que se calienta en el Pacífico y el Índico hasta el Atlántico, en cuyas latitudes tropicales sigue recibiendo calor, para finalmente hundirse en el Atlántico Norte, retornando en niveles más profundos.

¹⁰ Especies de considerable valor comercial en la zona.

3.1 Supuestos

Se supone que la pesquera se desenvuelve en un mercado competitivo de su bien final, no influenciando el nivel de precios de la industria. Se entiende por industria pesquera al conjunto de firmas que producen bienes utilizando como insumo recursos marinos, o transformando algunos de ellos en productos. Se suponen alzas de temperatura que afectan a la biomasa, basándose exclusivamente en los supuestos analizados previamente. Los recursos son extraídos directamente del mar, tratando a las especies como bienes *públicos* y no como bienes *comunes*¹¹ (como realmente son). Esto es equivalente al hecho que la función de costos de la firma sea $c(x,j)=c(x)$, con $j \in Y = \{1, \dots, J\}$, donde Y es el conjunto de firmas, actuales e incumbentes, que participan en la industria.

La variable T , de temperatura, es la primera diferencia con respecto al trabajo de Pindyck (1984), y como se señaló arriba, sólo en el trabajo de Arnason se incluye en la modelación. En otros modelos¹² también se incluye la temperatura como variable explicativa, sin embargo, como *proxy* de la salinidad del agua, ya que ésta determina la capacidad máxima de la biomasa. En ese contexto, movimientos de temperatura no necesariamente conllevan a oscilaciones de biomasa.

En este trabajo, la variable T es el motor de variabilidad de biomasa. Se mide en las unidades tradicionales ($^{\circ}C$, $^{\circ}F$ o $^{\circ}K$), pudiendo definirse como una función continua y creciente de la temperatura efectiva (TE), i.e. $T=v(TE)$, con $v_{TE}>0$. Una especificación alternativa, que resulta útil para la calibración y estimación del modelo, consiste en definir la variable en términos de categorías o grupos, de acuerdo a escenarios de calentamiento global como los especificados en IPCC (2001). Únicamente por motivos de simplicidad se supone $T: TE \rightarrow R^+$.

La tasa de interés social es δ , y refleja el costo alternativo de cualquier inversión realizada en la economía. Se supone que el capital es homogéneo, lo que es consistente con el supuesto de ausencia de barreras de entrada y salida de competencia perfecta. A pesar de la inexistencia de estas barreras, existe información incompleta respecto al momento en el cual se produce el *shock*. En otras palabras, la firma no conoce cuando ocurrirá un *shock* negativo, aunque sí puede conocer la varianza de la biomasa. Esta incompletitud en la información posiblemente deriva en pérdidas en el corto plazo. Sin embargo, la reacción de la firma no perpetúa resultados negativos, ya que diseña una estrategia de acomodación, lo cual es consistente con lo propuesto por Dumas y Ha-Duong (2008). Lo anterior además es coherente con lo señalado en Clark *et al.* (1979) respecto a la inversión de capital con ajuste costoso, argumentando que en el corto plazo la firma enfrentará una situación de *stress* financiero, pero en el largo plazo puede retomar su posición competitiva.

Se consideran dos elementos en la respuesta al CG: el gasto por período destinado a la mitigación del problema, y la forma directa de impacto económico por variabilidad de la biomasa. Esta reacción puede interpretarse como una adaptación costosa a una nueva tecnología, ya que se supone la flota diseñada para la extracción en una biomasa con una oscilación dada, y que al aumentar requiere de un mayor esfuerzo para compensar la menor producción. La adaptación puede apurarse por dos vías: forzar la flota a enfrentar un mayor número de eventos desfavorables hasta completar un aprendizaje, y destinar un mayor gasto en la adaptación al problema. Ambas soluciones son costosas.

3.2 Modelo

El modelo puede dividirse en dos partes: biológica (biomasa) y económica (firma).

¹¹ Ver pie de página 4.

¹² Como Christensen *et al.* (2002).

3.2.1 Biomasa

Siguiendo a Pindyck (1984) y Levy *et al.* (2006) la biomasa estocástica responde a movimientos inesperados en los componentes de la ecuación 2.1, y en su versión sintetizada de (3.2). En la modelación se supone que la variabilidad es función de la temperatura, $\sigma=\sigma(T)$, lo que respecto a la formulación tradicional $\sigma=\sigma(x)$ tiene dos precauciones. La primera es que $\sigma(T)$ puede conocerse mediante la especificación de una ecuación de traspaso de la temperatura sobre el metabolismo de los peces, y en segundo lugar, T es una variable de naturaleza incontrolable. Aun bajo estas consideraciones, biológicamente es complejo establecer la forma funcional exacta de las funciones mencionadas, por lo que la biomasa toma la forma descrita por la ecuación 3.2

$$dx = \{b(x) - h_t\}dt + \sigma(T)xdz \quad (3.2)$$

conservando la notación de las secciones anteriores.

3.2.2 Firma

Los impactos de la temperatura sobre la biomasa se traducen en un menor desembarque por parte de la firma, debido a que su tecnología no considera la extracción mas dificultosa que supone una mayor variabilidad de la biomasa. En ese contexto, se puede definir i como el gasto incurrido por la firma para cumplir con su plan extractivo que permite sustentar su posición competitiva, es decir, i se define como el gasto realizado por la firma exclusivamente por mayor volatilidad del *stock*. Por simplicidad se supone que el traspaso es directo, de la forma¹³,

$$dT = idt \quad (3.3)$$

Por otro lado, la reacción de la pesquera frente al CG se realiza en el contexto de maximización del beneficio y el consecuente aprendizaje de enfrentar la biomasa con una mayor oscilación. De esta forma se define

$$G(i) = \frac{\sqrt{i}}{g} \quad (3.4)$$

como la función de gasto total de la firma por concepto de CG. De manera genérica se requiere que $G_i > 0$ y $G_{ii} < 0$. Pueden existir otras formas de introducir la respuesta de la firma, sin embargo, debido a la profundidad del efecto en el mar no se consideran opciones de completo aislamiento. En concreto, no se estudia la posibilidad de controlar completamente la biomasa¹⁴.

De la ecuación 3.4 es posible constatar el hecho que existe aprendizaje ($G(i)$ cae) en la medida que se observan mayores valores de i , debido a la concavidad de $G(i)$ en i , y también, directamente, por aumentos de g . Notar que si $g=0$ entonces $G(i)=\infty^+$ y la firma abandona el mercado.

La función de beneficios corresponde a,

$$\pi(x, h, i) = \int_0^h \{p(h) - c(x)\}dh - G(i) \quad (3.5)$$

donde $p(h)$ es la función de demanda. La función $c(x)$ representa el costo marginal unitario y es decreciente en x . Notar que

¹³ Esta forma sigue el trabajo de Jin y Herrera (2005).

¹⁴ Esto es equivalente, por ejemplo, a señalar que el modelo no está desarrollado para la acuicultura, donde es posible tomar mayor control de factores ambientales.

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \frac{\partial G(i)}{\partial i} = \lim_{g \rightarrow \infty} \frac{dG(i)}{dg} = 0 \quad (3.6)$$

Es decir, tanto los aumentos de i como de g significan una estrategia proactiva de adaptación, donde es esperable registrar pérdidas a corto plazo con el fin de adquirir un *know how* sobre reducción de riesgo de biomasa. Lo anterior permite, además, la posibilidad de adquirir y/o mantener una posición competitiva importante al menos en el corto plazo.

Con la introducción de esta función de reacción, se incorpora el CG sobre el beneficio, y se aísla del desembarque¹⁵. En efecto,

$$h(E, x) = qE^\alpha x^\beta \quad (3.7)$$

Por simplicidad se supone $E, \alpha, \beta=1$ y $q=0,10$.

3.2.3 Equilibrio y Dinámica del Modelo

El desarrollo de esta subsección sigue de cerca la derivación de Jin y Herrera (2005), quienes presentan el problema de extracción de una biomasa estocástica que reduce su variabilidad gracias a la investigación. El problema de maximización de horizonte infinito se traduce en un problema de un período infinitas veces. Como la formulación es similar cada vez, basta optimizar un período para encontrar la solución para el horizonte infinito. Lo anterior es la *ecuación de Bellman*, que en el caso de la firma corresponde a la maximización de la ecuación 3.8 sujeta a la ecuación 3.2.

$$\delta V(x, T) = \max_{\{h, i\}} \left\{ \pi(x, h, i) + \frac{d}{dt} E_t V(x, T) \right\} \quad (3.8)$$

Esta expresión es equivalente a la ecuación 9, p. 293, del trabajo de Pindyck, con la salvedad que allí se presenta el caso univariado. El primer término del lado derecho corresponde al beneficio actual, mientras que el segundo representa la expectativa de valorización. Las variables de decisión son h e i , y las variables de estado son x y T . Para encontrar la solución se derivan las condiciones de primer orden (CPO), notando que el segundo término del lado derecho es un *proceso de difusión*, por lo que su diferencial estocástica se encuentra utilizando el Lema de Itô,

$$dV = \frac{dV}{dt} + V_x dx + V_T dT + \frac{1}{2} \{V_{xx} (dx)^2 + V_{TT} (dT)^2\} + V_{xT} \quad (3.9)$$

Dado que el problema es independiente del tiempo, $dV/dt=0$. Reemplazando las ecuaciones de dx y de dT ¹⁶, y aplicando la derivación con el Lema de Itô

$$dV = [V_x \{b(x) - h\} + iV_T] dt + \frac{1}{2} V_{xx} \sigma^2 x^2 dt + \sigma V_x x dz \quad (3.10)$$

Considerando que $E_t dz = 0$, ya que z_t es un proceso Wiener con media igual a cero, y reemplazando las ecuaciones 3.5 y 3.10 en la ecuación 3.8 se obtiene

$$\delta V(x, T) = \max_{\{h, i\}} \left[\int_0^h \{p(h) - c(x)\} dh - G(i) + V_x \{b(x) - h\} + iV_T + \frac{1}{2} V_{xx} \sigma^2 x^2 \right] \quad (3.11)$$

Las CPO son,

¹⁵ Sin embargo, la decisión es afectada de manera tangencial por la temperatura, ya que los movimientos de x se deben exclusivamente a ella.

¹⁶ Obtenido de la ecuación 3.3.

$$\delta \frac{\partial V(x, T)}{\partial h} = \{p(h) - c(x)\} - V_x = 0 \Rightarrow \{p(h) - c(x)\} = V_x \quad (3.12)$$

$$\delta \frac{\partial V(x, T)}{\partial i} = -G_i(i) + V_T = 0 \Rightarrow G_i(i) = V_T \quad (3.13)$$

Ambas CPO representan resultados parciales de los efectos económicos del CG. Más adelante se derivan los efectos directos del CG sobre la industria en términos de bienestar social.

La primera CPO representa la condición estándar de optimalidad para h . El valor de la extracción marginal, es igual al precio sombra de una unidad adicional extraída. La segunda CPO representa el traspaso de la firma frente al *shock*, y puede ser distinta para cada firma. Se interpreta como el gasto marginal incurrido por la firma equivalente al cambio en el valor de firma experimentado por un alza de temperatura. En síntesis, esta CPO permite encontrar la forma óptima de respuesta de la firma frente a los *shocks* de temperatura.

El valor de V_T será menor en la medida que G_i caiga. Esto ocurre con aumentos de i y/o de g , es decir, cuando el impacto se percibe como alto, y aumenta el gasto destinado a mitigar el CG. La firma se aísla completamente de la temperatura cuando $g \rightarrow \infty$ y/o $i \rightarrow \infty$.

Para conocer los efectos en la industria, se reemplazan los valores óptimos de h^* e i^* en la ecuación 3.8 y se obtiene la primera derivada respecto a x . En efecto,

$$\delta V_x = \{p(h^*) - c(x) - V_x\} \frac{dh^*}{dx} - c_x h^* + b_x V_x + \sigma^2(T) x V_{xx} + \{b(x) - h^*\} V_{xx} + i V_{Tx} + \frac{1}{2} \sigma^2(T) x^2 V_{xxx} \quad (3.14)$$

Derivando el resultado de dV con respecto a x (ecuación 3.10) se obtiene una expresión que contiene los últimos tres términos del lado derecho de la ecuación 3.14,

$$\frac{d}{dt} E_t V_x = \{b(x) - h^*\} V_{xx} + i V_{Tx} + \frac{1}{2} \sigma^2(T) x^2 V_{xxx} \quad (3.15)$$

y de la CPO 3.12 se infiere que esta expresión es equivalente a

$$\frac{d}{dt} E_t V_x = \frac{d}{dt} \{p(h^*) - c(x)\} \quad (3.16)$$

Por lo tanto, sustituyendo este resultado en la ecuación 3.14, y considerando que el primer término es cero (por la CPO 3.12),

$$\delta V_x = -c_x h^* + b_x V_x + \sigma^2(T) x V_{xx} + \frac{d}{dt} \{p(h^*) - c(x)\} \quad (3.17)$$

Reuniendo términos semejantes, simplificando y despejando se obtiene una versión modificada de la *ecuación fundamental de explotación de recursos naturales*, similar a la ecuación 18, p. 294, del trabajo de Pindyck

$$\delta + \sigma^2(T) x ARA(x, x) = b_x + \left[\frac{d\{p(h^*) - c(x)\}/dt}{p(h^*) - c(x)} - \frac{c_x h^*}{p(h^*) - c(x)} \right] \quad (3.18)$$

donde $ARA(x,x)=-V_{xx}/V_x$ es el coeficiente de Aversión al Riesgo Absoluto (Pratt, 1964). Por lo tanto, el lado izquierdo de la ecuación señala que el costo de oportunidad aumenta en presencia de oscilaciones de la biomasa. El lado derecho señala que el beneficio de una unidad de pesca *in-situ* se descompone en el beneficio otorgado por mayor disponibilidad de la biomasa (b_x), sumado al cambio económico dividido en (i) ganancia por mayor margen, y (ii.) reducción del costo marginal.

