

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año **1. Datos generales del Proyecto**

Código del proyecto: CI-71105			
Título del proyecto: Dependencia entre la biomasa y captura: el caso de pequeños peces pelágicos			
Facultad o Instituto Académico: Facultad de Ciencias Naturales y Exactas			
Departamento o Escuela: Departamento de Matemáticas			
Grupo (s) de investigación: ANOPI – Análisis Numérico, Optimización y Problemas Inversos			
Entidades: Universidad del Valle			
Palabras claves: modelo bioeconómico, pesquería pelágica, hiper-estabilidad, función de producción Cobb-Douglas, control óptimo, principio de máximo, política de pesca sostenible			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Olga Vasilieva	330 horas	440 horas
Coinvestigadores	Érica Cruz Rivera (estudiante de doctorado)	0	440
Otros participantes	Héctor Ramírez Cabrera (asesor externo)	0	88

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

2. Resumen ejecutivo:

Se espera que describa el proyecto, planteamiento del problema, objetivos, metodología, principales resultados obtenidos y las conclusiones. La extensión debe ser de máximo de 500 palabras (en español y en inglés).

Resumen

Las características biológicas de las especies de peces pelágicos explican por qué las tasas de captura en las pesquerías pelágicas no son proporcionales al tamaño del stock existente y pueden no mostrar variación en su tamaño en los períodos de abundancia y escasez de peces. Por lo tanto, las no linealidades dependientes del stock en la capturabilidad deben reflejarse en el diseño de políticas flexibles de pesca que se dirijan a la explotación sostenible de este importante recurso natural. En este proyecto, tales no linealidades se expresan a través de la eventual variabilidad del parámetro de “captura-biomasa” que mide la sensibilidad de un rendimiento de captura adicional a los cambios marginales respecto al tamaño de la población de peces. Utilizando el marco de modelamiento de control óptimo, establecemos que cada valor del parámetro “captura-biomasa” genera un valor de estado estacionario único de la población de peces y este último engendra una política óptima de pesca que puede sostenerse siempre que dicho parámetro no se altera. También demostramos la dependencia continua de la biomasa en estado estacionario y la política de pesca subyacente sobre el parámetro de “captura-biomasa” mencionado y nos centramos en el análisis de las respuestas de equilibrio a los cambios en este parámetro inducidos por perturbaciones externas.

Abstract

Biologic characteristics of schooling fish species explain why the rates of harvesting in pelagic fisheries are not proportional to the existent stock size and may exhibit no variation between the periods of fish abundance and scarcity. Therefore, the stock-dependent nonlinearities in catchability must be reflected in the design of flexible fishing policies which target sustainable exploitation of this important natural resource. In this project, such nonlinearities are expressed through eventual variability of the catch-to-stock

Elaborado por: Vicerrectoría de Investigaciones

parameter that measures the sensitivity of an additional catch yield to marginal changes in the fish stock level. Using the optimal control modeling framework, we establish that each value of the catch-to-stock parameter generates a unique steady-state size of the fish stock and the latter engenders an optimal fishing policy that can be sustained as long as the catch-to-stock parameter remains unchanged. We also prove the continuous dependence of the steady-state stock and underlying fishing policy upon the mentioned catch-to-stock parameter and then focus on the analysis of the equilibrium responses to changes in this parameter induced by external perturbations.

3. Síntesis del proyecto:

En una extensión máxima de 5 páginas, se debe mostrar el cumplimiento de los objetivos del proyecto y debe incluir:

Tema:

Modelamiento matemático, ecuaciones diferenciales ordinarias, teoría de control óptimo, principio de máximo de Pontryagin.

Objetivo general:

Estudiar la dinámica poblacional de peces pelágicos modificada por la actividad económica externa y proponer estrategias de pesca sostenible a largo plazo en términos de la biomasa extraída.

Se planteó un modelo bio-económico de la dinámica poblacional de peces pelágicos con capturas y se realizó un análisis cualitativo de dicho modelo. A base del modelo anterior, se diseñaron políticas de pesca sostenible que son ajustables a los cambios en sensibilidad de la biomasa extraída con respecto a capturas.

Objetivos específicos:

- Plantear un modelo de pesquería pelágica definiendo la función del crecimiento biológico de la biomasa, la función de capturas, y el criterio de rentabilidad

económica de pesca que será maximizado, que garantice la viabilidad económica de pesquería a largo plazo.

Este modelo se planteó usando el marco conceptual de la teoría de control óptimo.

- Derivar el sistema de optimalidad y hacer el análisis de sus puntos de equilibrio.

Se realizó análisis de estabilidad del sistema de optimalidad y se demostró la dependencia continua de su único punto estacionario factible sobre el parámetro “captura-biomasa”.

- Determinar las condiciones necesarias para la existencia de una estrategia de pesca sostenible a largo plazo.

La condición necesaria para la existencia de una estrategia de pesca sostenible se formuló así: la productividad marginal inicial del recurso debe ser mayor que la tasa de descuento vigente en el mercado.

- Bajo las condiciones anteriores, determinar un esfuerzo de pesca óptimo en términos de la biomasa extraída y otros parámetros del modelo.

El esfuerzo óptimo de pesca se definió en forma de solución tipo “turn-pike” a partir de la ecuación fundamental de explotación de recursos renovables. Además, se demostró que dicho esfuerzo es ajustable al número de barcos en la flota pesquera.

- Hacer un análisis cualitativo del caso particular cuando la productividad de captura marginal es constante, pero la función de capturas pierde sensibilidad con respecto a los cambios en biomasa.

Se realizó dicho análisis cualitativo demostrando que la pérdida de sensibilidad de la función de capturas respecto a la biomasa existente obligará a los tomadores de decisiones ajustar políticas de pesca de

acuerdo con las alteraciones externas expresadas a través del parámetro “captur-biomasa”.

- Interpretar en términos económicos los resultados obtenidos.

Los resultados matemáticos fueron interpretados en términos económicos y de gestión para facilitar la toma de decisiones y ajuste de políticas de pesca.

Metodología:

La metodología de este proyecto comprendió dos etapas:

Etapa 1: Construcción, justificación y análisis del modelo

Durante la ejecución de esta etapa, la estudiante de doctorado (Erica Cruz Rivera) realizó una pasantía de investigación de 2 meses en el CMM – Universidad de Chile, bajo supervisión del asesor externo del proyecto (Prof. Héctor Ramírez Cabrera).

Etapa 2: Análisis del impacto causado por la pérdida de sensibilidad de capturas con respecto a la biomasa extraída.

Durante la ejecución de esta etapa, la estudiante de doctorado (Erica Cruz Rivera) realizó una pasantía de investigación de 2,5 meses en el CMM – Universidad de Chile, bajo supervisión del asesor externo del proyecto (Prof. Héctor Ramírez Cabrera).

Resultados obtenidos

El principal resultado del proyecto está relacionado con avances significativo en el desarrollo de tesis doctoral (estudiante Erica Cruz Rivera) y generación de nuevos conocimientos en el área de biomatemáticas (artículo de investigación sometido a evaluación) así como su respectiva socialización en el ámbito académico (4 ponencias presentadas en eventos de nivel nacional e internacional).

Otro resultado importante del proyecto radica en el fortalecimiento de cooperación académica con el asesor externo del proyecto y otros colegas en Chile y en Francia (2 nuevos proyectos de cooperación académica internacional aprobados).

Los productos resultantes de la ejecución del proyecto se relacionan a continuación (véase Tabla No. 2).

Principales conclusiones y/o recomendaciones:

La ejecución académico-investigativa del proyecto fue exitosa.

No obstante, la ejecución financiera del proyecto ha presentado inconvenientes y todavía tiene sin ejecutar COP 1.500.000 de los COP 20.000.000 asignados (7.5% del presupuesto). Esto es debido a la NO aprobación de cambio de rubro por parte de la Vicerrectoría de Investigaciones.

4. Impactos actual o potencial:

Haga una descripción y/o relacione los impactos que tenga el proyecto en los diferentes ámbitos:

Académico (aportes a la docencia, aportes a la formación de recursos humanos)

Fortalecimiento de la nueva línea de investigación en matemáticas aplicadas en el Departamento y Posgrado de Matemáticas

Investigativo (divulgación de resultados)

Contribución a la mejor comprensión del modelamiento de pesquerías pelágicas y al diseño de políticas flexibles para el uso sostenible de recursos pesqueros.

Desarrollos futuros

Aplicación de la teoría de control al diseño de políticas públicas en diferentes sectores (manejo de recursos renovables, conservación de la biodiversidad, prevención y control de enfermedades infecciosas).

Si posee información acerca de los impactos actuales o potenciales de la investigación, preséntela en máximo una página. Se refiere a los aportes que ofrece en el campo de investigación al que corresponde. Incluye las tecnologías y resultados de IDi que puedan transferirse a los sectores productivos y de servicios, tanto nacionales como internacionales.

El modelo bioeconómico desarrollado en este proyecto podría ser usado como un "modelo operativo sencillo" dentro del enfoque global conocido como "Management Strategy Evaluacion" (MSE – por sus siglas en inglés). Dicho enfoque busca diseñar políticas de pesca sostenible a través de un "acoplamiento dinámico" (o validación por contraste) de dos modelos – un modelo de toma de decisiones (relativamente sencillo, como nuestro) y un modelo de mayor complejidad basado en registros de capturas y otros datos empíricos recopilados dentro y fuera de una pesquera real.