Con esta ecuación se aprecia el efecto económico en la industria pesquera de la *oscilación de la biomasa*. El costo de oportunidad aumenta porque $\sigma(T) \neq 0$, $\sigma_T > 0$, $x > 0$ y $ARA(x,x) > 0$. Este resultado es una representación algebraica del efecto nocivo del CG sobre la industria. Bajo el escenario con completo dominio del recurso, se retorna al planteamiento tradicional de explotación de recursos naturales.

La misma metodología se aplica para conocer el incremento del costo de oportunidad provocado por el aumento de temperatura. Derivando la ecuación 3.14 con respecto a T se obtiene,

$$\delta V_T = \{p(h^*) - c(x) - V_x\} \frac{dh^*}{dT} + \sigma_T \sigma(T) x^2 V_{xx} + \{b(x) - h^*\} V_{xT} + i V_{TT} + \frac{1}{2} \sigma^2(T) x^2 V_{xxT} \quad (3.19)$$

Por otra parte, la derivada de dV (ecuación 3.10) con respecto a T es igual a,

$$\frac{d}{dt} E_t V_T = \{b(x) - h^*\} V_{xT} + i V_{TT} + \frac{1}{2} \sigma^2(T) x^2 V_{xxT} \quad (3.20)$$

Reemplazando en la ecuación 3.19, despejando, dividiendo por V_T y considerando que el primer término es cero (por la CPO 3.12), se encuentra

$$\delta + \sigma_T \sigma(T) x^2 ARA(x,T) = \frac{\frac{d}{dt} E_t V_T}{V_T} \quad (3.21)$$

donde $ARA(x,T)=-V_{xx}/V_T$, es un indicador del Coeficiente de Aversión al Riesgo Absoluto. Se observa al lado izquierdo un aumento del costo de oportunidad de la firma debido a la variabilidad de la biomasa, y al hecho que $\sigma(T) > 0$, $\sigma_T > 0$ y $ARA(x,T) > 0$. El mayor costo de oportunidad, en el óptimo, es igual al cambio esperado en el valor de la firma por aumentos de temperatura (en unidades porcentuales).

Este resultado señala el coeficiente de traspaso de la mayor temperatura al costo de oportunidad de la pesquera. De la CPO 3.13 se infiere que

$$\frac{\frac{d}{dt} E_t V_T}{V_T} = \frac{\frac{d}{dt} G_i}{G_i} \quad (3.22)$$

Es decir, una vez alcanzada la situación de completo aprendizaje y/o adaptación, el gasto destinado para ello detenta un costo igual al de cualquier otra inversión realizada en la economía. La ecuación 3.22, por tanto, resume el desatractivo económico provocado por la oscilación de la biomasa.

4 Modelo de Biomasa Determinística: Efecto Directo de Calentamiento Global

En esta sección se utiliza una perspectiva distinta a la anterior para investigar el otro efecto del CG considerado en este trabajo. Se debe recordar que ambos efectos son complementarios y ocurren

simultáneamente. Sin embargo, más adelante se revisan las dificultades teóricas de unir ambos modelos en uno.

En este modelo se propone una modificación de la *ecuación fundamental de explotación de recursos naturales* debido a la introducción de T . De los modelos dinámicos se infiere el *harvesting path* que maximiza el valor de la firma. En esta sección se modela el mecanismo por el cual la temperatura perjudica el valor por medio de la embestida del CG al *harvesting path*. Esta intromisión se asimila a la reducción de la biomasa y al consecuente aumento del costo de inversión por mayor riesgo.

Al suponer la biomasa y la función de beneficios dependiente de T , entonces la tasa de descuento incluye un elemento de riesgo al ser influenciada por una circunstancia exógena, como se describe en la ecuación 4.1

$$b_x(x, T) + \frac{\partial \pi(T, \dots) / \partial x^*}{\partial \pi(T, \dots) / \partial h} \Bigg|_{h=b(x^*, T)} = \delta(T) \quad (4.1)$$

con $\delta_T > 0$. El uso de estática comparativa radica en la simpleza con la que se visualiza el impacto de menor biomasa sobre la firma. Al estar modelada dependiendo de x y de T , entonces los movimientos de largo plazo (cuando $x^* = 0$) se deben exclusivamente a aumentos en T , a través de una función de mortalidad y/o migración de las especies.

A diferencia del modelo anterior, todas las ecuaciones son determinísticas. Por simplicidad, el trabajo se enmarca principalmente en lo propuesto por Smith (1968). Sin embargo, no sólo se avanza por la vía de incorporar CG, sino también se diferencia al calibrar el modelo específicamente para firmas pesqueras.

4.1 Supuestos

El modelo se desarrolla para una pesquera desenvuelta dentro de un ambiente competitivo. La tasa de descuento social es $\delta(T)$ con $\delta_T > 0$, y puede ser asimétrica dependiendo del signo de $\pi(\dots)$. En efecto,

$$\delta(T) = \begin{cases} \delta_1(T) & \text{si } \pi \geq 0 \\ \delta_2(T) & \text{si } \pi < 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

Esta tasa se supone exógena a la firma pero endógena a la industria. Los ajustes de inversión se suponen instantáneos, tanto para aumentos como disminuciones de capital.

4.2 Modelo

Se divide en dos partes: biológica (biomasa) y económica (firma).

4.2.1 Biomasa

Como se señala en el trabajo de Smith, la biomasa es la ‘restricción tecnológica’ del recurso natural: no puede sobrevivir una población mayor que la permitida por la capacidad de la biomasa. Por lo tanto, dentro de ese ambiente, la introducción de la variable climática se realiza de manera similar a la metodología de Levy *et al.* (2006) para el efecto de enfermedades, en el sentido que se agrega una perturbación que modifica los parámetros profundos de reclutamiento, crecimiento y mortalidad. En efecto, si $M(T)$ es una función de mortalidad y/o migración causada exclusivamente por mayor temperatura, entonces la biomasa corresponde a

$$\dot{x} = b(x)M(T) \quad (4.3)$$

donde $b_x > 0$ si $x \in \{x_m, x_e\}$, $b_x < 0$ si $x \in \{x_o, x_M\}$ y $M_T < 0$ ¹⁷. Todas las variables son dependientes del tiempo y cada una se representa por una ecuación diferencial.

Se comparten los supuestos anteriores sobre la medición de T , a pesar de que en este modelo cobra especial sentido definir el efecto de T por categorías, y así analizar la estática comparativa de pasar de una categoría a otra. Además, esa especificación permite captar no-linealidades del efecto del calentamiento del agua en la población. Bajo ese argumento, $M(T)$ puede representar niveles de mortalidad (*fuerte* \rightarrow *suave*), dependiendo del tramo de temperatura que se está midiendo. Formalmente corresponde a una función $M(T)$ que colapsa la temperatura efectiva en alguna categoría, y ésta define numéricamente el efecto en la población,

$$M(T) : \square_T^+ \rightarrow M(\omega_i) \rightarrow \square_\tau^+ \quad (4.4)$$

Por lo tanto, cada T tiene una correspondencia en el conjunto τ

$$T : \square_T^+ \rightarrow \tau \quad (4.5)$$

El conjunto τ se define como una unión exhaustiva y excluyente de subconjuntos ω_i

$$\tau = \bigcup_{i=1}^{\infty} \omega_i ; \bigcap_{i=1}^{\infty} \omega_i = \emptyset \quad (4.6)$$

$$\omega_i = [T_{i-j}, T_i] ; i, j \in \square^{++} ; i > j \quad (4.7)$$

De esta forma, el intervalo de temperatura ω_i provoca una mortalidad menor en la biomasa que $\omega_{i,j}$, con $i > j$. Existe inambigüedad del efecto causado por la temperatura $T = T_\theta$ sobre la mortalidad, $M(T_\theta) = M_\theta$, no así que la mortalidad M_θ se deba a una única temperatura T_θ .

4.2.2 Firma

Las decisiones de la firma se sintetizan en la dinámica del capital invertido. La razón de ello es que siempre extrae la máxima cantidad permitida por la biomasa sujeta a su restricción de capital, ergo, la decisión de extracción óptima está subordinada a la decisión de inversión.

La inversión es de K (*i.e.* barcos). Existe ajuste inmediato de capital, por lo que, si K corresponde a un barco adquirido, se suponen todos iguales y con un mercado secundario activo. La función de costos de la firma representativa es

$$C(h, x, K, T) = \varphi(h, x, K) + G(h, T, M(T)) \quad (4.8)$$

asemejándose a la ecuación 3.2 del trabajo de Smith, p. 413. El desembarque corresponde a $h \in [x_m, x_M]$, y x permanece como la *fishable biomass*.

La función $G(h, T, M(T))$ representa la respuesta de la firma frente a los aumentos de temperatura, bajo un argumento semejante a la sección anterior. Se supone que $G_h > 0$, $G_T > 0$ y $G_{M(T)} < 0$. Por otro lado, y siguiendo a Smith, la función φ se caracteriza por $\varphi_h > 0$, $\varphi_x \leq 0$ y $\varphi_K \geq 0$.

El término $\varphi_x < 0$, denominado *stock externality*, implica que mejoras en la calidad de la biomasa se interpretan como un desembarque menos costoso. El término $\varphi_K > 0$, denominado *crowding externality*, se

¹⁷ El hecho que $M_T < 0$ indica que la mortalidad es alta en los niveles bajos de temperatura, para luego decaer mientras aumenta la temperatura. La razón de ello es que al aumentar la temperatura crece la mortalidad de las especies de menor adaptabilidad, para después estabilizarse en las especies de mayor resistencia a cambios ambientales. Siguiendo esa línea, en Lorenzen (2000) se argumenta que la mortalidad depende de la relación tamaño-forma de las especies.

manifiesta cuando la cantidad de barcos se incrementa por sobre el óptimo, generando congestión en la extracción de recursos. Bajo esa condición, los peces dejan de poseer la característica de bienes *públicos* para ser bienes *rivales*. En consecuencia, es el mecanismo de ajuste de capital: utilidades sobrenormales incentivan la entrada de nuevos competidores¹⁸, generando *crowding externalities* que incrementan el costo de extracción hasta que las utilidades retoman su nivel normal. Aplicando la misma lógica para las *stock externalities*, se configura el ambiente competitivo de la industria.

Cada barco permite un nivel de extracción máxima de b , y la extracción total de la firma es Kb . Con esta intervención la biomasa toma la forma

$$\dot{x} = b(x)M(T) - Kh \quad (4.9)$$

El ingreso total de la firma depende del nivel de extracción y del nivel de capital invertido $\varrho(Kb)$, por lo tanto, el beneficio es

$$\pi(h, x, K, T) = \frac{\rho(Kb)}{K} - C(h, x, K, T) \quad (4.10)$$

donde $\varrho(Kb)/K$ es el ingreso obtenido por la extracción de b . El nivel de precios de la industria, por tanto, es de $\varrho(Kb)/Kb$. En un entorno de competencia perfecta se cumple

$$\frac{\rho(Kb)}{Kh} = \varphi_h + G_h \quad (4.11)$$

equivalente a la ecuación 4.2. de Smith, p. 414. Las incumbentes entran al mercado cuando observan $\pi > 0$, mientras que las existentes lo abandonan cuando $\pi < 0$. Esta decisión se alinea con el capital invertido, por lo tanto, la ecuación dinámica corresponde a

$$\dot{K} = \delta(T) \left[\frac{\rho(Kb)}{K} - C(h, x, K, T) \right] \quad (4.12)$$

con

$$\frac{\partial \dot{K}}{\partial T} = \delta_T \left[\frac{\rho(Kb)}{K} - C(h, x, K, T) \right] - \delta(T)C_T \quad (4.13)$$

Cuando la ecuación 4.13 es positiva la firma permanece dentro de la industria requiriendo mayor capital para compensar las pérdidas por CG. No obstante, se invierte con una menor tasa de retorno, ya que el costo de oportunidad es mayor ($\delta_T > 0$). Este resultado parcial permite exponer el mecanismo por el cual la mayor temperatura afecta la dinámica de inversión, desvirtuando el atractivo de la industria.

Desde una perspectiva dinámica, para que exista inversión las utilidades deben ser cada vez mayores para compensar el costo $\delta(T)C_T$ (creciente en T), aun obteniendo un menor retorno por esa inversión.

4.2.3 Desarrollo y Equilibrio del Modelo

El modelo se resume en el siguiente sistema de ecuaciones

$$\dot{x} = b(x)M(T) - Kh \quad (4.14)$$

$$p = \varphi_h + G_h \quad (4.15)$$

$$\dot{K} = \delta(T)[ph - C(h, x, K, T)] \quad (4.16)$$

¹⁸ O de nuevos barcos de los competidores existentes.

En todo momento el precio se iguala al costo marginal, por lo que la ecuación 4.15 se resuelve instantáneamente, determinando b exógenamente. Luego, el sistema dinámico a resolver es

$$\dot{x} = F(x, K, T) \quad (4.17)$$

$$\dot{K} = I(x, K, T) \quad (4.18)$$

con condiciones iniciales $x(0)=x_0$ y $K(0)=K_0>0$. En caso que el margen unitario fluctuara por movimientos en el precio, la forma de $I(x,K,T)$ es no-lineal. Por el contrario, si el precio es constante entonces es una línea horizontal en el plano (x,K) .

En la Ilustración 4 se presenta la solución del modelo en el diagrama de fase, es decir, cuando $x^*=K^*=0$. Un punto de equilibrio biológico y económico (x^*,K^*) corresponde a $F(x^*,K^*,T)=0$, que significa *equilibrio entre la masa del recurso y su ambiente*. Por su parte, $I(x^*,K^*,T)=0$ significa *equilibrio entre la firma explotadora de recursos y cualquier inversión realizada en la economía*. En el diagrama de fase se indica la velocidad hacia el equilibrio de cualquier punto del plano a partir de las condiciones iniciales. La superposición de ambas ecuaciones divide el primer cuadrante en cinco regiones. Cada una contiene la dirección de un punto hacia el equilibrio de estado estacionario.

Sin la intervención de la firma el equilibrio es $x=x_M$. Con la introducción de la firma, existen dos equilibrios, P^I y P^{II} , ambos inestables. Como se indica en la Ilustración 4, la firma descansará en el punto P^{II} , correspondiendo al equilibrio alcanzado una vez abandonado x_M .

No obstante, el diagrama de fase muestra el equilibrio de estado estacionario de las dimensiones que lo contienen. Al suponer la temperatura no-estacionaria, su incremento traslada las curvas en la dirección presentada en la Ilustración 5¹⁹. Bajo esta situación, y siguiendo la lógica anterior, el nuevo equilibrio ocurre en el punto P^{III} , con un menor nivel de capital extrayendo una menor cantidad de recursos. El paso de P^{II} hasta P^{III} implica firmas que abandonan la industria, y una biomasa que permite una menor capacidad.

Si las firmas continúan operando con la misma tecnología, el resultado del ejercicio es predecible: el aumento de temperatura traslada el equilibrio a un punto $(0,K_i>0)$, similar a P^{IV} en la Ilustración 6. En este escenario $b^*=0$ debido a que $b<x_m$, coincidiendo con un nivel de capital invertido retornando una tasa $-\infty$ si $\lim_{b \rightarrow 0} C(b,x,K,T)=\infty$, con $K_0>0$. En otras palabras, para un nivel positivo de capital inicial, la firma que no extrae recursos obtiene una tasa de retorno de $-\infty$ por ese capital.

La definición de valor de la firma considerada en este modelo se expresa como²⁰

$$V = [ph - C(h, x, K, T)] - \dot{K}[\delta(T)] \quad (4.19)$$

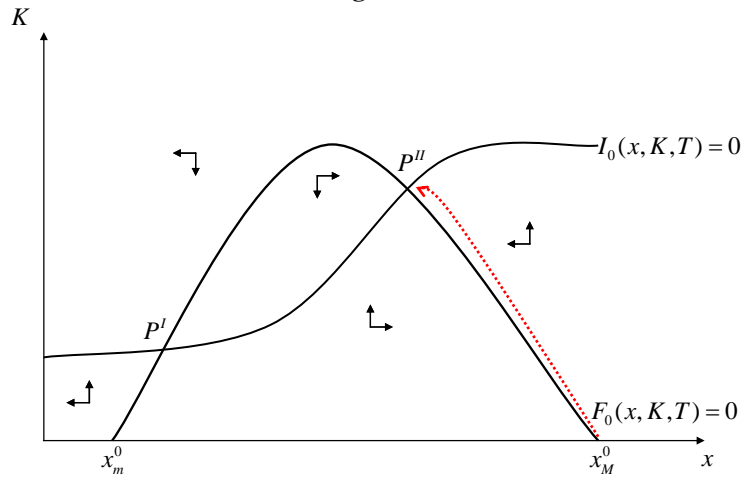
Con esta ecuación se concluye que mientras ph crece monótonamente por incrementos de h (p es constante), la función de costos $C(h,x,K,T)$ aumenta por intermedio de h y T , reduciendo el valor de la firma.

De igual manera se agrega el efecto de mayor inversión a través de K^* , ya que es esperable que ésta crezca hasta un nivel económicamente sustentable, para después decaer por el efecto de “muchos barcos” y “pocos peces”, acompañado de un retorno cada vez menos atractivo para la inversión. Este argumento permite señalar que la no-estacionariedad de la temperatura provoca efectos nocivos sobre la industria incluso al largo plazo.

¹⁹ Es claro que se reduce la capacidad de la biomasa medida como el área bajo la curva de x^* . Sin embargo, no necesariamente modifica x_m y/o x_M .

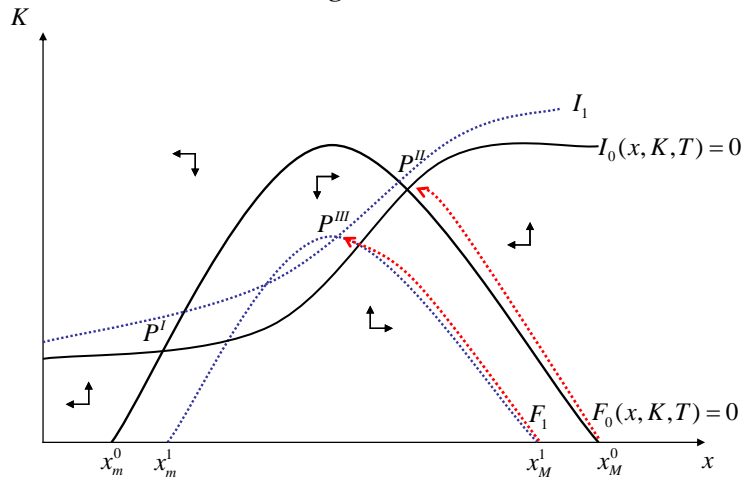
²⁰ Similar a la empleada en Doyle *et al.* (2007).

Ilustración 4: Diagrama de Fase Inicial



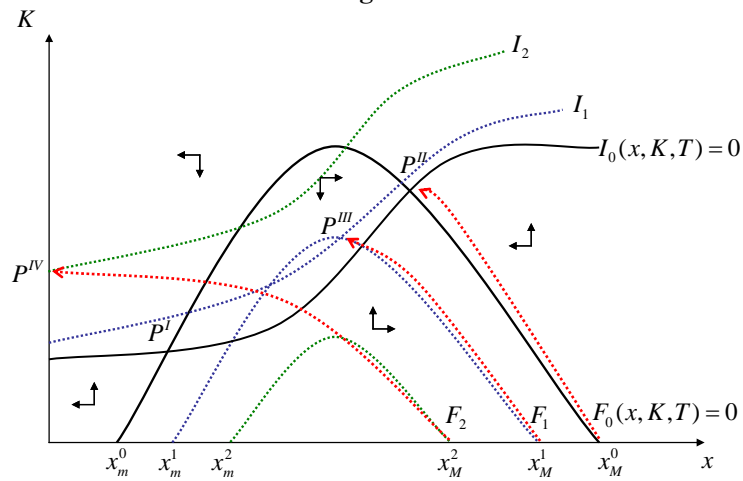
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 5: Diagrama de Fase Intermedio



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 6: Diagrama de Fase Final



Fuente: Elaboración propia.

5 Resultados Numéricos

En esta sección se presentan algunos resultados numéricos de ambos modelos calibrados en base a los estudios analizados en la Sección 2.

5.1 Modelo de Biomasa Estocástica

La forma analítica del modelo imita lo presentado en Charles (2007), Doyle *et al.* (2007), Levy *et al.* (2006), McDonald *et al.* (2002), Munro (1992) y Pindyck (1984). En esos trabajos se especifican de manera similar las ecuaciones 5.2, 5.3, 5.4 y 5.6, reproducidas en la Tabla 1. Los parámetros se recogen de Clark (2007), McDonald *et al.* (2002), De Leo y Gatto (2001) aunque responden a situaciones distintas a las perseguidas en este trabajo. Empero, su utilización se debe a la conveniente descripción de una firma pesquera de tamaño mediano-grande que no afecta el nivel de precios de la industria.

Debido a la dificultad de conocer la forma analítica exacta de una función de varianza de la biomasa, la función $\sigma(T)$ toma distintos valores en la ecuación de biomasa (3.2),

$$dx = \{b(x) - h_t\}dt + \sigma(T)xdz \quad (3.2)$$

Los valores se consideran razonables a la luz de la revisión de los estudios de Murphy *et al.* (2007), Stein (2007), Trathan *et al.* (2007), Hernández *et al.* (2004), Suárez *et al.* (2004) y Christensen *et al.* (2002). En la práctica, se consideran siete situaciones para $\sigma(T)$,

$$\sigma(T) \in \Sigma, \\ \Sigma = \{1\% , 2\% , 3\% , 4\% , 5\% , 10\% , 20\%\}$$

En la Ilustración 20 del Anexo 5 se expone la ecuación 3.2 con los valores de Σ . Se incluyen casos poco probables (10 y 20%) para conocer algo sobre la robustez de los resultados.

La estimación realizada corresponde al valor anual de la firma que extrae recursos de una biomasa con distintas volatilidades. La definición de valor es el resultado de la maximización del beneficio anual sujeto a la disponibilidad dada por la biomasa, es decir, se reporta la estimación de la ecuación 5.1,

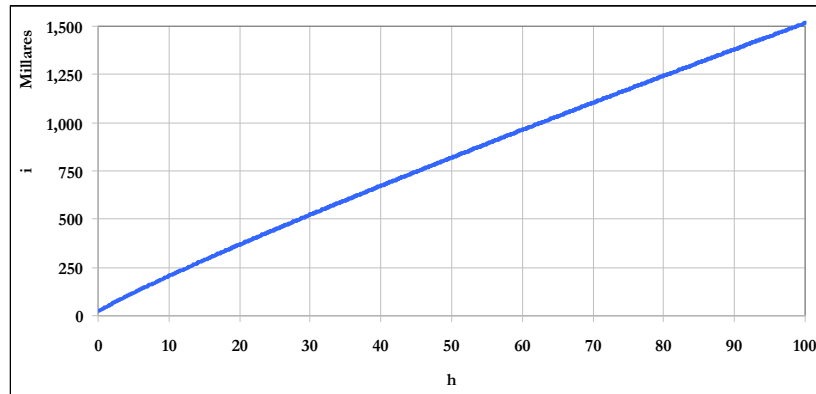
$$\delta V(x, T) = \int_0^{h^*} p(h) - c(x)h_t^* - G_i(i) + V_x \{b(x) - h_t^*\} + i^*V_T + \frac{1}{2}V_{xx}\sigma^2x^2 \quad (5.1)$$

Para normalizar las unidades de cuenta, los resultados se presentan como *benchmark* del caso $\sigma(T)=0$. Se prescinde de otros resultados parciales para focalizar el análisis exclusivamente en el impacto sobre el valor.

5.1.1 Calibración

La calibración de las ecuaciones se presenta en la Tabla 1. Los valores de la ecuación 5.2 están medidos en miles de toneladas métricas y los de las ecuaciones 5.4 y 5.5 en unidades monetarias (*i.e.* millones de dólares). El parámetro a_2 de la ecuación 5.2 se utiliza como un parámetro de ajuste de unidades de medida. Además, se suponen incrementos al gasto de la firma destinado a CG mientras mayor es la variabilidad de la biomasa según se presenta en la Tabla 2. La estimación se realiza suponiendo una extracción de $b \in [0, 100]$ (miles de toneladas), obtenida con 1000 observaciones. La serie de respuesta de la firma se presenta en la Ilustración 7, y se obtiene suponiendo una ecuación de traspaso de la temperatura del tipo $197.894,63T^{0.9}$, con $T \in [0, 10]$ distribuida en 1000 observaciones.

Ilustración 7: Serie de Respuesta de la Firma Simulada



Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Resultados

Los resultados se presentan en la Tabla 3. La fila “Promedio Biomasa” reporta el valor promedio de la firma respecto al *benchmark* para toda la biomasa pescable por la firma, correspondiendo al resultado de la ecuación 5.7,

$$\text{Promedio Biomasa} = \frac{1}{h^{MAX}} \sum_{h=0}^{h^{MAX}} \frac{V_h |_{\sigma(T) \in \Sigma}}{V_h |_{\sigma(T)=0}} \quad (5.7)$$

Se repite el cálculo para todos los elementos de Σ . El valor h^{MAX} corresponde al valor máximo de extracción que realiza la firma, que se supone proporcional a la biomasa total, y V_b es el valor anual de la firma que comercializa b toneladas. Gráficamente, en la Ilustración 8 se muestra el cambio porcentual del valor por unidad de biomasa a medida que la firma extrae una mayor cantidad de recursos. Se observa que, como se espera, el valor cae mientras mayor es la variabilidad de la biomasa, desde -6,4% con $\sigma=1\%$, hasta -44,6% con $\sigma=20\%$.

Tabla 1: Calibración del Modelo de Biomasa Estocástica.