5. Productos:

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
Productos de nuevos conocimientos								
Artículo aceptado para evaluación en revista ISI-SCOPUS:	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
	0	0	0	1	0	0	1	0
Artículo completo publicado en revistas indexadas	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C
	0	0	0	0	0	0	0	0

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Libros de autor que publiquen resultados de investigación	0		0	
Capítulos en libros que publiquen resultados de investigación	0		0	
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados	0		0	
• Prototipos y patentes	0		0	
• Software	0		0	
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial	0		0	
Normas basadas en resultados de investigación	0		0	
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	0	0	0	0
Semillero de Investigación	0	0	0	0
Estudiantes de maestría	0	0	0	0
Estudiantes de doctorado	1	0	1	0
Joven investigador	0	0	0	0
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas	0		0	
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
	0	1	2	2
Propuesta de investigación			Propuestas sometidas	Propuestas aprobadas
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		2	2

Tabla No. 2. Detalle de productos

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a este formato encontrará el instructivo para la revisión de informes finales y productos

A. PRODUCTOS DE NUEVOS CONOCIMIENTOS:

Tipo de producto:	Artículo aceptado para evaluación en revista Q3 (SCOPUS)
Nombre General:	Revista: Natural Resource Modeling ISSN: 1939-7445
Nombre Particular:	Título: <i>Catch-to-stock dependence: the case of small pelagic fishery with bounded harvesting effort</i>
Ciudad y fechas:	Boston – Estados Unidos; Fecha de envío para evaluación: 17 de junio de 2018.
Participantes:	Érica Cruz Rivera, Héctor Ramírez Cabrera, Olga Vasilieva
Sitio de información:	https://onlinelibrary.wiley.com/journal/19397445
Formas organizativas:	Grupo ANOPI (Análisis Numérico, Optimización y Problemas Inversos), Universidad del Valle y CMM (Centro de Modelamiento Matemático), Universidad de Chile

B. PRODUCTOS DE FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Tipo de producto:	Pasantía de investigación
Nombre General:	Programa de Internacionalización de Doctorado – CMM, Universidad de Chile; Línea: Gestión de Recursos Naturales
Nombre Particular:	Tema: <i>“Análisis de sensibilidad del nivel de biomasa a los cambios en el esfuerzo de pesca”</i>
Ciudad y fechas:	Santiago – Chile; Septiembre 21 – Noviembre 20, 2017
Participantes:	Érica Cruz Rivera (estudiante de doctorado), Héctor Ramírez Cabrera (supervisor)
Sitio de información:	http://www.cmm.uchile.cl/?page_id=28031
Formas organizativas:	Programa de Doctorado en Ciencias Matemáticas, Universidad del Valle; CMM (Centro de Modelamiento Matemático), Universidad de Chile; REALMA (Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas)

Tipo de producto:	Pasantía de investigación
Nombre General:	Programa de Internacionalización de Doctorado – CMM, Universidad de Chile Línea: Gestión de Recursos Naturales
Nombre Particular:	Tema: <i>“Diseño de políticas de pesca sostenible en una pesquería pelágica”</i>
Ciudad y fechas:	Santiago – Chile; Marzo 10 – Mayo 25, 2018
Participantes:	Érica Cruz Rivera (estudiante de doctorado), Héctor Ramírez Cabrera (supervisor)
Sitio de información:	http://www.cmm.uchile.cl/?page_id=28031
Formas organizativas:	Programa de Doctorado en Ciencias Matemáticas, Universidad del Valle; CMM (Centro de Modelamiento Matemático), Universidad de Chile; REALMA (Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas)

Elaborado por: Vicerrectoría de Investigaciones

Tipo de producto:	Tesis de doctorado en preparación
Nombre General:	Programa de Doctorado en Ciencias Matemáticas, Universidad del Valle
Nombre Particular:	Título: <i>“Aplicación de modelos bio-económicos al desarrollo de nuevas estrategias de pesca”</i>
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia; Fecha de inicio: Marzo 2017; Fecha prevista de entrega: Enero 2019
Participantes:	Érica Cruz Rivera (estudiante de doctorado), Olga Vasilieva (directora)
Sitio de información:	http://www.cmm.uchile.cl/?page_id=28031
Formas organizativas:	Programa de Doctorado en Ciencias Matemáticas, Universidad del Valle