Ecuación	Función	Forma Analítica	Parámetros
(5.2)	Función de Biomasa	$b(x) = a_1x + a_2x(1 - x / a_3)$	$a_1=0,40$ $a_2=0,14$ $a_3=320$
(5.3)	Función de Demanda	$p(h) = b_1 - b_2h$	$b_1=20.000$ $b_2=-0,09$
(5.4)	Función de Costo Marginal	$c(x) = c_1x^{-c_2}$	$c_1=15.000$ $c_2=-0,05$
(5.5)	Función de Gasto por CG	$G(i) = \frac{\sqrt{i}}{g_k}$	$g_k = \{100, 500, 7.000, 10.000\}$
(5.6)	Función de Extracción	$h = qE^\alpha x^\beta$	$q=0,10$ $E, \alpha, \beta=1,00$

Fuente: Elaboración propia en base a Charles (2007), Doyle *et al.* (2007), Levy *et al.* (2006), McDonald *et al.* (2002), Munro (1992) y Pindyck (1984).

Tabla 2: Valores de g_k para distintos Valores de $\sigma(T)$.

Valor de $\sigma(T)$	Valor de g
0, 1, 2, 3%	$g_1=100$
4, 5%	$g_2=500$
10%	$g_3=7.000$
20%	$g_4=10.000$

Fuente: Elaboración propia.

Otra forma distinta de calcular los efectos nocivos sobre la firma, es suponer que ésta decide extraer el recurso de una biomasa con una variabilidad conocida perteneciente a Σ . Por cada unidad marginal a ser extraída se expone a *shocks* de temperatura. El cálculo de esa exposición, puede realizarse a través de la estimación de un ruido en torno a una tendencia, entendiendo la tendencia como el valor esperado de cada extracción. En la Tabla 3, la fila “Tendencia” reporta la estimación de la ecuación 5.8.

$$\frac{V_h |_{\sigma(T) \in \Sigma}}{V_h |_{\sigma(T)=0}} = \mu_h h + \varepsilon_h \quad (5.8)$$

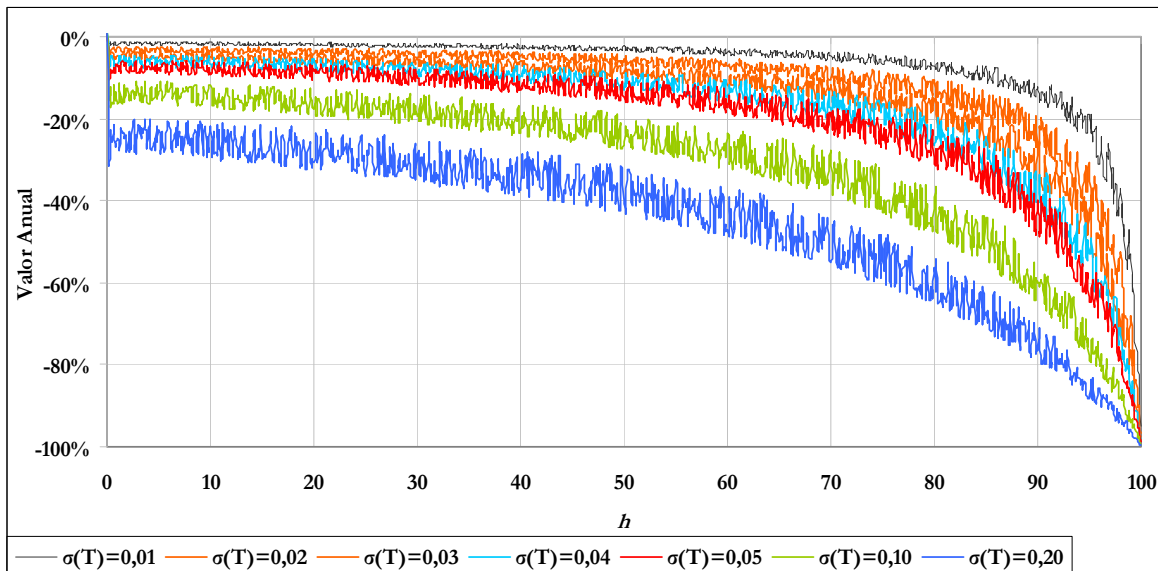
donde μ_h es la tendencia y ε_h un ruido blanco. El coeficiente μ_h indica el porcentaje de cambio del valor de la firma (variable dependiente) a medida que aumenta el desembarque (variable independiente).

Tabla 3: Cambio en Valor de la Firma por Biomasa Estocástica (Base: $\sigma(T)=0\%$).

$\sigma(T)$	1%	2%	3%	4%	5%	10%	20%
Promedio Biomasa	-6.40%	-10.85%	-14.42%	-17.57%	-20.32%	-31.10%	-44.79%
Desviación Estandar	0.10	0.13	0.15	0.17	0.18	0.19	0.20
Tendencia	-0.01%	-0.02%	-0.03%	-0.04%	-0.04%	-0.06%	-0.08%
D.E. de los Residuos	0.09	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
R^2	30.66%	43.17%	51.03%	57.54%	62.66%	76.02%	73.50%

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 8: Cambio en el Valor de la Firma con distintas Volatilidades de Biomasa.



Fuente: Elaboración propia.

Como la varianza del término estocástico es estable en torno a 10%, comparar los valores de μ_b para todos los elementos de Σ permite juzgar con cierta confianza cuál es la disminución del valor a medida que se extraen más recursos. Se observa que el coeficiente de la tendencia es cada vez mayor (en términos absolutos) a medida que crece σ . Cuando $\sigma=1\%$, el valor de la firma se expone a una reducción de un -0,014% por cada unidad marginal extraída, mientras que cuando $\sigma=20\%$, la exposición provoca una reducción esperada de un -0,081% por unidad marginal extraída, confirmando el efecto perjudicial para la pesquera.

5.2 Modelo de Biomasa Determinístico

El modelo se calibra en base a los estudios de McDonald *et al.* (2002), De Leo y Gatto (2001), Bjørndal y Munro (1998), Conrad y Bjørndal (1991), y Smith (1968, 1969). Si bien difieren en determinados procedimientos y enfoques, aun son convenientes para la descripción bioeconómica que persiguen los fines de este trabajo.

Para la anomalía de temperatura se utilizan las proyecciones realizadas por IPCC (2001) reproducidas en la Ilustración 19 del Anexo 4. En este trabajo se presentan los resultados considerando doce puntos de una serie descrita por la ecuación 5.9,

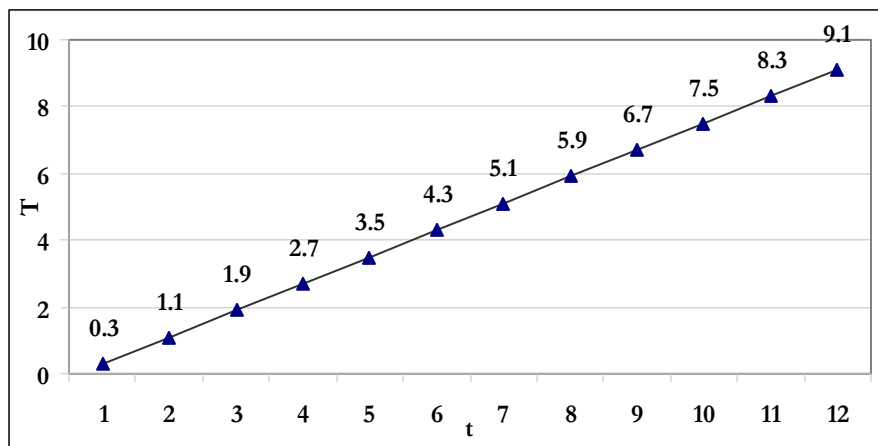
$$T_t = 0,3 + 0,8 \cdot (t - 1) \quad (5.9)$$

con $t \in [1, 12]$. En la Ilustración 21 del Anexo 5 se muestra gráficamente la ecuación de biomasa (4.4)

$$\dot{x} = b(x)M(T) \quad (4.4)$$

para distintos valores de $T \in \Theta$ medidos en grados Celsius, y presentados en la Ilustración 9.

Ilustración 9: Valores de T utilizados en las Estimaciones



Fuente: Elaboración propia.

En este modelo el foco de la estimación es el valor de la firma y la dinámica del capital invertido. La definición de valor aplicada es

$$V = [ph - C(h, x, K, T)] - \dot{K}[\delta(T)] \quad (4.19)$$

Los resultados se presentan en la Tabla 5. Al igual que en el caso anterior, los resultados se computan como *benchmark* del caso en que la anomalía de temperatura aumenta en +0,3°C, con el fin de estandarizar las unidades de medida.

5.2.1 Calibración

La calibración se presenta en la Tabla 4. Los valores de las ecuaciones 5.10 y 5.15 están medidos en miles de toneladas métricas. Los de las ecuaciones 5.11 y 5.12 en términos porcentuales, y las ecuaciones 5.13 y 5.14 en unidades monetarias (*i.e.* millones de dólares). El parámetro k_2 de la ecuación 5.10 se utiliza como un parámetro de ajuste de unidades de medida. La estimación se realiza suponiendo una extracción de $h \in [0, 100]$ (miles de toneladas), obtenida con 1000 observaciones al igual que en el caso anterior.

5.2.2 Resultados

Los resultados para el valor de la firma se presentan en la Tabla 5. En la fila “Promedio Biomasa” se reportan las magnitudes porcentuales del cambio en el valor respecto al *benchmark*, correspondiendo al resultado de la ecuación 5.16,

$$\text{Promedio Biomasa} = \frac{1}{h^{MAX}} \sum_{h=0}^{h^{MAX}} \frac{V_h \Big|_{T \in \Theta}}{V_h \Big|_{T=0,3^\circ C}} \quad (5.16)$$

Se repite el cálculo para todos los elementos de Θ . El valor h^{MAX} corresponde al valor máximo de extracción que realiza la firma, que se supone proporcional a la biomasa total, y V_h es el valor anual de la firma que comercializa h toneladas.

Se comprueba que mientras la temperatura aumenta el valor cae por menor biomasa pescable, desde -8,68% cuando la anomalía es +1,1°C, hasta -9,98% cuando es +9,1°C.

Tabla 4: Calibración del Modelo de Biomasa Determinística

Ecuación	Función	Forma Analítica	Parámetros
(5.10)	Función Parcial de Biomasa	$b(x) = k_1 x + k_2 x (1 - x / k_3)$	$k_1=0,40$ $k_2=0,50$ $k_3=166,33$
(5.11)	Función de Mortalidad y/o Migración	$M(T) = l_1 T^{l_2}$	$l_1=1,00$ $l_2=-0,30$
(5.12)	Tasa de Descuento	$\delta(T) = m_1 T^{m_2}$	$m_1=0,09$ $m_2=-0,20$
(5.13)	Función de Reacción de la Firma por CG	$G(h, T, M(T)) = n_1 h M(T)^{n_2}$	$n_1=1,00$ $n_2=-0,50$
(5.14)	Función Parcial de Costos	$\phi(h, x, K) = r_1 h + r_2 x + r_3 K$	$r_1=2,00$ $r_2=-2,00$ $r_3=0,01$
(5.15)	Función de Extracción	$h = q E^\alpha x^\beta$	$q=0,10$ $E, \alpha, \beta=1,00$

Fuente: Elaboración propia en base a McDonald *et al.* (2002), De Leo y Gatto (2001), Bjørndal y Munro (1998), Conrad y Bjørndal (1991) y Smith (1968, 1969).

Otra forma de investigar la influencia de la temperatura sobre el valor se realiza con la misma metodología empleada en la subsección anterior. Se supone una firma que extrae de una biomasa con una temperatura dada, perteneciente a Θ . Al aumentar marginalmente la extracción a través del tiempo, la firma se expone a la reducción de la biomasa pudiendo afectar el rendimiento económico del desembarque. Esta exposición se cuantifica en términos de un ruido en torno a una tendencia,

entendiendo la tendencia como el valor esperado de cada extracción. Los resultados se presentan en la fila “Tendencia” de la Tabla 5, correspondiendo a la estimación de la ecuación 5.17

$$\frac{V_h|_{T \in \Theta}}{V_h|_{T=0,3^\circ C}} = \mu_h h + \varepsilon_h \quad (5.17)$$

donde μ_h es la tendencia y ε_h un ruido blanco. El coeficiente μ_h indica el porcentaje de cambio del valor de la firma (variable dependiente) a medida que aumenta el desembarque (variable independiente).

En promedio, la tendencia y el componente cíclico son estables para la biomasa mientras aumenta la temperatura. En consecuencia, la anomalía no perturba sustancialmente el perfil de riesgo de la firma, aunque si perjudica su tasa de retorno por menor beneficio anual.

Respecto a la dinámica del capital invertido, su análisis aporta a la comprensión del fenómeno al estar ligado a los movimientos de la tasa de descuento y del beneficio anual, indicando la dirección de los aportes o retiros de capital tanto en la transición como en estado estacionario. Una vez alcanzado el estado estacionario, el capital fluye exclusivamente por aumento de la temperatura. En efecto, la pesquera aumenta (disminuye) su capital en la medida que $\delta(T)$ aumenta (disminuye), y/o los beneficios son positivos (negativos), como se interpreta de la ecuación 4.16. La medición del nivel de capital por tanto, puede entenderse como una medida del atractivo de la industria.

Tabla 5: Cambio en Valor de la Firma por Reducción de Biomasa (Base: $T=0,3^\circ C$).

Temperatura	1.1	1.9	2.7	3.5	4.3
Promedio Biomasa	-8.69%	-9.00%	-9.21%	-9.37%	-9.49%
Desviación Estandard	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Tendencia	-0.14%	-0.15%	-0.15%	-0.15%	-0.16%
D.E. de los Residuos	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
Temperatura	5.9	6.7	7.5	8.3	9.1
Promedio Biomasa	-9.24%	-9.78%	-9.86%	-9.93%	-9.99%
Desviación Estandard	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
Tendencia	-0.15%	-0.16%	-0.16%	-0.16%	-0.16%
D.E. de los Residuos	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Inversión por Unidad de Biomasa.

Temperatura	1.1	1.9	2.7	3.5	4.3
Promedio Biomasa	1.38%	1.68%	1.90%	2.11%	2.27%
Desviación Estandard	5.76	7.02	7.96	8.74	9.42
Tendencia	-0.15%	-0.19%	-0.21%	-0.26%	-0.25%
D.E. de los Residuos	5.76	7.01	7.96	9.27	9.41
Temperatura	5.9	6.7	7.5	8.3	9.1
Promedio Biomasa	-19.50%	-20.51%	-20.56%	-20.60%	-20.63%
Desviación Estandard	30.83	32.59	32.84	33.07	33.28
Tendencia	-1.16%	-1.23%	-1.24%	-1.24%	-1.25%
D.E. de los Residuos	30.82	32.58	32.83	33.06	33.27

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la dinámica del capital se presentan en la Tabla 6. En la fila “Promedio Biomasa” se expone el capital promedio por unidad de biomasa para las distintas anomalías de temperatura, reportando el cálculo de la ecuación 5.18

$$\text{Promedio Inversión} = \frac{1}{h^{MAX}} \sum_{h=0}^{h^{MAX}} \frac{\dot{K}_h \Big|_{T \in \Theta}}{b(x)M(T)_h \Big|_{T \in \Theta}} \quad (5.18)$$

Se observa que el capital crece en la medida que aumenta la anomalía, hasta un valor cercano a +4,3°C. Antes de esa temperatura, la inversión bordea las 0,015 unidades monetarias por unidad de biomasa (*i.e.* millones de dólares por toneladas métricas). Posterior a esa temperatura, el capital cae y se estabiliza en términos negativos para los mayores valores de temperatura. Esta trayectoria se interpreta de manera similar al acomodamiento de la flota a la disponibilidad del recurso. De hecho, la temperatura anterior a los +4,3°C indica que el flujo de inversión debe ser positivo, sugiriendo que económicamente se requiere de mayor capacidad de extracción. Luego, la temperatura reduce la biomasa a niveles en los que su explotación conviene efectuarla con una capacidad menor a la dispuesta. El resultado sugiere un retiro de capital toda vez que se sobrepase la anomalía de +4,3°C, en cuyo caso se estima una reducción de 0,2 unidades monetarias por unidad de biomasa. Bajo esa circunstancia, la firma enfrenta el problema de “muchos barcos” y “pocos peces”.

6 Discusión

En esta sección se investigan los inconvenientes de fusionar ambos modelos en uno para tratar los efectos conjuntos del CG. Al utilizar la ecuación de biomasa 6.1 se señala que el modelo fusionado no permite la coexistencia de ambos efectos. Por ende, tampoco posibilita la estimación de resultados numéricos.

$$dx = \{f(x,T) - h_t\}dt + \sigma(T)xdz \quad (6.1)$$

Para la exposición de los argumentos que examinan esta proposición, primeramente se mencionan algunas equivalencias entre ambos modelos. En efecto, si $f(x,T)=b(x)$ y $dx \neq 0$, entonces se representa el modelo estocástico. Cuando $dx=0$ y $\sigma(T)=0$ se representa el modelo determinístico. La ecuación 6.1, cuando $dx=0$, $f(x,T)=b(x)$ y $\sigma(T) \neq 0$ se grafica en el diagrama de fase de la Ilustración 10²¹. Se observa que la biomasa esperada está contenida en el intervalo de confianza que se desprende del término estocástico $\sigma(T)xdz$ de la ecuación 6.1. En estado estacionario, cuando $dx=0$, el equilibrio es P^H .

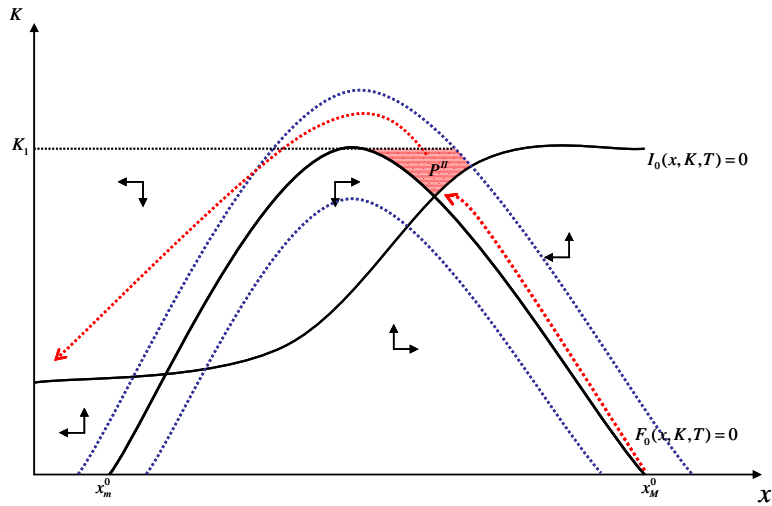
El impedimento en este escenario, procede del hecho que el equilibrio inicial es inestable. En el punto de equilibrio, las funciones de probabilidades que se derivan son degeneradas: con probabilidad igual a uno el sistema se ubicará en $(0, K_t)$, como se presenta en la Ilustración 10. En efecto, alrededor del equilibrio existe una vecindad dividida en cuatro cuadrantes originada por la variabilidad de la biomasa y que no desaparece al largo plazo. Suponiendo $\sigma(T) > 0$, el aumento de temperatura puede mover el equilibrio hacia el cuadrante superior de la vecindad, aunque $\sigma(T)$ sea pequeño. El diagrama de fase indica que situarse sobre esa área, cuando $K > K_t$, aparta el sistema en dirección a $(0, K_t)$, imposibilitando la modelación del efecto con oscilaciones de biomasa en estado estacionario.

Existe además una forma más directa de verificar el argumento señalado. Suponiendo que $\sigma(T) \neq 0$, $dx=0$ y $f(x,T)=b(x)$ se grafica la ecuación 6.1 en la Ilustración 11. El equilibrio inicial es P^H . Al considerar un *shock* de temperatura que reduce la biomasa²², éste puede traer dos consecuencias: mover el sistema a un punto como A o B . En ambas situaciones algunas firmas abandonan el mercado.

²¹ También está graficada la dinámica del capital (ecuación 4.16), permaneciendo idéntica que en la Sección 4.

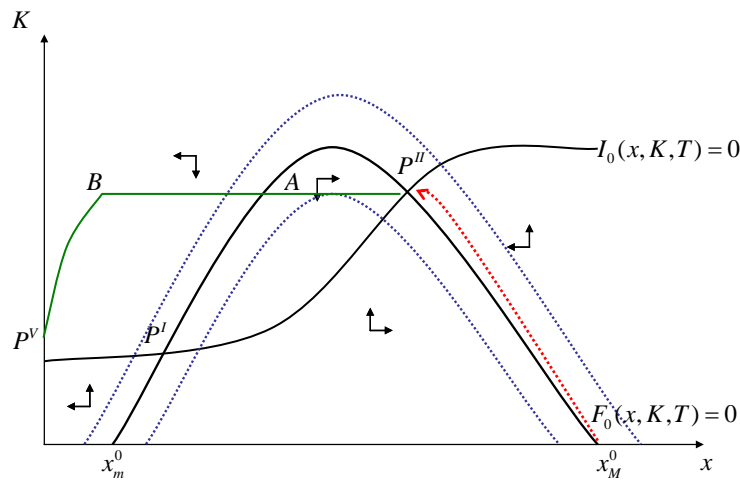
²² El *shock* necesariamente es producto de la temperatura, ya que es la única variable que al largo plazo no presenta un comportamiento estacionario.

Ilustración 10: Modelo Fusionado



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 11: Shocks en el Modelo Determinístico



Fuente: Elaboración propia.

Si el impacto mueve el equilibrio hasta A , entonces el sistema prosigue en el equilibrio inicial. Si el *shock* es mayor y traslada el equilibrio hacia un punto como B no solo se retiran firmas del mercado, sino también el desembarque está cercano a la capacidad mínima de la biomasa. Lo anterior es equivalente al cierre de algunas firmas, al menos temporalmente, hasta que el *stock* restante genere la suficiente población para ser sustentable. Mientras mayor sea la variabilidad de la biomasa, mayor es la posibilidad de ubicar el equilibrio en $(0, K)$. De esta forma se concluye que la separación de ambos efectos permite una estimación insesgada y directa.

7 Conclusiones

El CG es un tema de creciente interés en diversas disciplinas. En este trabajo se abordan elementos desde la perspectiva biológica con el fin de investigar las consecuencias económicas que pueden perjudicar la industria pesquera.

Se argumentó que la mayor anomalía de temperatura provoca la oscilación y reducción de la biomasa. El foco de análisis, luego, es el traspaso de estas secuelas al valor de la firma pesquera.

En primer lugar, se revisaron los dos supuestos que conforman la posterior modelación y estimación de la problemática. El primero es *la temperatura promedio de la superficie terrestre (marina) está aumentando*, y segundo, *el CG afecta la biomasa*. Se refuerza la interpretación y alcance de ambas suposiciones con la exposición de series de tiempo afines, y revisión de casos de zonas geográficas específicas.

En segundo lugar, se revisó la literatura *fisheries economics* y su evolución. De esa sección se concluye que a pesar de los avances presentados, la incorporación del CG como parte de la problemática en la administración de las pesqueras es escasa. En ese ámbito, el aporte de este estudio es la estimación de las consecuencias económicas que puede tener el CG sobre la biomasa, corroborando los resultados teóricos derivados de la modelación.

Para indagar sobre el traspaso de la oscilación de la biomasa sobre la pesquera se modificó el modelo de Pindyck (1984), el que incluye elementos actuales de *fisheries economics*. Para analizar las consecuencias de la reducción de la biomasa sobre la firma se modificó el modelo de Smith (1968), y su utilización se debe a la simpleza que éste provee en la exposición de la estática comparativa.

Posteriormente, se analizaron los argumentos que justifican la separación de ambos efectos para su modelación, pese a que empíricamente se observan conjuntamente.

Los resultados indican que si la biomasa presenta una varianza de 1%, el valor anual de la pesquera puede reducirse alrededor de un 6%, mientras que si la varianza es de 20%, la desvalorización puede alcanzar un 44%.

Respecto al segundo efecto, se supuso que el CG afecta la biomasa reduciéndola ya sea por mayor mortalidad y/o migración. De esta manera, se fuerza a la firma a un mayor nivel de extracción requiriendo mayor capital para ello. Las estimaciones indican que si la anomalía de temperatura aumenta entre +1 y +8°C, el valor anual puede caer entre 8 y 10%. Además, reportando la trayectoria óptima del capital invertido se estima que la inversión es positiva mientras aumenta la temperatura hasta los +4,3°C. Sin embargo, si la anomalía supera los +4,3°C conviene retirar capital dando cuenta del problema de “muchos barcos” y “pocos peces”.

Los resultados de ambos modelos permiten conocer el efecto nocivo del CG sobre la industria pesquera.

8 Bibliografía

1. **Anderson, L. G.** (1977): "*The Economics of Fisheries Management*", The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, USA.
2. **Arnason, R.** (2007): "*Climate Change and Fisheries: Assessing the Economic Impact in Iceland and Greenland*", Natural Resource Modelling, Vol. 20, N° 2.
3. **Bjørndal, T.** (1987): "*Production Economics and the Optimal Stock Size in a North Atlantic Fishery*", Scandinavian Journal of Economics, Vol. 89, N°2, pp. 145 - 162.
4. **Bjørndal, T. & G. Munro** (1998): "*The Economics of Fisheries Management: A Survey*", in Tom Tietenberg and Henk Folmer (eds.), "*The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1998/1999: A Survey of Current Issues*", Cheltenham, Edward Elgar, pp. 153-188.
5. **Bjørndal, T., D. Gordon, R. Arnason & R. Sumaila** (eds.) (2007): "*Advances in Economic Fisheries*", Blackwell Publishing, USA.
6. **Beverton, R. & S. Holt** (1957): "*On The Dynamics of Exploited Fish Populations*", Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Fishery Investigations, Ser. II, Vol. XIX, London 1957.
7. **Bosello, F., R. Roson & R. Tol** (2007): "*Economy-wide Estimates of the Implications of Climate Change: Sea Level Rise*", Environmental & Resource Economics, European Association of Environmental and Resource Economists, Vol. 37, N°3, pp. 549-571.
8. **Brierly, A. S., J. L. Watkins, C. Goss, M. Wilkinson & I. Everson** (1999): "*Acoustic Estimates of Krill Density at South Georgia, 1981 to 1998*", CCAMLR Sci., Vol. 6, pp. 47-57.
9. **Christy, F. & A. Scott** (1965): "*The Common Wealth in Ocean Fisheries. Some Problems of Growth and Economic Allocation*", The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, USA.
10. **Chan, J. C. & K. S. Liu** (2004): "*Typhoon Intensity in a Warming World*", Bulletin American Meteorological Society, Vol. 85, pp. 660-661.
11. **Christensen, V., Amorim, P., Diallo, I. Diouf, T., Guénette, S. Heymans, J.J., Mendy, A.N., Mahfoudh Sidi, T., Palomares, M.L.D., Samb, B., Stobberup, K., Vakily, J.M., Vasconcellos, M., Watson, R., Pauly, D.** (2002): "*Trends in Fish Biomass Off Northwest Africa, 1960-2000*", pp. 215-220, en Palomares, M.L.D., Pauly, D. (eds.) (2004): "*West African Marine Ecosystems: Models and Fisheries Impacts*", Fisheries Centre Research Reports, Vol. 12, No.7. Fisheries Centre, UBC, Vancouver.
12. **Charles, A.** (2007): "*Linking Natural Capital and Physical Capital: A Review of Natural Resource Investment Models*", en Bjørndal, T., D. Gordon, R. Arnason & R. Sumaila (eds.) (2007): "*Advances in Economic Fisheries*", Blackwell Publishing, USA.
13. **Chong, O., D. Iglesias & G. Diniz** (2006): "*Modelo Cuadrático para Simular el Crecimiento de una Población de Peces*", Biomatemática, No. 16, pp. 117-129.
14. **Chong, O. A. G., G. L. Diniz, & F. R. Villatoro** (2005): "*Dispersal of Fish Populations in Dams: Modelling and Simulation*", Ecological Modelling, 186, pp. 290-298.
15. **Clark, C. W.** (1976): "*Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources*", First Edition, Wiley-Interscience, New York, USA.
16. **Clark, C. W.** (1990): "*Mathematical Bioeconomics*", Wiley & Sons, New York, USA.
17. **Clark, C. W.** (2007): "*Rational Expectations and Fisheries Management*", en Bjørndal, T., D. Gordon, R. Arnason & R. Sumaila (eds.) (2007): "*Advances in Economic Fisheries*", Blackwell Publishing, USA.
18. **Clark, C. W., F. H. Clarke & G. Munro** (1979): "*The Optimal Exploitation of Renewable Resource Stocks: Problems of Irreversible Investment*", Econometrica, Vol. 47, No. 1, pp. 25-47.
19. **Clark, C.W. & G.R. Munro** (1982): "*The Economics of Fishing and Modern Capital Theory: A Simplified Approach*", en L. J. Mirman & D. F. Spulber (eds.), "*Essays in the Economics of Renewable Resources*", North-Holland, Amsterdam, Netherlands, pp. 31-54.
20. **Conrad, J. & T. Bjørndal** (1991): "*A Bioeconomic Model of the Harp Seal in the Northwest Atlantic*", Land Economics 67, pp. 158-171.
21. **De Leo, G. A. & M. Gatto** (2001): "*A Stochastic Bioeconomic Analysis of Silver Eel Fisheries*", Ecological Applications, Vol. 11, No. 1, pp. 281-294.

22. **Doyle, M., R. Singh & Q. Weninger** (2007): "*Fisheries Management with Stock Uncertainty and Costly Capital Adjustment*", en Bjørndal, T., D. Gordon, R. Arnason & R. Sumaila (eds.) (2007): "*Advances in Economic Fisheries*", Blackwell Publishing, USA.
23. **Dumas, P. & M. Ha-Duong** (2008): "*Optimal Growth with Adaptation to Climate Change*", http://ideas.repec.org/p/hal/papers/halshs-00207621_v1.html.
24. **Fankhauser, S. & R.S.J. Tol** (2005), "*On Climate Change and Economic Growth*", Resource and Energy Economics, 27, pp. 1-17.
25. **Fankhauser, S., R.S.J. Tol & D.W. Pearce** (1997): "*The Aggregation of Climate Change Damages: A Welfare Theoretic Approach*", Environmental and Resource Economics 10, pp. 249-266.
26. **Forcada J., P. N. Trathan, K. Reid, E. J. Murphy & J. P. Croxall** (2006): "*Contrasting Population Changes in Sympatric Penguin Species in Association with Climate Warming*", Global Change Biology 12, pp. 411-423.
27. **Goreau, T., R. Hayes & D. McAllister** (2005): "*Regional Patterns Of Sea Surface Temperature Rise: Implications For Global Ocean Circulation Change And The Future Of Coral Reefs And Fisheries?*", World Resource Review 17, pp. 350-374.
28. **Gordon, H.** (1954): "*The Economic Theory of a Common Property: The Fishery*", Journal of Political Economy, Vol. 62, No. 2, pp. 124-142.
29. **Hannesson, R.** (2004): "*Global Warming and Fish Migrations*", mimeo, Centre for Fisheries Economics, The Norwegian School of Economics and Business Administration.
30. **Hannesson, R.** (2007): "*Incentive Compatibility of Fish-Sharing Agreements*" en Bjørndal, T., D. Gordon, R. Arnason & R. Sumaila (eds.) (2007): "*Advances in Economic Fisheries*", Blackwell Publishing, USA.
31. **Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D.W. Lea & M. Medina-Elizade** (2006): "*Global Temperature Change*", Proceedings of the National Academy of Sciences, 103, pp. 14288-14293.
32. **Hernández, B., G. Gaxiola-Castro & S. Nájera Martínez** (2004): "*Efectos del ENSO en la Producción Primaria frente a Baja California*", Ciencias Marinas, Vol. 30, N°3, pp. 427-441.
33. **Hübler, M., Klepper, G. & Peterson, S.** (2007): "*Costs of Climate Change - The Effects of Rising Temperatures on Health and Productivity in Germany*", Kiel Working Paper 1321, Institut für Weltwirtschaft, Kiel, Alemania.
34. **Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)** (2001): "*Climate Change 2001: Third Assessment Report*", Synthesis Report, Cambridge, UK.
35. **Jin, D. & G. E. Herrera** (2005): "*A Stochastic Bioeconomic Model with Research*", Marine Resource Economics, Vol. 20, pp. 249-261.
36. **Johnson, G. C., S. Mecking, B. M. Sloyan & S. E. Wijffels** (2007): "*Recent Bottom Water Warming in the Pacific Ocean*", Journal of Climate, Vol. 20, No. 21, pp. 5365–5375.
37. **Kemfert, C.** (2005): "*The Economic Costs of Climate Change*", German Institute for Economic Research, Vol. 1, No. 2, pp. 43-49.
38. **Kobayashi, S.** (2007): "*A Dynamic Game of Renewable Natural Resource Exploitation and Markov Perfect Equilibrium*" en Bjørndal, T., D. Gordon, R. Arnason & R. Sumaila (eds.) (2007): "*Advances in Economic Fisheries*", Blackwell Publishing, USA.
39. **Levy, J. K., D. M. Kilgour & K. W. Hipel** (2006): "*Reducing The Risk Of Fishery Resource Disasters: A Bioeconomic Approach To Sustainable Resource Management*", Journal of the American Water Resources Association, Vol. 42, No. 6, pp. 1451–1463.
40. **Lindroos, M., V. Kaitala & L. G. Kronbak** (2007): "*Coalition Games in Fisheries Economics*", en Bjørndal, T., D. Gordon, R. Arnason & R. Sumaila (eds.) (2007): "*Advances in Economic Fisheries*", Blackwell Publishing, USA.
41. **Link, P. M. & R. S. J. Tol** (2005): "*Economic Impacts on Key Barents Sea Fisheries Arising from Changes in the Strength of the Atlantic Thermohaline Circulation*", Working Papers FNU-104, Research Unit Sustainability and Global Change, Hamburg University.
42. **Lipp, E., N. Schmidt, M. Luther & J. Rose** (2001): "*Determining the Effects of El Niño-Southern Oscillation Events on Coastal Water Quality*", Estuaries, Vol. 24, No. 4, pp. 491-497.

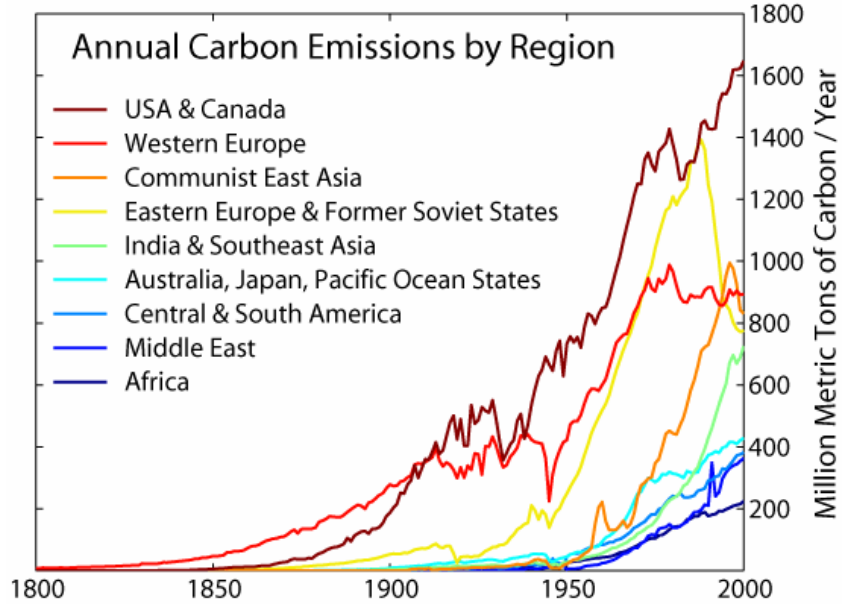
43. **Lorenzen, K.** (2000): “*Allometry of Natural Mortality as a Basis for Assessing Optimal Release Size in Fish-Stocking Programmes*”, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol 57, pp. 2374-2381.
44. **McDonald, A., L. K. Sandal & S. I. Steinshamn** (2002): “*Implications of a Nested Stochastic/Deterministic Bio-economic Model for a Pelagic Fishery*”, Ecological Modelling 149, pp. 193–201.
45. **McKelvey, R., P. V. Golubtsov, G. Cripe & K. Miller** (2007): “*The Incomplete Information Stochastic Split-Stream Model: An Overview*” en Bjørndal, T., D. Gordon, R. Arnason & R. Sumaila (eds.) (2007): “*Advances in Economic Fisheries*”, Blackwell Publishing, USA.
46. **Munro, G.** (1992): “*Mathematical Bioeconomics and the Evolution of Modern Fisheries Economics*”, Bulletin of Mathematical Biology 54, pp. 163–184.
47. **Murphy, E., P. Trathan, J. Watkins, K. Reid, M. Meredith, J. Forcada, S. Thorpe, N. Johnston & P. Rothery** (2007): “*Climatically Driven Fluctuations in Southern Ocean Ecosystems*”, Philosophical Transactions of The Royal Society B, Vol. 274, pp. 3057-3067.
48. **Pascoe, S., T. Battaglene & D. Campbell** (1992): “*A Bioeconomic Model of the Southern Shark Fishery*”, ABARE Research Report 92.1, www.abareconomics.com.
49. **Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese & F. Torres** (1998): “*Fishing Down Marine Food Webs*”, Science 279, pp. 860-863.
50. **Pearce, D. W., & R. K. Turner** (1990): “*The Economics of Natural Resources and the Environment*”, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA.
51. **Peterson, S.** (2006): “*Uncertainty and Economic Analysis of Climate Change: A Survey of Approaches and Findings*”, Kiel Institute for World Economics, <http://www.ifw-kiel.de/>.
52. **Pindyck, R.** (1984): “*Uncertainty in the Theory of Renewable Resource Markets*”, The Review of Economics Studies, Vol. 51, No. 2, pp. 289-303.
53. **Pratt, J.** (1964): “*Risk Aversion in the Small and the Large*”, Econometrica 32, pp.122-136.
54. **Quayle, W. C., L. S. Peck, H. Peat, J. C. Ellis-Evans & P. R. Harrigan** (2002): “*Extreme Responses to Climate Change in Antarctic Lakes*”, Science 295, p. 645.
55. **Schaefer, M.B. & Beverton, R.J.H.** (1963): “*Fishery dynamics—their analysis and interpretation*”, en Hill, M.N. (Ed.): “*The Sea*”, Vol. 2, Interscience, New York, USA.
56. **Scott, A.** (1955): “*The Fishery: The Objectives of Sole Ownership*”, Journal of Political Economy 63, pp. 116-124.
57. **Smith, V.** (1968): “*Economics of Production from Natural Resources*”, The American Economic Review, Vol. 58, No. 3, Part I, pp. 409-431.
58. **Smith, V.,** (1969): “*On Models of Commercial Fishing*”, Journal of Political Economy 77, pp. 181-198.
59. **Stein, M.** (2007): “*Warming Periods off Greenland during 1800-2005. Their Potential Influence on the Abundance of Cod (*Gadus morhua*) and Haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) in Greenlandic Waters*”, Journal of Northwestern Atlantic Fishery Science 39, pp. 1-20.
60. **Stern, N.** (2007): “*The Economics of Climate Change: The Stern Review*”, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
61. **Suárez, J., W. Ritter, C. Gay & J. Torres** (2004): “*ENSO-Tuna Relations in the Eastern Pacific Ocean and its Prediction as a Non-Linear Dynamic System*”, Atmosfera, pp. 245-258.
62. **Tol, R.S.J.** (2002): “*New Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part I: Benchmark Estimates*”, Environmental and Resource Economics, Vol. 21, N°1, pp. 47-73.
63. **Trathan, P., J. Forcada & E. Murphy** (2007): “*Environmental Forcing and Southern Ocean Marine Predator Populations: Effects of Climate Change and Variability*”, Philosophical Transactions of The Royal Society B, Vol. 362, pp. 2351-2365.
64. **Trathan, P. N., Brierley, A. S., Brandon, M. A., Bone, D. G., Goss, C., Grant, S. A., Murphy, E. J. & Watkins, J. L.** (2003): “*Oceanographic Variability and Changes in Antarctic Krill (*Euphausia Superba*) Abundance at South Georgia*”, Fisheries Oceanography 12, pp. 569–583.

65. **Trathan, P.N., Murphy, E. J., Forcada, J., Croxall, J. P., Reid, K. & Thorpe, S.E.** (2006): “*Physical Forcing in the Southwest Atlantic: Ecosystem Control*” en Boyd, I.L., Wanless, S., Camphuysen, C.J. (eds.) “*Top Predators in Marine Ecosystems*”, Cambridge University Press.
66. **Thompson, P. M. & J. C. Ollason** (2001): “*Lagged Effects of Ocean Climate Change on Fulmar Populations Dynamics*”, *Nature* 413, pp. 417-420.
67. **Ye, Y., N. Loneragan, D. J. Die, R. Watson & B. Harch** (2005): “*Bioeconomic Modelling and Risk Assessment of Tiger Prawn (Penaeus Esculentus) Stock Enhancement in Exmouth Gulf, Australia*”, *Fisheries Research* 73, pp. 231-249.

9 Anexos

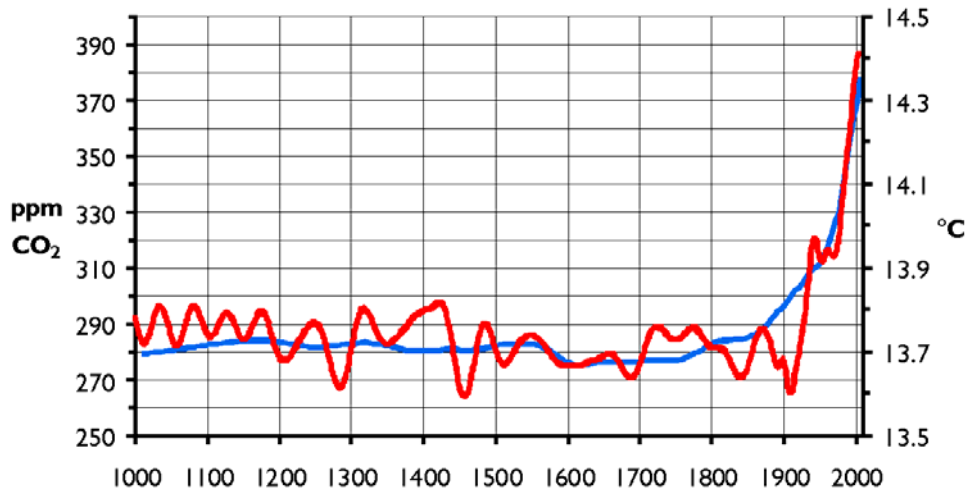
9.1 Anexo 1

Ilustración 12: Emisiones de CO₂ por Continente, 1800 – 2000.



Fuente: Carbon Dioxide Information Analysis Center, <http://cdiac.ornl.gov/>.

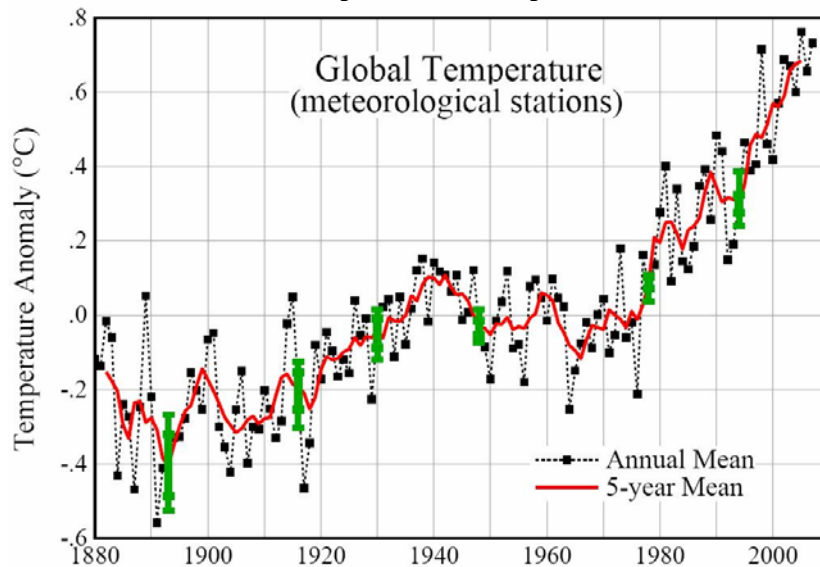
Ilustración 13: Temperatura Global y Concentración de CO₂, 1000 – 2000.



Fuente: Etheridge, D.M., L.P. Steele, R.L. Langenfelds, R.J. Francey, J.-M. Barnola, V.I. Morgan (1998): "Historical CO₂ Records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS Ice Cores", <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/lawdome.html>.

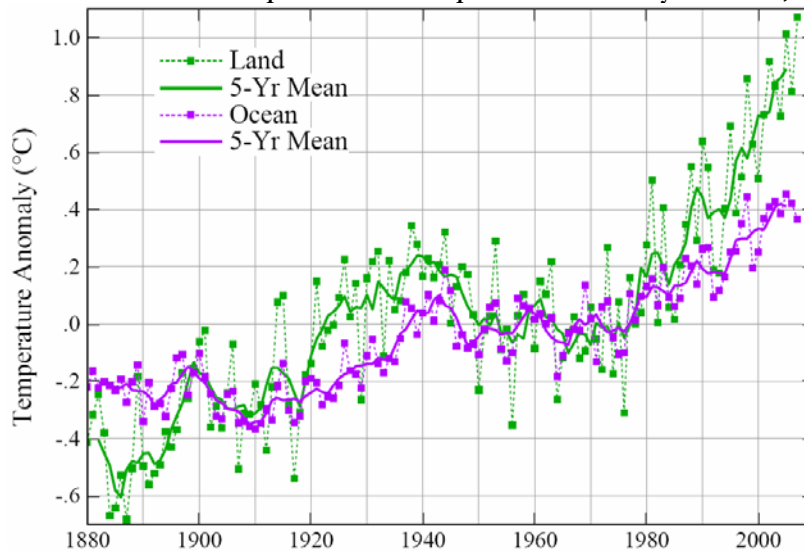
9.2 Anexo 2

Ilustración 14: Anomalía de Temperatura de la Superficie Terrestre, 1880 – 2005.



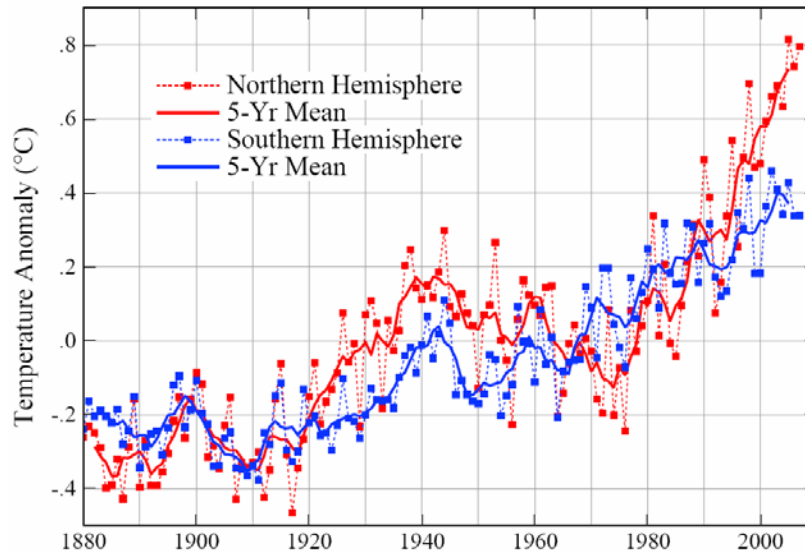
Fuente: Hansen *et al.* (2006).

Ilustración 15: Anomalía de Temperatura de la Superficie Oceánica y Terrestre, 1880 – 2005.



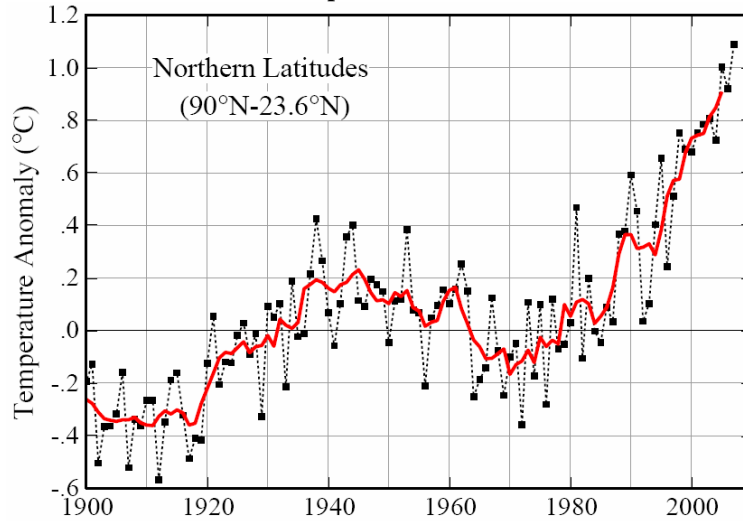
Fuente: *Goddard Institute for Space Studies*, <http://data.giss.nasa.gov>.

Ilustración 16: Anomalía de Temperatura por Hemisferios, 1880 – 2005.



Fuente: *Goddard Institute for Space Studies*, <http://data.giss.nasa.gov>.

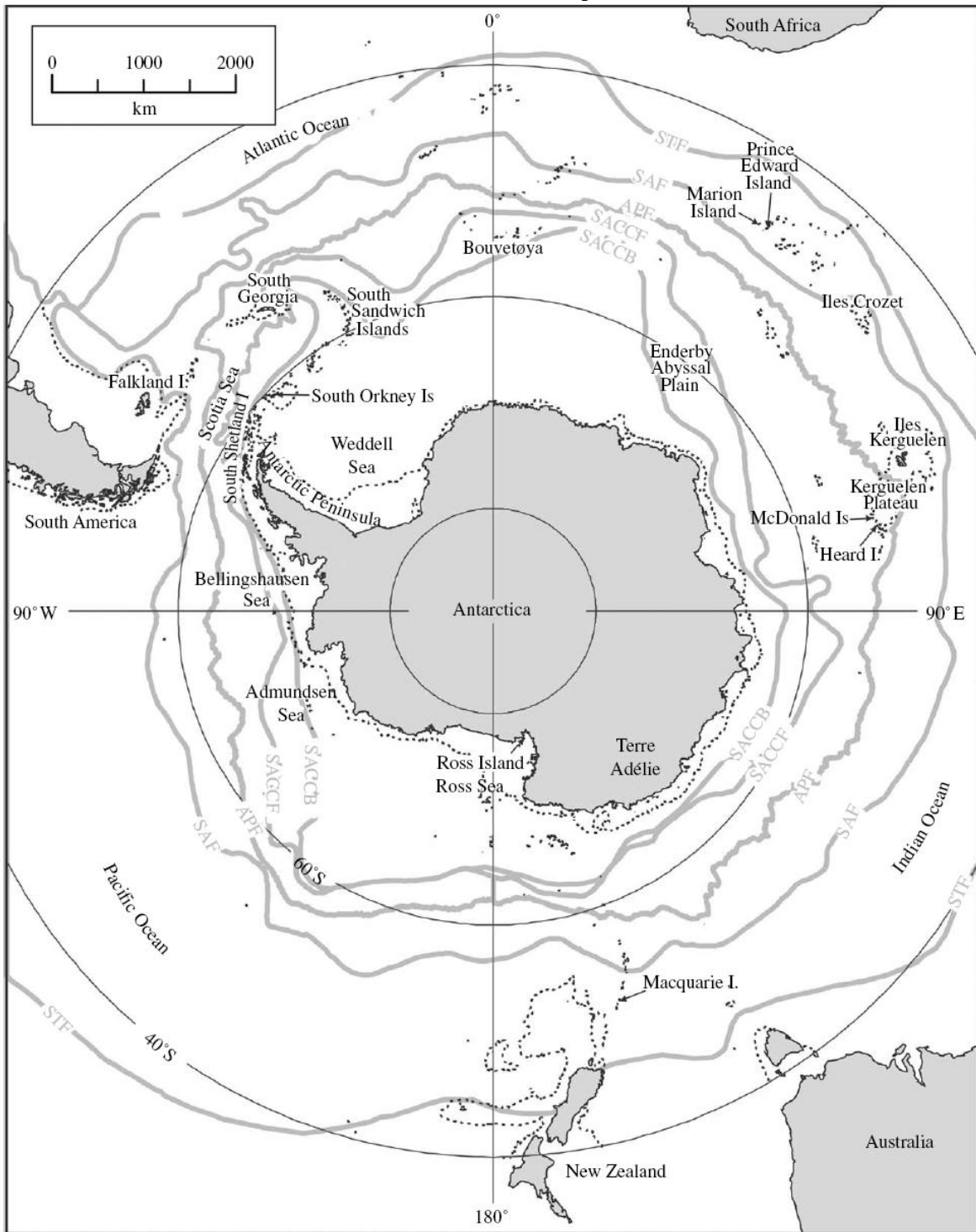
Ilustración 17: Anomalía de Temperatura, Zona 90°N – 23,6°N, 1900 – 2005.



Fuente: *Goddard Institute for Space Studies*, <http://data.giss.nasa.gov>.

9.3 Anexo 3

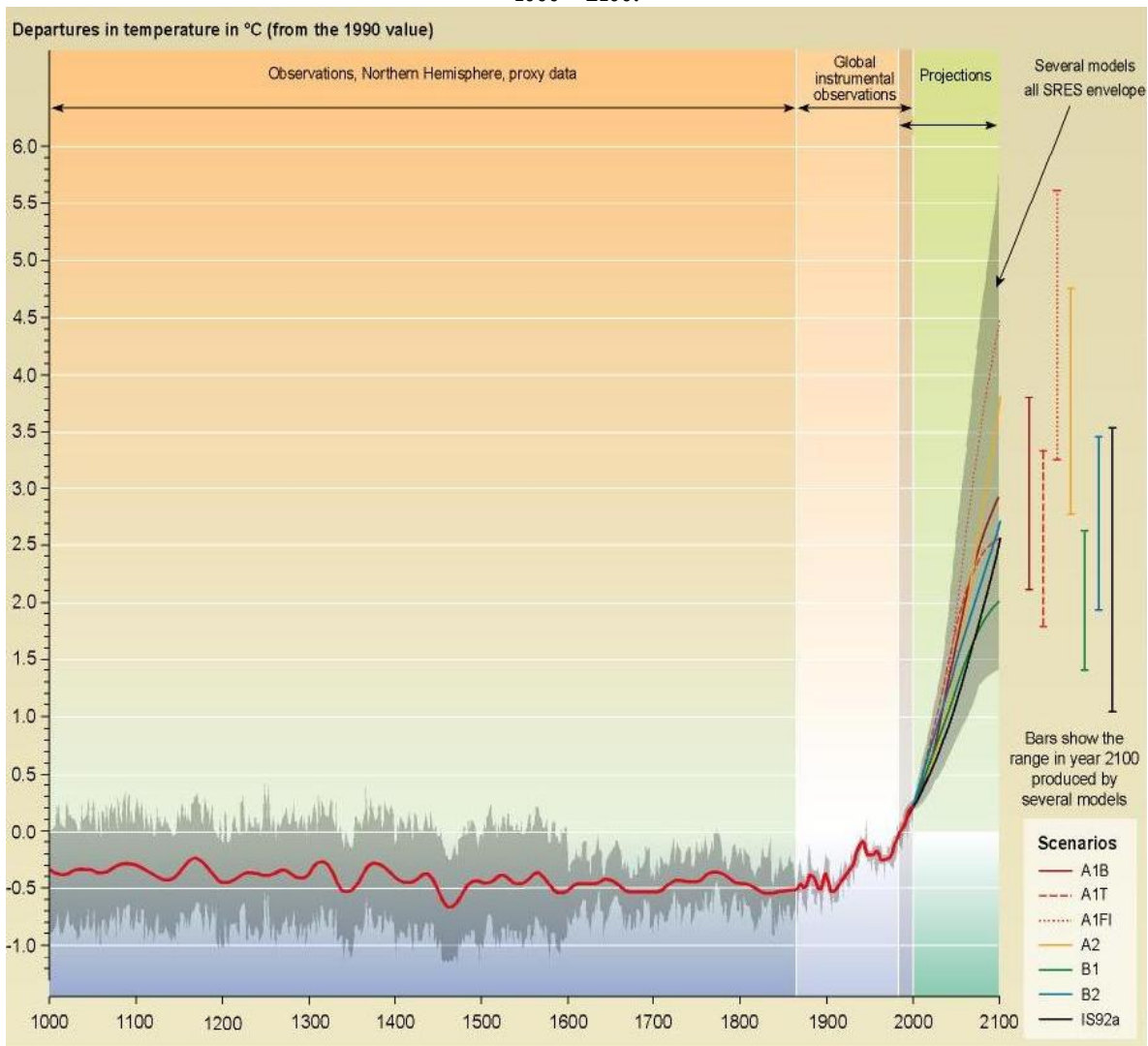
Ilustración 18: Mar Antártico, correspondiente a 60°S.



Fuente: Trathan P.N, Forcada J. & Murphy E.J. (2007): "Environmental Forcing and Southern Ocean Marine Predator Populations: Effects of Climate Change and Variability", Philosophical Transactions of The Royal Society B, N°362, pp. 2351 – 2365.

9.4 Anexo 4

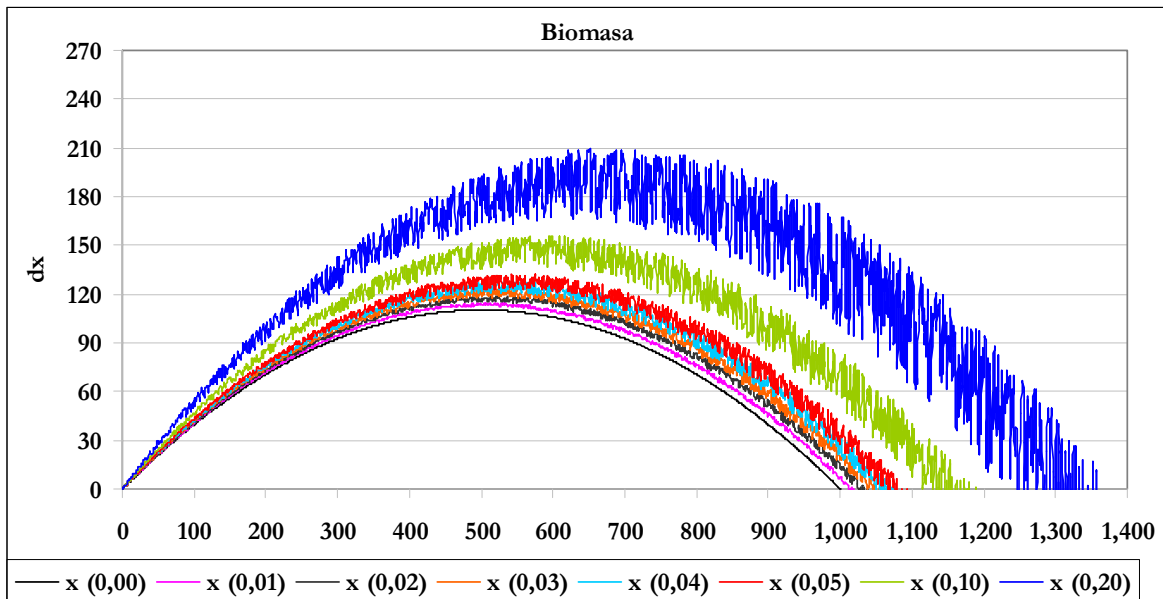
Ilustración 19: Observaciones y Proyecciones de Anomalías de Temperatura de la Superficie Terrestre, 1000 – 2100.



Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change (2001): “*Climate Change 2001: Synthesis Report*”, <http://www.ipcc.ch/>.

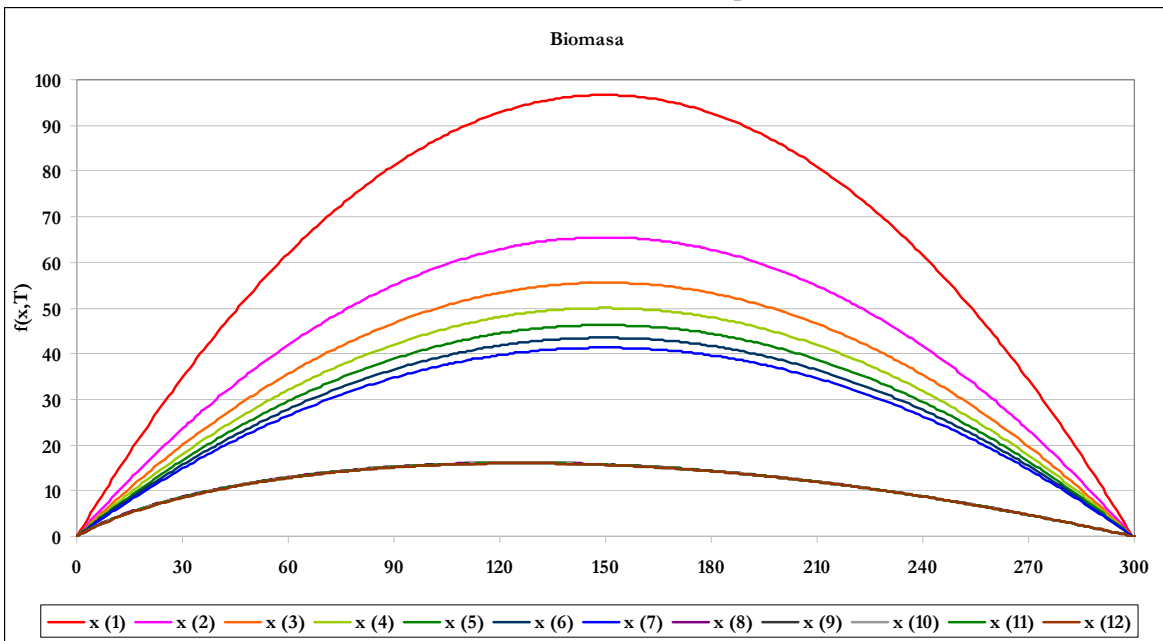
9.5 Anexo 5

Ilustración 20: Biomasa Estocástica dependiente de T .



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 21: Biomasa Determinística dependiente de T .



Fuente: Elaboración propia.

**Documentos de Trabajo
Banco Central de Chile**

**Working Papers
Central Bank of Chile**

NÚMEROS ANTERIORES

PAST ISSUES

La serie de Documentos de Trabajo en versión PDF puede obtenerse gratis en la dirección electrónica: www.bcentral.cl/esp/estpub/estudios/dtbc. Existe la posibilidad de solicitar una copia impresa con un costo de \$500 si es dentro de Chile y US\$12 si es para fuera de Chile. Las solicitudes se pueden hacer por fax: (56-2) 6702231 o a través de correo electrónico: bcch@bcentral.cl.

Working Papers in PDF format can be downloaded free of charge from: www.bcentral.cl/eng/stdpub/studies/workingpaper. Printed versions can be ordered individually for US\$12 per copy (for orders inside Chile the charge is Ch\$500.) Orders can be placed by fax: (56-2) 6702231 or e-mail: bcch@bcentral.cl.

DTBC-533 Diciembre 2009
Hybrid Inflation Targeting Regimes
Carlos García, Jorge Restrepo y Scott Roger

DTBC-532 Diciembre 2009
Bank Credit and the 2008 Financial Crisis: A Cross-Country Comparison
Ari Aisen y Michael Franken

DTBC-531 Octubre 2009
La Curva De Rendimiento Bajo Nelson-Siegel
Rodrigo Alfaro

DTBC-530 Octubre 2009
The Long And The Short Of Emerging Market Debt
Luis Opazo, Claudio Raddatz y Sergio Schmukler

DTBC-529 Octubre 2009
A Simple Global Perspective on the US Slowdown, Boom-Bust Cycles and the Rise of Protectionism
Juan Pablo Medina y Pablo García

DTBC-528 Octubre 2009
The Effect Of The Number Of Lending Banks On The Liquidity Constraints Of Firms: Evidence From A Quasi-Experiment
Daniel Calvo, Alejandro Drexler, Carolina Flores y David Pacheco

DTBC-527	Octubre 2009
Monetary Policy And Key Unobservables: Evidence From Large Industrial And Selected Inflation-Targeting Countries	
Klaus Schmidt-Hebbel y Carl E. Walsh	
DTBC-526	Octubre 2009
Communicational Bias In Monetary Policy: Can Words Forecast Deeds?	
Pablo Pincheira y Mauricio Calani	
DTBC-525	Agosto 2009
Interindustry Wage Differences: An Empirical Review	
Miguel Ricaurte	
DTBC-524	Agosto 2009
The Effect Of Credit Insurance On Liquidity Constraints And Default Rates: Evidence From A Governmental Intervention	
Kevin Cowan, Alejandro Drexler y Álvaro Yañez	
DTBC-523	Agosto 2009
FDI vs. Exports: Accounting for Differences in Export-Sales Intensities	
Miguel F. Ricaurte, Katherine Schmeiser	
DTBC-522	Agosto 2009
Traspasso De Grandes Cambios De La Tasa De Política Monetaria - Evidencia Para Chile	
J. Sebastián Becerra, Luís Ceballos, Felipe Córdova y Michael Pedersen	
DTBC-521	Julio 2009
Corporate Tax, Firm Destruction and Capital Stock Accumulation: Evidence from Chilean Plants	
Rodrigo A. Cerda y Diego Saravia	
DTBC-520	Junio 2009
Cuando el Índice de Fuerza Relativa Conoció al Árbol Binomial	
Rodrigo Alfaro y Andrés Sagner	
DTBC-519	Junio 2009
Skill Upgrading and the Real Exchange Rate	
Roberto Álvarez y Ricardo A. López	