C. PRODUCTOS DE DIVULGACIÓN

Tipo de producto:	Ponencia en evento nacional
Nombre General:	LXXXVI Encuentro Anual de la Sociedad de Matemática de Chile
Nombre Particular:	Título: <i>“A qualitative analysis for a harvesting model of small pelagic fish with bounded fishing effort”</i>
Ciudad y fechas:	Talca, Chile; Noviembre 2-4, 2017
Participantes:	Érica Cruz Rivera, Héctor Ramírez Cabrera
Sitio de información:	http://somachi.cl/blog/2017/07/10/lxxxvi-encuentro-anual-de-la-sociedad-de-matematica-de-chile-2017/
Formas organizativas:	Sociedad de Matemática de Chile

Tipo de producto:	Ponencia en evento nacional
Nombre General:	XXXI Jornada de Matemática de la Zona Sur
Nombre Particular:	Título: <i>"Análisis de Estabilidad para un Sistema Biológico de Coexistencia de Tres Especie con Capturas"</i>
Ciudad y fechas:	Valdivia, Chile; Abril 25-27, 2018
Participantes:	Érica Cruz Rivera
Sitio de información:	http://www.jmzs2018.cl/
Formas organizativas:	Sociedad de Matemática de Chile

Tipo de producto:	Ponencia en evento internacional
Nombre General:	III International Conference on Applied Mathematics and Informatics – ICAMI 2017. Resumen publicado en el libro "ICAMI 2017: a memorable synopsis" (ISBN 978-958-765-561-2), p. 79 disponible en https://drive.google.com/file/d/0B9kYuXKfw2vxVkdGbUR2OUxzeGtKQWJvUjZiRGRjMHlzdEJv/view?usp=sharing
Nombre Particular:	Título: <i>"Catch-to-stock dependence in pelagic fishery model"</i>
Ciudad y fechas:	San Andrés, Colombia, Noviembre 26 – Diciembre 1, 2017
Participantes:	Érica Cruz Rivera, Olga Vasilieva
Sitio de información:	http://www.icami2017.org/
Formas organizativas:	REALMA (Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas)

Tipo de producto:	Ponencia en evento internacional
Nombre General:	The 12th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications Resumen publicado en Abstracts Book, p. 344-345 disponible en http://aims sciences.org/conferences/2018/abstracts-2018-06-17.pdf
Nombre Particular:	Título: <i>"Catch-To-Stock Dependence in Small Pelagic Fishery with Bounded Harvesting Effort"</i>
Ciudad y fechas:	Taipei, Taiwan Julio 5-9, 2018
Participantes:	Olga Vasilieva
Sitio de información:	http://aims sciences.org/conferences/2018/
Formas organizativas:	AIMS (American Insititue for Mathematical Sciences)

D. PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

Tipo de producto:	Propuesta de investigación
Nombre General:	Programa de cooperación regional MATH-AmSud (Francia – Latinoamérica)
Nombre Particular:	Título: <i>"MOVECO – Modeling, Optimization and Viability for Epidemics Control"</i>
Ciudad y fechas:	Rio-de-Janeiro, Brasil; Noviembre 22, 2017 (fecha de aprobación)
Participantes:	Olga Vasilieva, Héctor Ramírez Cabrera
Sitio de información:	http://www.sticmathamsud.org/
Formas organizativas:	ParisTech, Université Paris Est (Francia); Groupe de Recherche en Économie Théorique et Appliquée (GREThA), Université de Bordeaux, (Francia); CMM – Universidad de Chile (Chile); Centro de Epidemiología y Políticas de Salud (CEPS), Universidad del Desarrollo (Chile); Center for Analysis and Mathematical Modeling Valparaíso (AM2V), Universidad

	Técnica Federico Santa María (Chile); Departamento de Matemáticas, Universidad del Valle (Colombia); Departamento de Matemáticas, Universidad Autónoma de Occidente (Colombia); Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas (REALMA)
--	--

Tipo de producto:	Propuesta de investigación
Nombre General:	Concurso 2017 de CONICYT-Chile – Apoyo a la Formación de Redes Internacionales entre Centros de Investigación
Nombre Particular:	Título: “AM2V-MobiMat Network on Modeling and Control of communicable and infectious diseases”
Ciudad y fechas:	Santiago, Chile; Noviembre 21, 2017 (fecha de aprobación)
Participantes:	Olga Vasilieva, Héctor Ramírez Cabrera
Sitio de información:	http://www.conicyt.cl/pci/2017/08/apoyo-a-la-formacion-de-redes-internacionales-para-investigadoresas-en-etapa-inicial/
Formas organizativas:	CMM – Universidad de Chile (Chile); Center for Analysis and Mathematical Modeling Valparaíso (AM2V), Universidad Técnica Federico Santa María (Chile); Departamento de Matemáticas, Universidad del Valle (Colombia); Departamento de Matemáticas, Universidad Autónoma de Occidente (Colombia); Red Europa – América Latina en Matemáticas Aplicadas (REALMA)

La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:



Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones