

La investigación reportada en esta tesis es parte de los programas de investigación del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California).

La investigación fue financiada por el CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías).

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo o titular de los Derechos de Autor.

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Ecología Marina**

**Estimación de los flujos de materia y energía en la Reserva de
Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes,
mediante un modelo de balance de masas**

Tesis
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestra en Ciencias

Presenta:

Ana Lilia Perea Rojas

Ensenada, Baja California, México
2023

Tesis defendida por
Ana Lilia Perea Rojas

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera
Director de tesis

Dr. Omar Valencia Méndez

Dr. Jaime Herrera Barrientos

Dra. Brenda Berenice Hermosillo Núñez



Dr. Rafael Andrés Cabral Tena
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

Dra. Ana Denise Re Araujo
Directora de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Ana Lilia Perea Rojas** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestra en Ciencias en Ecología Marina.

Estimación de los flujos de materia y energía en la Reserva de Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes, mediante un modelo de balance de masas

Resumen aprobado por:

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera
Director de tesis

La Reserva de la Biósfera de Bahía de Los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes (RB-BLACS) es un área natural protegida que provee de distintos servicios ambientales a los pobladores de la comunidad de Bahía de Los Ángeles. Tiene una gran importancia ecológica por la diversidad de especies que habitan en ella y para las especies migratorias que la utilizan, algunas de las cuales se encuentran enlistadas dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001. Con objeto de estimar el efecto de la pesca sobre el ecosistema se construyó un modelo de balance de masas empleando Ecopath con Ecosim. Mediante una revisión documental, se definieron 32 grupos funcionales (GF) y se construyó una matriz de dietas. El modelo se parametrizó con los valores de biomasa (B), relación producción/biomasa (P/B) y se obtuvieron los valores de eficiencia ecotrófica (EE) y relación producción/consumo (P/Q). El rendimiento total del sistema (TST) fue de 13,689 t/km²/año. El nivel trófico de la captura de 3.48 y la producción neta del sistema de 4,641 t/km²/año. La matriz de impactos tróficos mixtos muestra que los grupos que sufren mayor impacto negativo por los Tiburones son los Odontocetos, Mistícetos y Tortugas. Se simuló los cambios en la biomasa relativa de los GF bajo escenarios de incremento y decremento del esfuerzo pesquero (5 y 10%) y no pesca, en un lapso de 10 años. Se encontró que los cambios en el esfuerzo pesquero de Elasmobranquios y los Peces de escama son los que mayor efecto tienen sobre otros GF. Resalta que suspender la pesca tendría poco efecto, tanto positivo como negativo (2-3%) sobre la biomasa relativa de los GF, excepto Tiburones y rayas, que incrementarían 245 y 124%, respectivamente. Este modelo podría utilizarse para la toma de decisiones en el manejo y conservación del ecosistema.

Palabras clave: Ecopath con Ecosim, socio-ecosistema, Golfo de California, pesquerías, conservación.

Abstract of the thesis presented by **Ana Lilia Perea Rojas** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology.

Estimation of the flows of matter and energy in Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes Reserve, using a mass balance model

Abstract approved by:

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera
Thesis Director

The Biosphere Reserve of Bahía de Los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes (RB-BLACS) is a natural protected area that provides different environmental services to the residents of the community of Bahía de Los Ángeles. It has great ecological importance due to the diversity of species that inhabit it and the migratory species that use it, some of which are listed within NOM-059-SEMARNAT-2001. To estimate the effect of fishing on the ecosystem, a mass balance model was built using Ecopath with Ecosim. Through a documentary review, 32 functional groups (GF) were defined, and a diet matrix was constructed. The model was parameterized with the values of biomass (B), production/biomass ratio (P/B) and the values of ecotrophic efficiency (EE) and production/consumption ratio (P/Q) were obtained. The total system throughput (TST) was 13,689 t/km²/year. The trophic level of the capture is 3.48 and the net production of the system is 4,641 t/km²/year. The matrix of mixed trophic impacts shows that the groups that suffer the greatest negative impact from Sharks are Odontocetes, Mysticetes and Turtles. Changes in the relative biomass of GF were simulated under scenarios of increase and decrease in fishing effort (5 and 10%) and no fishing, over a period of 10 years. It was found that changes in the fishing effort of Elasmobranchs and Finfish have the greatest effect on other GFs. It highlights that suspending fishing would have little effect, both positive and negative (2-3%) on the relative biomass of GFs, except for sharks and rays, which would increase 245 and 124%, respectively. This model could be used for decision making in the management and conservation of the ecosystem.

Keywords: Ecopath with Ecosim, socio-ecosystem, Gulf of California, fisheries, conservation.

Dedicatoria

Dedico este trabajo especialmente a todas aquellas personas que están interesadas en la conservación de los ecosistemas y de la biodiversidad, a quienes se esfuerzan un poco más por conocer y sentir nuestro entorno natural. A las personas que están poniendo de su parte para que su estancia y la de otros seres humanos, pueda ser en armonía con las otras formas de vida en nuestro hogar, la Tierra. No somos seres independientes de la biodiversidad que nos rodea ni de la belleza que adorna los paisajes naturales. Dependemos de otras formas de vida y de nosotros conviviendo en comunidad.

P.D. Nunca dejen de tener curiosidad.

Agradecimientos

Estoy especialmente agradecida al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico que me proporcionó sustento para poder realizar mis estudios de posgrado de manera efectiva (CVU 12355). Por su parte agradezco al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) por ser la base para llevar a cabo esta investigación y en donde recibí los conocimientos que son esenciales en la comprensión de la ecología marina, además de conocimiento especializado en ramos de la ecología marina de mi interés.

Por su parte, gracias a mi director de tesis, el Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera, quien me orientó y asesoró de manera asertiva siempre que lo necesité para llevar a cabo este proyecto. A la Dra. Brenda Berenice Hermosillo Núñez por su especial orientación para el uso y comprensión del software *EwE*, al Dr. Omar Valencia Méndez y al Dr. Jaime Herrera Barrientos por la participación como miembros del comité de esta tesis, por sus observaciones, comentarios y sugerencias. Gracias también al coordinador de posgrado, el Dr. Rafael Andrés Cabral Tena por su apoyo académico.

A quienes me dieron apoyo moral, especialmente a Joleth y Nora, gracias por ser y estar, por ser parte de mi bienestar y mi crecimiento personal. Gracias infinitas a mi mamá por impulsarme en la vida y en la academia, a mis amigas, especialmente a Male, por su apoyo moral, emocional y académico, gracias por los abrazos. Gracias a Sandra, Rodrigo, Luis Jaques, Grecia, Mily, Alberto, Mau y Claudia que también hicieron mi estancia más amena en Ensenada; gracias a mis amigas de Texcoco Nahomi, Diana y Karla por ser mi apoyo emocional y escucha; a mi papá, a Monse y Alanis por los buenos ratos y las risas. A todas, las quiero y las abrazo con el alma.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	ix
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Importancia de la conservación de los ecosistem.....	1
1.2 Zona marina de la Reserva de la Biósfera de Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes.....	2
1.3 Pesca ribereña.....	2
1.4 Pesca deportiva.....	3
1.5 Efectos de la pesca.....	4
1.6 Modelo de balance de masas.....	6
1.7 Antecedentes.....	7
1.8 Justificación.....	11
1.9 Hipótesis.....	11
1.10 Objetivos.....	11
1.10.1 Objetivo general.....	11
1.10.2 Objetivos específicos.....	12
Capítulo 2. Metodología.....	13
2.1 Área de estudio.....	13

2.2 Modelo de balance de masas.....	14
2.3 Definición de los Grupos Funcionales (GF)	18
2.4 Matriz de dietas	19
2.5 Balance del modelo.....	19
2.6 Caracterización trófica y atributos del ecosistema	21
2.7 Análisis de redes del sistema	22
2.8 Simulaciones.....	24
Capítulo 3. Resultados	25
Capítulo 4. Discusión.....	33
Capítulo 5. Conclusiones	38
Literatura citada	40
Anexos	46

Lista de figuras

Figura	Página
Figura 1. Cambios de gran amplitud de los niveles tróficos medios en los desembarques pesqueros. (A) Pacífico; (B) Antártida (tomado y modificado de Pauly et al., 1998).....	6
Figura 2. Esquema de un modelo de balance de masa y energía. La flecha en ambos sentidos indica que el modelo representa el flujo de entrada y de salida de masa (tomado de Frausto, 2012).....	7
Figura 3. Diagrama de la red trófica de la RB-BLACS. Cada círculo representa un Grupo Funcional (GF). Del lado izquierdo los números del 1 al 5 indican el Nivel Trófico de cada GF. El tamaño de los círculos representa la biomasa de cada grupo y las líneas representan la relación entre dos grupos, su grosor la cantidad de biomasa depredada.	28
Figura 4. Impactos tróficos mixtos. impactos relativos entre los grupos funcionales y sus pesquerías relacionados a la depredación y competencia. El impacto de los tonos azules es positivo (más tenue es menor) y rojos son negativos (más tenue menor impacto). Los grupos impactados se encuentran en la parte superior de la tabla y los que impacta del lado derecho.	29
Figura 5. Agregación flujos tróficos (Espina de Lindeman) por niveles tróficos (NT) discretos para el sistema la RBLA (ton/km ² /año ¹). La Producción Primaria se encuentra en la caja (P). Los flujos saliendo de la parte superior de los compartimentos representan las exportaciones y capturas, y, los flujos saliendo del fondo del compartimento representan la respiración. El reciclaje de la materia no viva es a través del detrito (D). Bajo las líneas de salida de cada caja, se muestran las eficiencias tróficas (ET) anuales y en la parte superior de las ET están los valores de depredación (ton/km ² /año ¹). En las esquinas izquierdas inferiores de las cajas está la biomasa en (ton/km ² /año ¹). Y las líneas en los costados inferiores representan el flujo del detrito.	30
Figura 6. Comparación de los parámetros que miden la madurez en el sistema: Total System Throughput (TST); Producción Primaria Neta (PPN); Tasa de Producción Primaria por Biomasa (PP/B); Tasa de Biomasa/Total System Throughput (B/TST); Ascendency y Overhead. De los ecosistemas de la RB-BLACS, GC (norte y centro), Bahía de La Paz, Norte del Golfo de California, Noroeste del Golfo de California y un sistema maduro ideal.	35
Figura 7. Pre-bal estimado por <i>EwE</i>	48
Figura 8. Índice de Libralato (2006) de grupos funciones clave dentro del sistema. Cada círculo representa a un GF. en el ecosistema.	49

Lista de tablas

Tabla	Página
Tabla 1. Descripción de las variables artes de pesca reportadas como más utilizadas en la RB-BLACS (tomada y modificada de Ruíz, 2016).....	5
Tabla 2. Especies capturadas con las artes de pesca utilizadas en Bahía de los Ángeles (tomada y modificada de Ruíz, 2016).....	9
Tabla 3. Parámetros de entrada para la construcción de un modelo <i>EwE</i>	15
Tabla 4. Parámetros estimados del modelo balanceado en <i>EwE</i>	26
Tabla 5. Parámetros del sistema de RBLA estimados por <i>EwE</i>	27
Tabla 6. Cambios en la biomasa relativa de los diferentes grupos funcionales por incremento y reducción del esfuerzo pesquero (EP) de Elasmobranquios y Peces de escama.....	32
Tabla 7. Matriz de dietas utilizada en el input de <i>EwE</i>	46
Tabla 8. Fuentes utilizadas para la información de los parámetros de entrada para la construcción del sistema y la matriz de dietas.....	47

Capítulo 1. Introducción

1.1 Importancia de la conservación de los ecosistemas

Los ecosistemas del planeta están siendo afectados por las actividades antropogénicas que se han intensificado desde el inicio del Antropoceno con la llegada de la Revolución Industrial (aprox. 1867); la acelerada destrucción y fragmentación de los hábitats, los cambios de uso de suelo, la alteración de los ciclos biogeoquímicos, la introducción de especies exóticas y la alteración de las condiciones climáticas, han fomentado la necesidad de crear cada vez más Áreas Naturales Protegidas (ANP) en las últimas décadas (Sala et al., 2000; SEMARNAP, 1996). Las ANP en México, están definidas como: *“Porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido alterado significativamente por la actividad humana y proporcionan servicios ambientales de diversos tipos. El decreto presidencial que formaliza la creación de ANP especifica el uso del suelo y las actividades que pueden llevarse a cabo en ellas. Las ANP están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, según categorías establecidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente”* (SEMARNAP, 1996).

Los ecosistemas proporcionan diversos servicios ambientales a las sociedades humanas como alimento, áreas para realizar actividades recreativas, turísticas e investigación científica, Producción Primaria y ciclos biogeoquímicos (CONANP, 2014; SEMARNAP, 1996). Por esto, la principal finalidad de la conservación es proteger y conservar los recursos naturales que tienen importancia especial, incluyendo especies de flora, fauna o ecosistemas representativos en distintos niveles espaciales a nivel nacional e internacional (Anderies et al., 2004; Arévalo de Azrak, 2002; Díaz et al., 2006; Sala et al., 2000; SEMARNAP, 1996). En el caso particular de los ecosistemas marinos y los servicios ambientales que proveen, es crucial mantenerlos dado que hay comunidades costeras que dependen y subsisten de estos recursos (Barbier et al., 2011).

En México se han definido distintas Áreas Naturales con porciones de área marinas para su conservación como es el caso de una de las Reservas de la Biósfera, llamada “Reserva de la Biósfera Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes” (RB-BLACS); en esta Reserva, el avistamiento de tiburón ballena (*Rhincodon typus*), los recursos pesqueros, la pesca deportiva y el turismo son las principales actividades que generan ingresos económicos para los pobladores de la costa de esta región (CONANP, 2014).

1.2 Zona marina de la Reserva de la Biósfera de Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes

La zona marina de la RB-BLACS, fue declarada Área Natural Protegida en el año 2007, con la categoría de reserva de la biosfera, comprendiendo la zona federal marítimo terrestre correspondiente a la porción de la costa oriental de la península de Baja California, ubicada frente al Municipio de Ensenada, en el Estado de Baja California (DOF, 2007). Esta reserva se encuentra en el alto Golfo de California que forma parte del Golfo de California (GC), conocido por ser uno de los Grandes Ecosistemas Marinos más productivos a nivel mundial con un gran potencial pesquero y una gran diversidad (DOF, 2013; Mercado et al., 2017). En la RB-BLACS se encuentran zonas de surgencias y una red trófica compleja (CONANP, 2014). Sus recursos naturales son de gran importancia en cuanto a la vida silvestre y estos benefician a los habitantes de la región, el ANP constituye el hábitat de especies en riesgo, endémicas y migratorias; es un área de refugio, alimentación, descanso y reproducción de especies de fauna silvestre; se encuentran humedales costeros y arrecifes rocosos; es fuente de recursos marinos para actividades pesqueras; sustenta actividades económicas y recreativas; y es zona de desove de una de las especies de importancia comercial, la anchoveta (*Engraulis mordax*) (Green e Hinojosa, 1997; tomado de CONANP, 2014).

Las especies en riesgo que se pueden encontrar en la RB-BLACS y que están enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT, de acuerdo al programa de manejo del BLA de CONANP (2014), son: el rorcual común (*Balaenoptera physalus*), rorcual tropical (*Balaenoptera edeni*), ballena azul (*Balaenoptera musculus*), ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), orca (*Orcinus orca*), ballena gris (*Eschrichtius robustus*), cachalote (*Physeter macrocephalus*), delfín de rostro largo (*Delphinus capensis*), calderón de aletas cortas (*Globicephala macrorhynha*), lobo marino de California (*Zalophus californianus*); peces como rayas (*Rhinobatos productus*, *Dasyatis brevis*, *Myliobatis californica*, *Myliobatis longirostris* y *Gymnura marmorata*), Tiburones (*Squatina californica*, *Triakis semifasciata*, *Mustelus californicus* y *Mustelus henlei*), el tiburón ballena (*Rhincodon typus*); y, las tortugas marinas (*Chelonia mydas*, *Caretta caretta*, *Lepidochelys olivacea*, *Eretmochelys imbricata* y *Dermochelys coriacea*).

1.3 Pesca ribereña

Actualmente en la comunidad de Bahía de Los Ángeles, las actividades más practicadas en la zona marina de la RB-BLACS son la pesca ribereña o artesanal, la pesca deportiva y el turismo, siendo las primeras las

que determinan los patrones del uso humano del área (Casillas, 2008; Heckel et al., 2008; Torreblanca, 2008). Las pesquerías ribereñas o artesanales son la principal actividad económica en el área; la flota pesquera del poblado está constituida por 42 embarcaciones menores, con esloras de 22 a 25 pies, impulsadas con motores fuera de borda de 60-110 HP. Aproximadamente por cada embarcación de Bahía de Los Ángeles existe un mínimo de tres embarcaciones provenientes de Bahía Kino y Puerto Libertad, Sonora, que pescan en forma ilegal en esta región (CONANP, 2014). Con las pesquerías se extraen aproximadamente 52 recursos pesqueros, sin embargo, no todos están presentes durante el año (CONANP, 2014).

Actualmente la mayor extracción de estos recursos se lleva a cabo en las aguas circundantes a la Isla Ángel de La Guarda y en los Canales de Ballenas y de Salsipuedes, desde Punta La Asamblea y Puerto Refugio en el norte de la Isla Ángel de La Guarda hasta Punta San Francisquito, incluyendo la Ensenada de Guadalupe, Isla Coronado, Punta La Gringa, Bahía de Las Ánimas, Isla Las Ánimas, Bahía San Rafael y El Barril. Dentro de esta área se encuentran establecidos 37 campos pesqueros, 12 de ellos en la península y 25 en las islas (CONANP, 2014).

1.4 Pesca deportiva

La pesca deportiva se practica principalmente en la Región de las Grandes Islas del GC, esta actividad se enfoca principalmente en 33 especies pelágicas y de ambientes arrecifales, siendo las principales: el jurel (*Seriola lalandi*), la cabrilla extranjera (*Paralabrax auroguttatus*), el aguado o bocón (*Opistognathus rhomaleus*), la cabrilla arenera (*Paralabrax maculatofasciatus*), el bonito (*Sarda orientalis*), el cochito (*Balistes polylepis*), el blanco (*Caulolatilus princeps*), la cabrilla sardinera (*Mycteroperca rosacea*), la barracuda (*Sphyraena lucasana*), la vieja (*Bodianus diplotaenia*) y el dorado (*Coryphaena hippurus*). La pesca submarina incide principalmente sobre serránidos (*Mycteroperca* sp., *Epinephelus* sp.), carángidos y balístidos, representando en este momento el principal esfuerzo pesquero sobre serránidos de gran tamaño. Toda la RB-BLACS es utilizada por la pesca deportiva. El jurel, se considera la especie emblemática de la pesca deportiva local, esta es una especie migratoria que se encuentra en primavera. En el verano la pesca deportiva se enfoca en el aguado, el bonito y la cabrilla extranjera. Durante el otoño las especies de mayor captura son el aguado, el bonito, la cabrilla extranjera, la cabrilla sardinera, el jurel y el dorado. En el invierno la pesca deportiva incide principalmente sobre el blanco, el aguado, la cabrilla extranjera y el jurel (CONANP, 2014).

1.5 Efectos de la pesca

Dentro de la zona marina de la RB-BLACS, se utilizan diferentes artes de pesca, entre ellas las más utilizadas son el buceo con hooka, uso de trampas, redes y cimbras, y encierro; aunque de manera constante cuando no se encuentra el recurso pesquero objetivo (de mayor valor comercial), los pescadores suelen pescar especies no objetivo y considerarlas como especies de captura incidental, que tienen un menor valor comercial que las primeras e incluso algunas de ellas se encuentran bajo algún criterio de conservación señalado en la NOM-059-SEMARNAT-2001 como es el caso las tortugas marinas (Tabla 1). Por otra parte, con el uso de redes generalmente suelen quedar atrapadas algunas especies de acompañamiento que tienen una relación ecológica con las especies objetivo y que son consideradas por los pescadores como pesca incidental, esta arte de pesca está dirigida principalmente a la pesca de Tiburones, jurel, lenguado, meros y pargos, siendo los primeros, el recurso de mayor importancia comercial para los pescadores en la RB-BLACS (Tabla 1) (Ruíz, 2016).

Por otra parte, también se ha analizado que de los pescadores que se encuentran registrados en el ordenamiento pesquero y que realizan extracción pesquera en la Región de las Grandes Islas en donde se encuentra la Isla Ángel de la Guarda (parte de la RB-BLACS), son solo la mitad de los que realizan actividad pesquera; es decir, que la intensidad de pesca está siendo el doble de la que reportan en la región. En este sentido, los pescadores que pescan de manera no regulada generan impactos negativos en las poblaciones de las poblaciones que se aprovechan y esto también repercute en el precio los productos; por esto, es de suma importancia generar un ordenamiento multiespecífico que genere propuestas en las que se tomen en cuenta a los pescadores irregulares en el aprovechamiento de tal manera que si se excede el esfuerzo pesquero permitido, se haga una diversificación en la captura en la región o realizar actividades productivas como acuacultura o turismo (Melo et al, 2018).

La pesca afecta a los ecosistemas marinos al incrementar la mortalidad de las especies objetivo y las que se capturan de manera incidental (Dronkers, 2020; Jennings y Kaiser, 1998). Además, se afectan las poblaciones de peces, aves y mamíferos piscívoros, ya que suelen extraer tanto presas como depredadores (Jennings y Kaiser, 1998).

Al disminuir la densidad de las poblaciones de las especies objetivo que se extraen, se pueden ver afectadas las interacciones de competencia y como consecuencia proliferar mayormente las especies no objetivo que no están siendo extraídas en la pesca incidental (Jennings y Kaiser, 1998 tomado de Dronkers, 2020).

Tabla 1. Descripción de las variables artes de pesca reportadas como más utilizadas en la RB-BLACS (tomada y modificada de Ruíz, 2016).

Variable/ arte de pesca	Descripción	Especie objetivo	Captura incidental de menor importancia comercial	Grupos de especies de CI
Trampa	Trampa para pulpo	Pulpo		
	Trampa para crustáceos		Jaiba y langosta	-
	Trampa para peces	Extranjera y blanco	Peces arrecifales, Meros y Pargos	
Red	Red agallera o trasmallo Redes con diferente luz de malla	Tiburones pelágicos Jurel Lenguado y elasmobranquios Meros y pargos	Extranjera y blanco *Peces arrecifales *Lisa y Sierra	Tortugas marinas, lobos marinos, Elasmobranquios, principalmente durante la época de veda en la pesquería de lenguado
Buceo	Buceo semiautomático tipo "Hooka"	Pulpo, pepino *Bivalvos	*Peces arrecifales Meros y Pargos Jaiba y Langosta	Almeja burra
Cimbra	Longitud de 400 brazas, con anzuelos de tres brazas de separación cada uno	Baqueta (meros y pargos)	Tiburones pelágicos, Extranjera y blanco	Tortugas marinas, lobos marinos y otras especies protegidas Anguila
Encierro	Red con diferente tipo de luz de malla	Lisa, jurel, sierra	Peces pelágicos de interés a la pesca deportiva: bonito, Pámpano, palometa, barrilete, mahi mahi	-

Distintos estudios que se han realizado, demuestran como al iniciarse la pesca de depredadores tope y reducir sus poblaciones, la captura tiende a dirigirse hacia las especies de niveles tróficos menores, con menor importancia comercial y cuyo nivel de dificultad de captura es mayor (Pauly et al., 1998). Por otra parte, también se han hecho análisis de las pesquerías a nivel mundial y se ha observado que el nivel trófico de los desembarques está en declive con una tasa de 0.1 por década (Pauly et al., 1998).

Por otra parte, también se ha observado como en los últimos 50 años las especies extraídas son cada vez de aguas más profundas, y esto ha provocado que la longevidad media de las especies capturadas incremente lo que tiene como consecuencia que las especies con mayor tamaño corporal se vuelvan más vulnerables a la sobrepesca (Dronkers, 2020; Morato et al., 2006), además de tener un efecto cascada en otros niveles tróficos (Dronkers, 2020).

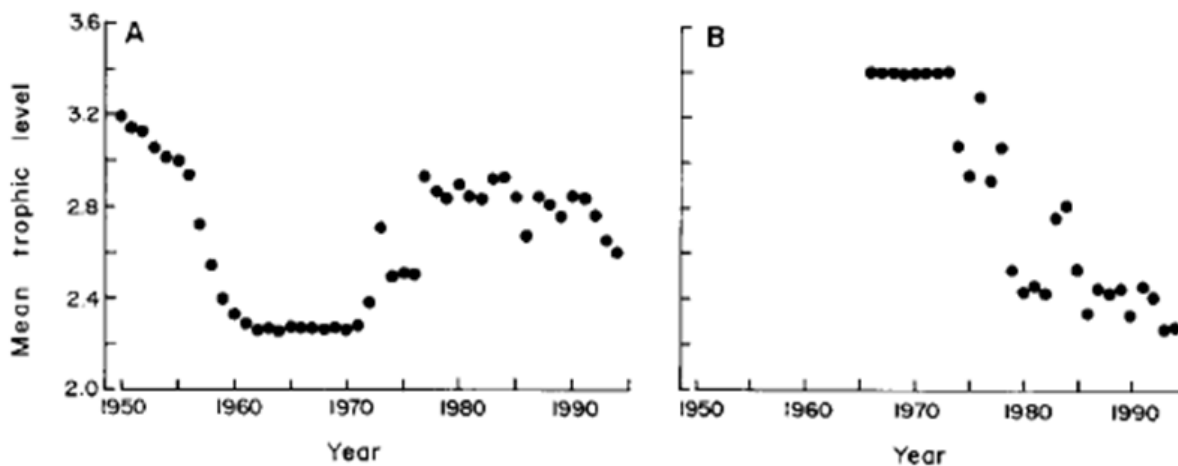


Figura 1. Cambios de gran amplitud de los niveles tróficos medios en los desembarques pesqueros. (A) Pacífico; (B) Antártida (tomado y modificado de Pauly et al., 1998).

El tamaño por edad y la edad de madurez de las especies de peces que se explotan de manera comercial en varios ecosistemas ha cambiado con el tiempo y con esto se pueden ver afectadas su supervivencia y reproducción, los peces de menor tamaño tienden a tener mayores tasas de mortalidad y a producir menos cantidad de huevos que los peces de tallas mayores, además del tamaño esto tiene una consecuencia en la genética de las especies al haber una selección para la reproducción entre individuos con madurez más temprana (Dronkers, 2020).

1.6 Modelo de balance de masas

Los modelos de balance de masas son modelos matemáticos que se basan en el principio de la Primera ley de la termodinámica. Se atribuye el nombre a estos modelos bajo el supuesto de que en un sistema no se puede consumir más de lo que produce; en el caso de un ecosistema marino, podemos encontrar procesos como producción, consumo y acumulación de biomasa, con los cuales se conservará la misma cantidad de materia y energía (Figura 2) (Frausto, 2012). Un ecosistema se compone por diversos Grupos Funcionales (GF) conformados por una o más especies, estos son grupos de organismos, no necesariamente con una

relación filogenética, que desarrollan una función particular en el ecosistema procesando los recursos que hay dentro de este (Blondel, 2003).

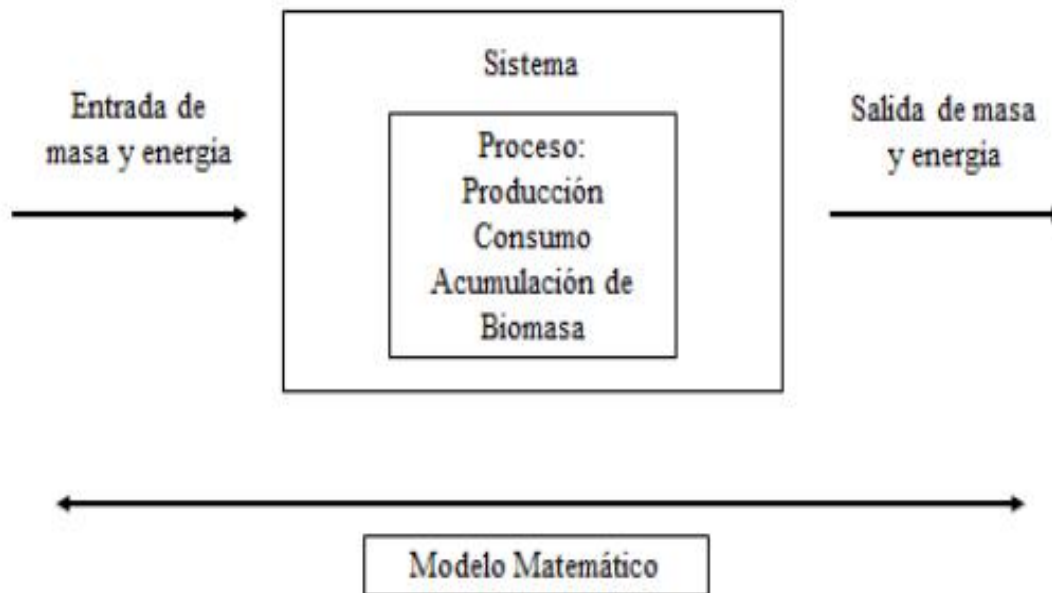


Figura 2. Esquema de un modelo de balance de masa y energía. La flecha en ambos sentidos indica que el modelo representa el flujo de entrada y de salida de masa (tomado de Frausto, 2012).

1.7 Antecedentes

En el GC se han realizado algunos modelos tróficos construidos con Ecopath con Ecosim (*EwE*) con distintas finalidades y en diferentes zonas, sin embargo, para RB-BLACS no existe ninguno previo a este.

Arreguín et al (2002), construyeron un modelo de balance de masas con *EwE* en el cual modelaron un ecosistema bentónico que estaba siendo explotado por pesca de arrastre para extraer camarón durante los años de 1978-1979 en el GC. Consideraron grupos funcionales extraídos por la pesca incidental formando un total de 27 grupos funcionales, los grupos de peces con mayor importancia comercial fueron de las familias Haemulidae, Serranidae y Paralichthyidae.

Los autores mencionan que, debido a que dentro de estas familias se encuentran algunos de los principales depredadores del camarón, la captura incidental podría tener un alto impacto positivo en la población de los camarones. Por otra parte, los parámetros estimados con *EwE* como: Rendimiento del ecosistema, consumo total, flujo de respiración, producción total y *Efficiency* se usaron para hipotetizar que las

condiciones previas del ecosistema (sin sobrepesca o con una baja tasa de pesca), tenían un mayor grado de desarrollo y probablemente una mayor producción.

Los autores Rosas et al. (2008), también construyeron un modelo de balance de masas con *EwE*, aunque este fue para la región central del GC. Su objetivo fue describir la importancia del calamar gigante *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) en el ecosistema de esta región. Utilizaron condiciones de los años 1980 a 2002, para documentar los cambios en la estructura y composición del ecosistema. Los autores construyeron el modelo con 18 grupos funcionales y sus resultados sugieren cambios negativos directos en los principales grupos de presas como cangrejos rojos pelágicos y mictófidios, y efectos positivos en Tiburones, mamíferos marinos, y ballenas esperma. Concluyen que los calamares gigantes tienen un rol importante en el ecosistema y desempeñan un rol importante en el flujo de energía debido a que son parte principal de la dieta de los principales depredadores y porque son depredadores de organismos de niveles tróficos inferiores.

Posteriormente, Hannah et al. (2009), construyeron un modelo *EwE* del Norte del GC en el que analizaron en la red ecológica de esa región con un enfoque en la explotación de recursos y conservación de la biodiversidad incluyendo simulaciones dinámicas. Para realizar su modelo, estos autores agruparon las especies de mayor importancia comercial y altamente en peligro de extinción dentro de 34 grupos funcionales. Sus simulaciones se basaron en cambios de esfuerzo pesquero y permitieron evaluar como impacta la pesca en el ecosistema y sus componentes, especialmente sobre las especies protegidas considerando sus biomazas relativas. Los métodos de optimización se aplicaron con el propósito de minimizar los impactos sociales, económicos y de conservación en las áreas de conflicto. Con los resultados de su investigación, Hannah et al. (2009), mostraron la capacidad de su modelo para representar series temporales de biomasa relativa de cada grupo funcional en el ecosistema. Una de las estrategias más viables que propusieron es la reducción de pesca camaronera, disminución de flotas con redes de enmalle y un incremento en la pesquería artesanal de camarón.

Por su parte, Díaz et al. (2012), realizaron un modelo trófico de un ecosistema integrado del Norte y centro del GC con *EwE* mencionando que es una de las regiones más importantes del GC por sus pesquerías. Estos autores formaron 166 grupos funcionales y tres pesquerías (de mayor importancia) para la zona utilizando datos de abundancia y pesca de la década de los 80s. La madurez del ecosistema medida con los parámetros de *Ascendency*, (véase el término en la metodología) producción y tasa de respiración indicó que el ecosistema tenía una resiliencia alta con un alto potencial de desarrollo.

Ruíz (2016), diseñó una propuesta interdisciplinaria de Manejo Basado en el conocimiento del Ecosistema (EBM) de la RB-BLACS, que es uno de los principales antecedentes respecto a un análisis ecológico de la zona marina de la RB-BLACS. En su trabajo, Ruíz identificó a los principales actores en la RB-BLACS como un primer paso para realizar propuestas de manejo, aunado a una recopilación e integración de información ecosistémica disponible para analizarla mediante la conjugación de metodologías de distintas ciencias, tanto sociales como naturales con distintas herramientas de modelación. Caracterizó los intereses de cada actor prioritario y las zonas de la Bahía en las que se extraen las especies de mayor interés comercial para los pescadores, así como el arte de pesca que utilizan para su captura (Tabla 2).

Tabla 2. Especies capturadas con las artes de pesca utilizadas en Bahía de los Ángeles (tomada y modificada de Ruíz, 2016).

Arte de pesca	Especies capturadas
Buceo	Tiburones demersales: <i>Squatina californica</i> . Peces de escama: <i>Bodianus diplotaenia</i> y Sea bass. Cabrilla: <i>Micteroperca rosacea</i> , <i>Paralabrax</i> spp. Invertebrados: <i>Isostichopus fuscus</i> , <i>Octopus</i> spp. Curvina: <i>Cynoscion</i> spp. Bivalvos: <i>Atrina</i> spp., <i>Pteria</i> spp.
Trampas	Tiburones pelágicos y demersales: <i>S. californica</i> , <i>Isurus oxyrinchus</i> , <i>Heterodontus mexicanus</i> . Peces de escama: <i>Caulilatus princeps</i> , <i>Euthynnus</i> spp., <i>Balistes polylepsis</i> . <i>B. diplotaenia</i> , <i>Caranx</i> spp., <i>Diapterus</i> spp., <i>Eucinostomus</i> spp., <i>Eugerres</i> spp., <i>Gerres</i> spp., Sea bass y Groupers: <i>Epinephelus</i> spp., <i>M. rosacea</i> , <i>Mycteroperca</i> spp. y otras especies. <i>Paralabrax</i> spp. Invertebrados: <i>I. fuscus</i> , <i>Octopus</i> spp. Seriolas: <i>Seriola</i> spp. Curvina: <i>Cynoscion</i> spp. Peces arrecifales: <i>Sphoeroides</i> spp., <i>Scarus</i> spp. Lenguado: <i>Paralichthys californicus</i> . Pargo: <i>Lutjanus</i> spp., <i>Hoplopagrus</i> spp.
Redes	Tiburones pelágicos y demersales: <i>Sphyrna</i> spp., <i>Mustelus</i> spp., <i>Alopias</i> spp., <i>Carcharhinus</i> spp., <i>Prionace</i> spp., <i>Ginglymostoma</i> spp., <i>Heterodontus</i> sp., <i>Isurus</i> spp., <i>Prionace</i> spp., <i>Anisotremus</i> spp., <i>Squatina californica</i> y <i>Ginglymostoma</i> spp. Rayas: <i>Rhinobatos</i> spp., <i>Dasyatis</i> spp., <i>Gymmura</i> spp., <i>Urobatis</i> spp. Peces de escama: <i>Cauliolatus princeps</i> , <i>Euthynnus</i> spp., <i>Caulolatilus princeps</i> , <i>Balistes polylepsis</i> , <i>M. cephalus</i> , <i>Girella</i> spp., <i>C. chanos</i> , <i>Kyphosus</i> spp., <i>B. diplotaenia</i> , <i>Diapterus</i> spp., <i>Eucinostomus</i> spp., <i>Eugerres</i> spp., <i>Gerres</i> spp., <i>Epinephelus</i> spp., <i>M. rosacea</i> , <i>Diapterus</i> spp., <i>Mycteroperca</i> spp. <i>Eucinostomus</i> spp., <i>Menticirrhus</i> spp., <i>M. cephalus</i> , <i>Eugerres</i> spp., lubinas y otras especies. Haemulidae: <i>Haemulon</i> spp., <i>Anisotremus</i> spp. Seriolas: <i>Seriola</i> spp. Sierra peces de corrida: <i>Caranx</i> spp., <i>Trachinotus</i> spp., <i>Scomberomorus</i> spp. Lenguado: <i>P. californicus</i> . Peces arrecifales: <i>Opistognathus rhomaleus</i> , <i>Anisotremus</i> spp., <i>Sphoeroides</i> spp. <i>C. affinis</i> , <i>Hermosilla</i> spp., <i>Sphyraena</i> spp. Mero: <i>Epinephelus analogus</i> . Pepino de mar: <i>I. fuscus</i> . Pargo: <i>Lutjanus</i> spp., <i>Oplopagrus</i> spp.
Pesca deportiva	<i>Coryphaena hippurus</i> , <i>Seriola lalandi</i> , <i>Carnx</i> spp., <i>Sphyrna</i> spp., <i>O. rhomaleus</i> , <i>B. polylepsis</i> , <i>P. auroguttatus</i> , <i>Caulolatilus princeps</i> , <i>C. hippurus</i> , <i>Scomberomorus</i> spp., <i>I. oxyrinchus</i> , <i>Sphyrna</i> spp., <i>H. mexicanus</i> , <i>Mustelus</i> spp., <i>D. dipterura</i> , <i>mycteroperca</i> spp., <i>S. jordani</i> , <i>B. diplotaenia</i> , <i>M. rosacea</i> , <i>S. chilensis</i> , <i>C. affinis</i> , <i>Cynoscion</i> spp., <i>Paralabrax</i> spp., <i>E. labriformis</i> , <i>S. lalandi</i> , <i>Caranx</i> spp., <i>S. japonicas</i> , <i>L. peru</i> , lubinas, <i>S. perico</i> ,

Modeló de manera cualitativa las variables: Artes de pesca, Especies con objetivo pesquero, Especies con objetivo de conservación y Grupo Basal; diseñando modelos específicos por cada polígono de la RB-BLACS. Sus modelos de predicción se analizaron para seleccionar las estrategias que cumplieron con objetivos de conservación y de aprovechamiento como la recuperación de tortugas marinas o la explotación de pulpos. Finalmente, propuso el uso específico de recursos marinos con diferentes artes de pesca considerando la compatibilidad de los intereses de conservación y aprovechamiento en términos ecosistémicos.

Una investigación que se suma a los estudios previos de análisis de ecosistemas en el GC, es la de Arreguín et al. (2017). En esta, los autores analizan todo el golfo como un *Large Marine Ecosystem* (LME). En este estudio, los autores hacen un énfasis en las pesquerías actuales, describen el diagnóstico y sus afectaciones por el cambio climático y las dinámicas ecosistémicas. Los autores, recomiendan que cada una de las tres regiones del LME del GC tenga esquemas de manejo independientes ya que cada una evoluciona de manera diferente. Por otra parte, generar estrategias adaptables a cada una de estas regiones y sus cambios a través del tiempo con la finalidad de mantener ciertas propiedades como la productividad, resiliencia y capacidad de autoorganización; ya que, las actividades de explotación junto con la conservación de los ecosistemas deben coexistir con la finalidad de que los atributos de los ecosistemas se mantengan y garanticen beneficios sociales, sostenibilidad económica y ecológica. Por lo anterior, el manejo debe ser más adaptable y las investigaciones científicas deberían ser el sustento del conocimiento adecuado a las que los ecosistemas necesitan.

Un estudio que integra el GC como una LME y que analiza las propiedades ecosistémicas estimadas por *EwE*, es el de Calderón et al. (2022). En este trabajo compararon tres LMEs del Pacífico Este considerando la estructura trófica de los ecosistemas como un predictor de resiliencia en los ecosistemas en esta región del Pacífico mexicano. Ellos analizaron la madurez del ecosistema asumiendo que la estructura trófica del ecosistema es una aproximación a la madurez y que hay una relación directa entre resistencia y madurez e inversa a la resiliencia. Analizaron modelos de redes publicados reconstruyendo su arquitectura trófica para explorar los efectos potenciales de las variables oceanográficas y los disturbios humanos de 13 modelos ecosistémicos, de los cuales 11 estaban dentro de una LME y dos fueron de islas oceánicas. Por otra parte, mencionan que los ecosistemas del GC son resilientes debido a que tienen un alto nivel trófico medio (que indica una estructura *top-down* en el ecosistema), alta tasa de Producción/Biomasa, y una tasa media de *Ascendency/capacity* (que describe el grado de especialización del ecosistema y es bajo en sistemas maduros) y porque están sujetas a variaciones naturales de productividad. Los ecosistemas con surgencias están en un estado intermedio de madurez, en estos ecosistemas están los del LME de la Costa Central del Pacífico Americano. Con su estudio concluyen que, aunque la arquitectura trófica no funciona

como un indicador directo de madurez, puede facilitar la estimación de la resiliencia del ecosistema e identificar aquellos ecosistemas que puedan resistir futuros impactos.

1.8 Justificación

La RB-BLACS es un Área Natural Protegida (ANP) con una gran riqueza de especies, algunas de las cuales incluidas en la NOM-059 SEMARNAT. Toda vez que la pesca es esencial en la economía de la comunidad, es fundamental explorar si el esfuerzo pesquero es sostenible en el mediano plazo (≈ 10 años). Se eligió este plazo porque los ecosistemas tienen inercia y en consecuencia hay un retraso en la manifestación de la respuesta, por lo que un intervalo más corto tendría mucha incertidumbre por las variaciones naturales del sistema y uno más largo tendría poco sentido práctico. Asimismo, se simularon diferentes escenarios de pesca, modificando el esfuerzo para observar el cambio en la biomasa de los grupos funcionales del ecosistema.

1.9 Hipótesis

En la RB-BLACS se llevan a cabo varias pesquerías, todas con diferente esfuerzo y nivel de inspección y vigilancia. Se presume que la pesca podría influir negativamente la biomasa no solo de las especies sujetas a aprovechamiento sino del flujo de materia y energía del ecosistema.

Una reducción en la pesca de las especies clave podría tener efectos positivos en las biomásas de otros grupos funcionales en un lapso de 10 años.

1.10 Objetivos

1.10.1 Objetivo general

Simular el efecto de la pesca sobre la biomasa de los grupos funcionales y del flujo de materia y energía en el ecosistema, en el mediano plazo, mediante un modelo de balance de masas, con el fin conservar los recursos pesqueros a mediano plazo para el beneficio de sus habitantes y el ecosistema.

1.10.2 Objetivos específicos

- Evaluar el flujo de materia y energía dentro de la RB-BLACS.
- Estimar los cambios en las biomásas relativas de las especies de importancia pesquera en el ecosistema en escenarios con diferentes esfuerzos pesqueros en 10 años.
- Sugerir una alternativa de esfuerzo pesquero para que la pesca se realice de manera sostenible en la RB-BLACS.

Capítulo 2. Metodología

2.1 Área de estudio

La zona marina de la RB-BLACBS, se encuentra en la región del GC que se conoce como la Región de las Grandes Islas (RGI) y tiene una extensión total de 387,957 has. (Danemann y Saenz, 2008; Lavín et al., 1997). Bahía de los Ángeles (BLA) se encuentra al sureste del municipio de Ensenada, Baja California, es un poblado pesquero de 590 habitantes (INEGI, 2010), siendo la principal comunidad usuaria de la RB-BLACS. Esta ANP fue decretada en el año 2007 como Reserva de la Biósfera por iniciativa de sus pobladores (Danemann y Ezcurra, 2008) aunque el plan de manejo se publicó años después de su conformación en el año 2014 (CONANP, 2014).

Entre la Isla Ángel de la Guarda y la costa peninsular, se localiza el Cana de Ballenas (CB) (Lavín et al., 1997), esta zona es de gran importancia ya que en esta ocurren distintos procesos oceanográficos que desempeñan un papel importante para la zona costera; en esta región ocurre una alta mezcla de aguas profundas y superficiales que se intensifican cada invierno, y en conjunto con las condiciones oceanográficas y sus procesos fisicoquímicos, la zona presenta una productividad primaria (Roden, 1958; Tershy et al., 1991; Torres, 2000).

La RB-BLACBS se comprende por subzonas delimitadas en el Decreto en el que se declara al ANP con la categoría de Reserva de la Biósfera; y con base en el art. 47 Bis II, de la LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA) están orientadas a la sustentabilidad, y se subdividen de la siguiente manera:

Las **zonas de amortiguamiento** comprenden el 99.95% de la superficie total de la RB-BLACS (área total de 387,750 has), dentro de esta hay subzonas cuyos objetivos varían en función con las actividades de aprovechamiento para la región (CONANP, 2014).

Las **zonas núcleo** comprenden el 0.05% de la superficie total de la RB-BLACS (área total de 206.92 has), se permite la investigación científica no invasiva, el monitoreo, estas zonas están cerradas a la pesca, y están conformadas por: Campo Polilla y Estero las Caguamas Este y Oeste; Ensenada Los Choros y El Pescador-El Torzón y Estero la Mona (CONANP, 2014).

2.2 Modelo de balance de masas

EwE, es utilizado como herramienta para modelar y analizar sistemas acuáticos explotados. *EwE* modela el flujo y balance de las masas de la red trófica de un ecosistema, los impactos en el pasado o en el futuro se pueden modelar siendo considerados en *Ecosim* como pesca y disturbios al medio ambiente (Christensen y Walters, 2004). *EwE*, tiene la bondad de poder construir modelos de balance de masas de la red trófica de un ecosistema cuando se encuentra en un estado “estable”, tomando como referencia un continuo de entradas y salidas de masa y energía en el ecosistema en determinado tiempo (Christensen y Pauly, 1992).

Los parámetros que estima *EwE*, nos sirven para conocer propiedades de un ecosistema que nos pueden indicar el grado de desarrollo en el que se encuentra, su grado de madurez, cantidad de flujos dentro del sistema, su complejidad (mediante la cantidad y diversidad de interacciones entre los componentes), capacidad de resistencia ante perturbaciones, cantidad de enlaces entre niveles tróficos, cantidad de materia y energía que recircula en el ecosistema, describe cuántas veces una unidad de energía puede ser transferida entre distintos grupos funcionales y estimar el nivel trófico medio de captura del sistema por parte de las pesquerías (véase en Hermosillo et al, 2023).

EwE se basa en ecuaciones lineales para representar los GF del ecosistema a modelar, en este se consideran los parámetros de la Tabla 3 (Christensen y Walters, 2004).

La Eficiencia Ecotrófica (*EE*), se define como la proporción de la producción del GF (*i*) que es utilizada en el sistema (Kozlovsky, 1968) y por definición presenta valores entre cero y uno. Considerando el estado “estable” del modelo y obedeciendo a la Ley de la Conservación de la masa y la energía, la Producción del GF (*i*) es igual al consumo de (*i*), por lo tanto, la ecuación básica de *EwE* es la ecuación que se presenta a continuación:

Ecuación 1:

$$\text{Producción } (i) - \text{Consumo } (i) - \text{Exportación del Ecosistema } (i) = 0 \quad (1)$$

Tabla 3. Parámetros de entrada para la construcción de un modelo *EwE*.

Parámetro	Describe	Unidades
B_i	Biomasa del grupo funcional (i)	t/km ²
$(P/B)_i$	Relación Producción/Biomasa para (i)	año
$(Q/B)_i$	Relación Consumo/Biomasa para el GF (i)	año
DC_{ji}	Composición de la dieta, fracción de la dieta del depredador (j) con la que contribuye la presa (i)	adimensional
Y_i	Tasa de Pesca total sobre el GF (i)	t/km ² /año
EE_i	Eficiencia Ecotrófica del grupo (i)	adimensional

Lo que se describe mejor en la ecuación 2 como:

$$(P_i - M0_i) - (B_i \times M2_i) - (EX_i) = 0 \quad (2)$$

En donde:

Parámetro	Significado	Unidad
P_i	Tasa total de producción del grupo funcional (i)	(t/km ² /año)
$M0_i$	Tasa instantánea de “otra mortalidad” para el GF (i)	(año ⁻¹)
B_i	Biomasa del grupo (i)	(t/km ²)
$M2_i$	Tasa instantánea de depredación para el GF (i)	(año ⁻¹)
EX_i	Exportación total del grupo (i) fuera del ecosistema	(t/km ² /año)

La tasa de producción total (P_i) se expresa en la ecuación 3 como:

$$P_i = B_i(P/B)_i \quad (3)$$

En donde:

$(P/B)_i$ es la proporción de la tasa de producción total para la biomasa del GF (i) y esta relación es igual a la tasa instantánea de mortalidad total (Z), en condiciones de equilibrio para un tiempo dado, para las especies cuyo crecimiento se pueda describir según la ecuación de Von Bertalanffy (Allen, 1971).

Las otras causas de mortalidad del GF (i) que son independientes a la pesca y a la muerte por depredación, tales como muerte por enfermedad o por senescencia se denominan como MO_i y se expresan en la ecuación 4 como:

$$MO_i = B_i(P/B)_i(1 - EE_i) = P_i(1 - EE_i) \quad (4)$$

En donde:

Símbolo	Significado	Unidad
MO_i	Tasa instantánea de "otra mortalidad" para el GF (i)	(año ⁻¹)
B_i	Biomasa del grupo (i)	(t/km ²)
$(P/B)_i$	Relación Producción/Biomasa del grupo (i)	(año ⁻¹)
EE_i	Eficiencia Ecotrófica (i)	(adimensional)

La mortalidad del GF (i) debido a la depredación de todos los depredadores (j) se define en la ecuación 5 como:

$$M2_i = \sum_{j=1}^n \frac{Q_j \times DC_{ji}}{B_i} \quad (5)$$

En donde:

Símbolo	Significado	Unidad
$M2_i$	Tasa instantánea de depredación para el GF (i)	(año ⁻¹)

Q_j	Tasa de consumo total por el grupo del depredador (j)	(t/km ² /año)
DC_{ji}	Composición Dieta, fracción de la dieta del depredador (j) con la que contribuye la presa (i)	(adimensional)
B_i	Biomasa del grupo (i)	(t/km ²)

La ecuación anterior, es crucial ya que permite construir la red trófica, al entrelazar al depredador (j) con la o las diferentes presas (i).

La Exportación total (EX_i) del grupo (i) fuera del ecosistema se calcula con la ecuación 6:

$$EX_i = Y_i + E_i + BA_i \quad (6)$$

En donde:

Símbolo	Significado	Unidad
Y_i	Tasa de Pesca total sobre el GF (i)	(t/km ² /año)
E_i	Tasa de migración neta (emigración-inmigración) para el grupo (i)	(t/km ² /año)
BA_i	Tasa de biomasa acumulada (crecimiento) para el GF (i)	(t/km ² /año)

Por otro lado, la ecuación 7, es la principal para el diseño de las simulaciones en *Ecosim* (Christensen y Walters, 2004):

$$\frac{dB_i}{dt} = g_i \sum_j Q_{ji} - \sum_j Q_{ij} + I_i - (MO_i + F_i + e_i) \times B_i \quad (7)$$

En donde:

Símbolo	Significado	Unidad
dB_i/dt	Tasa de cambio de la biomasa del GF (i) durante un intervalo de tiempo dt	(t/km ² /año)

g_i	Eficiencia de crecimiento neto del grupo (i) es decir, la relación (Producción/Consumo)	(adimensional)
Q_{ij}	Tasa de consumo del depredador (j) sobre la presa (i)	(año)
l_i	Tasa de inmigración de (i)	(t/km ² /año)
MO_i	Tasa de “otra mortalidad” para el GF (i)	(año)
F_i	Tasa de mortalidad por pesca del GF (i)	(año)
e_i	Tasa de emigración para (i)	(t/km ² /año)
B_i	Biomasa del grupo (i)	(t/km ²)

Las dos sumatorias estiman las tasas de consumo, la primera el total del consumo del grupo i y la segunda la depredación de todos los depredadores sobre el mismo grupo. Las tasas de consumo de depredador sobre la presa (Q_{ij}) se calculan con base en la teoría de “la arena de forrajeo”, en la que se consideran las biomazas de cada grupo (B_i) como vulnerables o no vulnerables (ver en Walters y Christensen, 2007).

2.3 Definición de los Grupos Funcionales (GF)

Las especies que se utilizaron para construir los GF fueron tomadas del listado de especies del Programa de Manejo actual de la RB-BLACS (2014). Se seleccionaron las especies de importancia comercial consideradas por el estudio de Ruíz (2016) y a las enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT. Se consideraron a todas las especies de mamíferos marinos reportados en la RB-BLACS. Posteriormente para construir el modelo de balance de masas, se buscó agrupar a las especies en un número de Grupos Funcionales (GF) que representara de mejor manera al ecosistema de la zona marina de la RB-BLACS, conservando la practicidad y funcionalidad del modelo, es decir, entre 15 y 50 grupos (Christensen y Walters, 2004).

Una vez definidas las especies a considerar y estimar un aproximado de grupos funcionales que se utilizarían, se definió la conformación de los grupos funcionales utilizando como guía los trabajos

realizados por otros autores que han utilizado *EwE* para construir modelos de balance de masas en el GC (Anexo 1).

Los datos de biomasa y de P/B de cada grupo funcional se tomaron de distintas fuentes bibliográficas que tuvieran ya sea los mismos grupos funcionales, las mismas especies o similares en el mismo hábitat o alguno dentro con características similares dentro del GC (Anexo 1). Para algunas especies de peces conspicuos como *Bodianus diplotaenia*, *Calamus brachysomus*, *Haemulon sexfasciatum*, se lograron obtener biomásas estimadas mediante buceo en la zona de la Isla de la Llave perteneciente a la RB-BLACS entre los años 2021-2022 y se integraron a cada grupo funcional correspondiente (en Chiriboga, 2023).

La biomasa de la comunidad íctica se obtiene con la ecuación 8:

$$W = a \cdot L^{^b} \quad (8)$$

En donde:

W = Peso (g)

L = Longitud total del organismo (cm)

a y b = Coeficientes de crecimiento

2.4 Matriz de dietas

La construcción de la matriz de dietas se realizó en Excel correlacionando a cada GF de depredadores con los de las distintas presas para crear la red trófica del ecosistema. Esta información también se obtuvo de fuentes bibliográficas y de otros modelos de balance de masas realizados con *EwE* (Anexo 2).

2.5 Balance del modelo

En el programa se llenaron los campos de “*Model parameters*” de la sección modelo (*model*), en la cual se incluye el tamaño del área de la RB-BLACS, y en la sección “*general options*” se consideraron las unidades de tiempo (anual) y la biomasa (t/km²). Posteriormente en la pestaña de “Basic Input”, se definieron los

grupos funcionales (GF) y la función que cada uno tiene dentro del ecosistema: si producen, consumen o son detrito. Luego, se agregaron los parámetros de Área habitada (proporción), B, P/B y Q/B, respectivamente. Por separado se añadió la matriz de dietas generada anteriormente en Excel.

Para el balance y validación del modelo se consideraron los siguientes criterios (Heymans et al., 2016):

1. Los valores de la Eficiencia Ecológica (**EE**) no deben exceder de 1, ya que esto indica que los depredadores están consumiendo más biomasa de la que el GF está generando, además no es posible que se transfiera más producción al siguiente nivel trófico de lo que se produce.
2. El reajuste de los valores B, P/B y Q/B de ciertos grupos funcionales de forma manual, con el aumento o disminución de los valores, obedeciendo a principios biológicos o ecológicos. Además, es necesario tener un conocimiento de los datos utilizados para razonar los cambios que se presentan.
3. El reajuste de los valores de las preferencias alimenticias, es decir, la matriz de dieta. Se hace énfasis en el balance de esta información, principalmente, dado que de los datos de entrada B, P/B y Q/B son los que mayor incertidumbre contienen.
4. Valores de "*Gross food conversion efficiency*" (**GE**) deber estar entre 0.1 y 0.3, los valores mayores a 0.5 no suelen ser comunes y suelen ser para grupos como bacterias.
5. La tasa de respiración-asimilación (**RA/AS**) que es la proporción de la biomasa perdida por la respiración debe ser menor a 1.
6. La tasa de respiración-biomasa (**RA/B**), indica el nivel de actividad metabólica de un grupo.
7. La relación producción-respiración (**P/RA**) debe ser menor a 1. Esta relación expresa el destino de los alimentos asimilados.
8. Valor de pedigrí (**Pedigree**) se obtiene con datos de la información sobre las fuentes que se utilizaron para la construcción de modelo e indica la precisión de los datos y establece intervalos de confianza que se utilizarán con estos datos si se realizan simulaciones de Monte-Carlo.

9. PREBAL es el conjunto de diagnósticos “pre-balance” en donde se incluyen las tasas de biomasa, producción total, etc., en función de los niveles tróficos. Se basa en diagnósticos ecológicos y pesqueros y estos deben cumplir con ciertos supuestos como la estimación de las biomásas entre 5 y 7 órdenes de magnitud, entre otras (ver en Heymans et al, 2006).

Una vez introducida la información de los parámetros y la matriz de dietas (Anexo1), se observaron los principales análisis en la pestaña de “output” -> “Basic estimates”. Para cumplir con los criterios mencionados anteriormente se realizaron correcciones en las biomásas de los grupos funcionales hasta que cada grupo cumpliera con todos y así tener un modelo balanceado (Anexo 3).

2.6 Caracterización trófica y atributos del ecosistema

Una vez que el modelo está balanceado, *EwE* ofrece otros parámetros básicos que aportan información sobre la estructura de los GF del ecosistema. Estos se describen a continuación:

Nivel trófico (NT): Para generar la trama trófica del ecosistema, *EwE* calcula los niveles tróficos de cada GF siguiendo una rutina predeterminada y otorga el valor del NT los cuales pueden ser fraccionales (ej. 1.2; 3.5 etc.). A los productores primarios y al detrito se les asigna siempre un valor de NT=1. A los consumidores se les asigna un NT siguiendo la fórmula: $1 + \text{promedio ponderado del nivel trófico de las presas}$ (Christensen et al., 2005).

Flujo Total de un Ecosistema (*Total System Throughput* o TST): Es la suma de todos los flujos en un sistema. Se estima como la suma de flujos de cuatro componentes: consumo total, exportación total, respiración y flujo totales a detritus (Christensen et al., 2005). El valor de todos los flujos está expresado en $\text{t/km}^2/\text{años}^{-1}$.

Producción/Consumo (P/Q): Expresa la relación entre la producción y el consumo del GF; también se le conoce como la eficiencia bruta de conversión de los alimentos, es decir cuánto de lo que consumen se convierte en producción. Es un valor adimensional y generalmente el consumo de la mayoría de los grupos es entre 3 y 10 veces mayor que su producción. Por eso, comúnmente el valor de P/Q se encuentra entre 0.05 y 0.3 (Darwall et al., 2010). Donde los depredadores topos suelen tener valores pequeños de P/Q y organismos más pequeños con metabolismos más rápidos, valores más altos. Este valor, también puede ser incluido al inicio del modelo solo cuando no se tiene información sobre la P/B o la Q/B.

Índice de omnivoría (IO): Es una medida de la distribución de las interacciones tróficas dentro del ecosistema. El índice es calculado por el modelo como la varianza del nivel trófico de las distintas presas del depredador. Cuando se calcula el valor del IO y proporciona como resultado 0, indica que el consumidor se alimenta sobre un solo nivel trófico, pero si se obtiene un valor alto esto indica que se alimenta de muchos niveles tróficos.

Índice de conectancia (IC): representa la proporción del número de conexiones actual con respecto a todas las conexiones posibles entre los GF de un ecosistema (sin considerar el canibalismo).

Índice de especies clave: Estimado con el índice de Libralato (2006), en donde se consideran a las especies cuyas biomásas son bajas en el ecosistema y que la estructura de este depende de ellas. También considerados como GF clave, los valores más altos, generalmente positivos corresponden a las especies clave en el ecosistema (en Calderón et al., 2022).

2.7 Análisis de redes del sistema

El efecto del cambio de biomasa de un grupo sobre otro se mide mediante una matriz de Impactos Tróficos Mixtos (MTI, por sus siglas en inglés). Este se calcula al construir una matriz $n \times n$, donde el elemento i, j representa el impacto del grupo i sobre j , el grupo impactado, de tal manera que:

$$MTI_{ij} = DC_{ij} - FC_{i,j} \quad (9)$$

En donde:

DC_{ij} es la composición de la dieta expresada en proporción de cuanto contribuye j a la dieta de i , y $FC_{i,j}$ expresa la proporción sobre j debida al depredador i .

Ascendency es la representación de la información mutua promedio (I), analiza las propiedades del ecosistema como nivel de desarrollo y organización, este valor es alto en sistemas maduros (Christensen, et al 2007) y se calcula como (I):

$$I = \sum_{i=1, j=1}^n f_{ij} Q_i \log \left(\frac{f_{ij}}{\sum_{k=1}^n f_{kj} Q_j} \right) \quad (10)$$

En donde:

Si T_{ij} es una medida del flujo de energía desde j hasta i , f_{ij} , es la fracción del flujo total desde j que está representada por T_{ij} , o

$$f_{ij} = T_{ij} / \sum_{k=1}^n T_{kj} \quad (11)$$

Q_i es la probabilidad de que una unidad de energía pase por i :

$$Q_i = \sum_{k=1}^n T_{ki} / \sum_{l=1}^n T_{lm} \quad (12)$$

Q_i es una probabilidad y está escalada por la multiplicación del TST, donde:

$$T = \sum_{i=1, j=1}^n T_{ij} \quad (13)$$

$$A = T \cdot I \quad (14)$$

En donde: A es *Ascendency*

El valor de *Ascendency* (A) es simétrico y por lo tanto los valores calculados desde input y output son iguales. Al límite superior de la A se le conoce *Capacidad de desarrollo* (C) y se estima como:

$$C = H \cdot T \quad (15)$$

En donde H es la "entropía estadística" y se estima como:

$$H = \sum_{i=1}^n Q_i \log Q_j \quad (16)$$

La diferencia entre la Capacidad de desarrollo y *Ascendency* se llama *Overhead (O)* o "sobrecarga del sistema". Este valor, proporciona límites sobre cuánto puede aumentar *Ascendency* y refleja la "resistencia" del sistema para enfrentar perturbaciones inesperadas (Ulanowicz, 1990).

2.8 Simulaciones

Una vez definidos los valores de P/B, se realizaron simulaciones con distintos escenarios de pesca en *Ecosim* modificando los esfuerzos pesqueros. Para esto la vulnerabilidad se quedó con la que el programa tiene por defecto (2) para todos los grupos y el tiempo de predicción para cada escenario fue de 10 años.

Los datos de pesca se obtuvieron de la página web de (CONAPESCA, 2018). Los escenarios para la simulación de intensificación de pesca fueron de 5 y 10%; y para el decremento de la pesca se utilizaron los mismos porcentajes. Esto se realizó para cada GF de importancia comercial de manera independiente y en conjunto se evaluó el cambio en las biomásas relativas en un escenario de cierre de pesca. En la pestaña de *Output* de *Ecosim* -> *Run Ecosim*, se corrió cada modelo y los resultados se exportaron a un documento de Excel para poder extraer la información del año 10 en cada escenario, esto con la finalidad de poder interpretar en este estudio la información de manera más clara que los gráficos de *Ecosim*, que, si bien son bastante ilustrativos, no nos permiten definir el cambio de las biomásas relativas que son muy similares en distintos grupos funcionales.

Capítulo 3. Resultados

3.1 Balance del modelo y parámetros estimados por *EwE*

Se definieron 32 grupos funcionales (GF), los cuales incluyen a las especies de mayor importancia comercial y ecológica dentro de la RB-BLACS reportadas en la bibliografía. En la Tabla 4, se muestran los parámetros que se utilizaron para la entrada del modelo de *EwE* después de ajustar las biomásas (B) y las tasas de producción biomasa (P/B) para que se cumpliera con valores de eficiencia ecotrófica (EE) menores a 1 y mayores a cero, tasas de P/Q mayores a cero y menores a 0.3. En el Anexo 3 se presentan las gráficas de PREBAL.

El Detrito presentó la mayor biomasa en el área del hábitat (t/km^2), seguido de Fitoplancton, Zooplancton, Otros invertebrados (Otros invert.), y Cangrejos y camarones. Los valores mínimos de este parámetro fueron de los dos grupos de Aves, seguido por los Mistictetos y el de Tiburón ballena. La mayor P/B anual la aporta principalmente el Fitoplancton, seguido por las Macroalgas y el zooplancton; los menores valores corresponden al grupo de los Mistictetos, Tiburón ballena y Aves piscívoras.

Respecto a la tasa de consumo/biomasa al año (Q/B), el valor más elevado corresponde al grupo de Zooplancton, seguido por Cnidarios, Otros invert., Cangrejos y camarones, Jaiba y langosta y Bivalvos; la tasa más baja fue para el Tiburón ballena, el Lenguado y las Tortugas. Por otra parte, los valores de Eficiencia Ecotrófica más altos fueron para los Bivalvos, Otros invert., Cangrejos y camarones, Tiburones, Lenguado y Rayas.

Los valores más bajos fueron de ambos grupos de Aves, Tiburón ballena, Detrito, Pargo y Odontocetos. En los niveles tróficos más altos se encuentran los Tiburones, seguido por Odontocetos, Sierra y Aves piscívoras; los niveles más bajos son ocupados por los productores primarios (Fitoplancton y Macroalgas), Detritos, Zooplancton, Bivalvos y Pepino de mar (Figura 3).

En la Figura 3, se muestra el diagrama de flujos y biomásas del modelo del ecosistema. El tamaño del círculo es proporcional a la biomasa del GF y las líneas las relaciones entre grupos. En el costado izquierdo se observa la numeración de los niveles tróficos (NT) en orden ascendente. El Detritus, el Fitoplancton y

las Macroalgas se encuentran en el primer nivel trófico, la mayoría de las pesquerías ocupan los niveles más altos, seguidas por los grupos de Tiburones y Odontocetos.

Tabla 4. Parámetros estimados del modelo balanceado en *EwE*.

Nombre del grupo	Nivel trófico	Proporción del área habitada	Biomasa		P/B (/año)	Q/B (/año)	EE	P/Q (/año)
			en el área habitada (t/km ²)	Biomasa (t/km ²)				
1 Odontocetos	4.4	0.13	0.43	0.05	0.06	5.12	0.00	0.012
2 Misti cetos	3.0	0.12	0.04	0.00	0.02	7.11	0.14	0.003
3 Aves vadeadoras	3.3	0.06	0.00	0.00	0.06	8.10	0.00	0.007
4 Aves piscívoras	3.9	0.07	0.01	0.00	0.05	6.10	0.00	0.030
5 Tortugas	2.1	0.12	0.13	0.02	0.12	4.00	0.01	0.002
6 Tiburón ballena	3.0	0.17	0.08	0.01	0.01	3.30	0.00	0.178
7 Tiburones	4.4	0.13	0.12	0.02	0.77	4.29	0.82	0.142
8 Rayas	3.7	0.14	0.14	0.02	0.78	5.50	0.73	0.174
9 Haemulidae	3.4	0.14	1.12	0.16	1.14	6.53	0.17	0.172
10 Lubinas y meros	3.6	0.29	1.80	0.52	0.79	4.60	0.10	0.153
11 Peces de escama	3.3	0.52	3.15	1.64	1.50	9.82	0.74	0.009
12 Curvina y chano	3.0	0.52	1.83	0.96	0.09	10.49	0.37	0.259
13 Pelágicos menores	2.9	0.81	5.30	4.29	3.30	12.74	0.60	0.207
14 Sierra/peces de corrida	3.9	0.45	1.04	0.47	0.93	4.50	0.09	0.200
15 Seriolas	3.5	0.42	2.53	1.07	0.82	4.10	0.36	0.265
16 Lenguado	3.1	0.40	1.51	0.60	0.69	2.60	0.80	0.199
17 Peces arrecifales	3.2	0.33	3.73	1.23	2.23	11.18	0.54	0.133
18 Pesca deportiva	3.6	0.38	1.10	0.42	0.87	6.54	0.16	0.128
19 Pargo	3.8	0.39	2.63	1.03	0.65	5.08	0.03	0.161
20 Morenas	3.7	0.39	1.89	0.74	1.50	9.30	0.50	0.231
21 Equinodermos	2.2	0.41	3.70	1.52	5.20	22.50	0.56	0.296
22 Pepino de mar	2.0	0.22	3.10	0.68	2.70	9.13	0.78	0.291
23 Macrocrustáceos	3.3	0.61	2.48	1.51	4.82	16.58	0.62	0.232
24 Bivalvos	2.0	0.40	5.20	2.08	4.40	19.00	0.94	0.291
25 Cangrejos y camarones	2.7	0.40	6.97	2.79	6.49	22.27	0.92	0.272
26 Cefalópodos	3.5	0.51	2.10	1.07	4.10	15.05	0.33	0.283
27 Otros invert.	2.3	0.65	15.91	10.34	7.15	25.31	0.93	0.271
28 Jaiba y langosta	2.9	0.25	3.63	0.91	5.24	19.33	0.72	0.196
29 Cnidarios	2.1	0.21	2.46	0.52	4.90	25.00	0.11	0.273
30 Zooplancton	2.0	1.00	40.00	40.00	15.00	55.00	0.28	
31 Macroalgas	1.0	0.52	6.00	3.13	40.00		0.61	
32 Fitoplancton	1.0	1.00	60.00	60.00	100.00		0.38	
33 Detritus	1.0	1.00	240.00	240.00			0.03	

La Tabla 5 presenta los parámetros del sistema calculados por *EwE*; la TST fue de 13,686 t/km²/año; el valor de pedigri es de 0.14, ya que la mayoría de los parámetros de entrada se obtuvieron de la bibliografía.

Los grupos que se explotan comercialmente para pesquerías se encuentran con un letra "P" seguida del nombre de su grupo de pesca: P. arrecifales (peces arrecifales), P. elasmobranquios (Tiburones y Rayas),

P. escama (Haemulidae, Lubinas y meros, Peces de escama, Curvina y chano, Sierra/peces de corrida y Seriolas), P. Pelágicos menores (Pelágicos menores), P. pepino (Pepino de mar), P. invertebrados (Otros invertebrados y Jaiba y langosta), P. cefalópodos (Cefalópodos), P. deportiva (P. deportiva), P. lenguado (Figura 3).

El grado de impacto que tiene un grupo funcional sobre otro se estimó mediante una matriz de Impactos tróficos mixtos, en los que los colores más intensos representan un mayor impacto que los colores más tenues; la gama de tonalidades rojas está relacionada con impactos negativos y la gama de tonalidades azules, con impactos positivos que hay entre grupos impactados y grupos que impactan (Figura 4).

Los grupos que sufren mayor impacto negativo por los Tiburones son los Odontocetos, Mistictetos y Tortugas, mientras que los Pargos impactan a Morenas. Fitoplancton impacta positivamente a Zooplancton, Cnidarios, Bivalvos y Tiburón Ballena.

Tabla 5. Parámetros del sistema de RBLA estimados por *EwE*.

Parámetro	Valor	Unidades
Suma de todo el consumo	2796.6	t/km ² /año
Suma de todas las exportaciones	4641.7	t/km ² /año
Suma de todos los flujos en el detrito	4764	t/km ² /año
TST	13686	t/km ² /año
Suma de toda la producción	6879	t/km ² /año
Nivel trófico medio de captura	3.4	
Producción primaria neta total calculada	6125.28	t/km ² /año
Producción neta del sistema	4641.75	t/km ² /año
TST/B	44.45	
B/TST	0.010	
Biomasa total (excluyendo detrito)	137.7	t/km ²
Captura total	0.296	t/km ² /año
Índice de conectancia	0.236	
Índice de omnivoría del Sistema	0.189	1
Profit	0.059	1
Shannon diversity index	1.797484	
<i>Ascendency</i>	17330	flowbits
<i>Overherad</i>	20453	flowbits
<i>Capacity</i>	37784	flowbits
Pedigree de <i>EwE</i> (Pedigrí)	0.14	

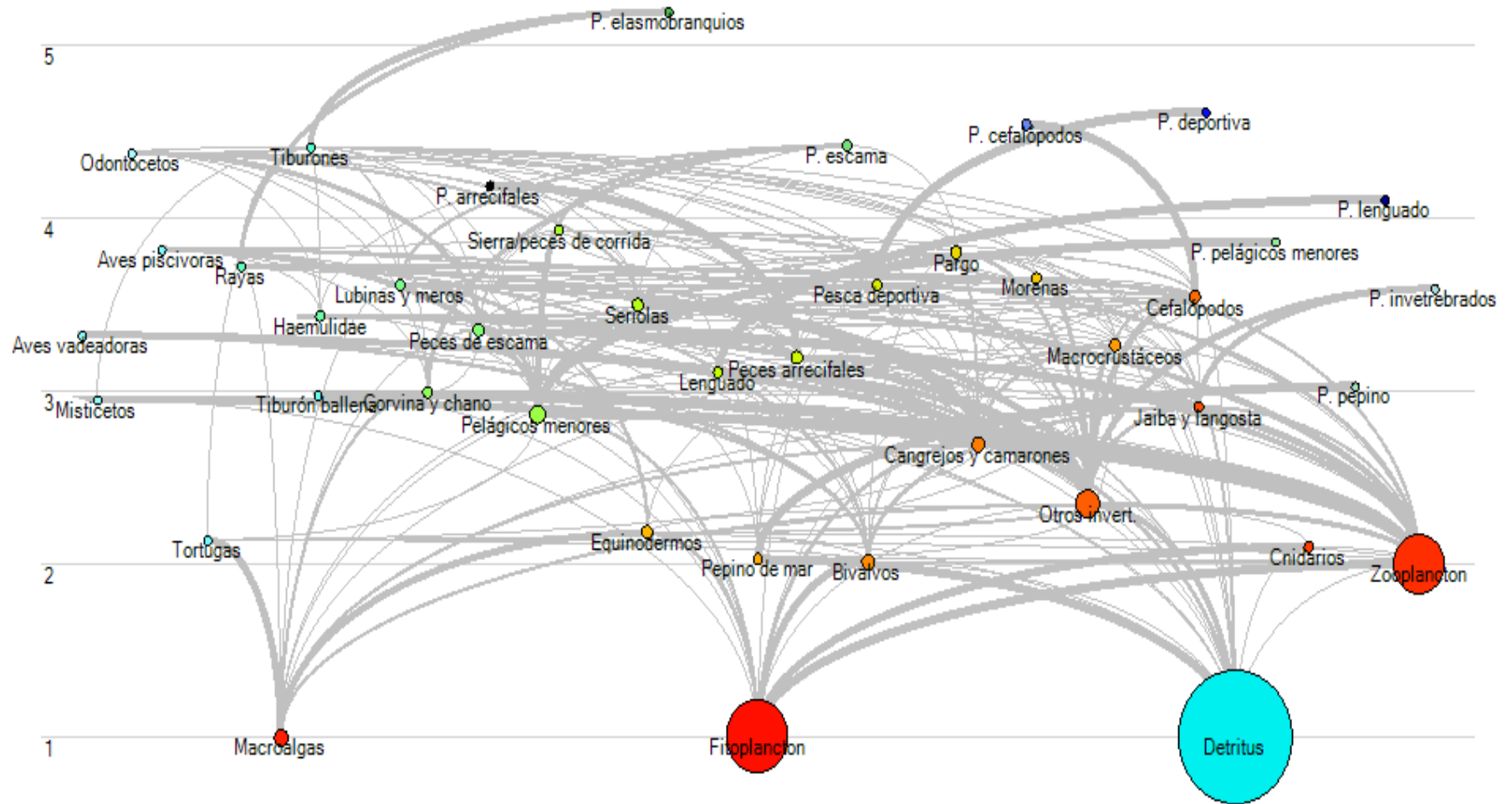


Figura 3. Diagrama de la red trófica de la RB-BLACS. Cada círculo representa un Grupo Funcional (GF). Del lado izquierdo los números del 1 al 5 indican el Nivel Trófico de cada GF. El tamaño de los círculos representa la biomasa de cada grupo y las líneas representan la relación entre dos grupos, su grosor la cantidad de biomasa depredada.

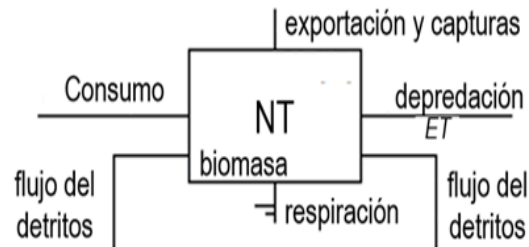
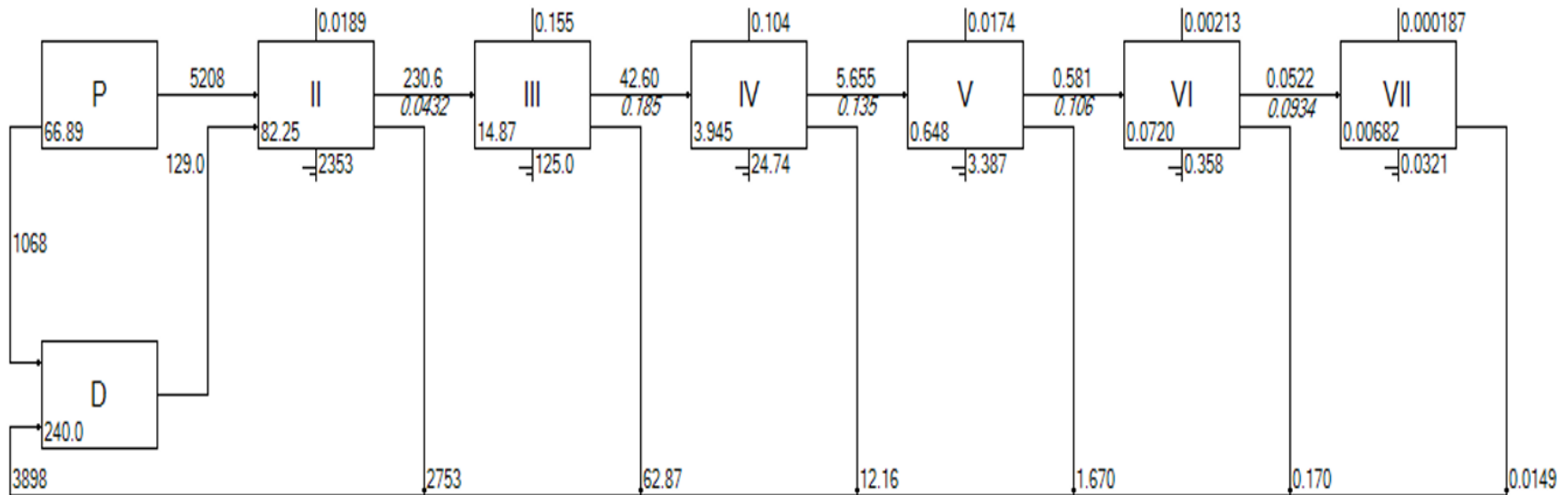


Figura 5. Agregación flujos tróficos (Espina de Lindeman) por niveles tróficos (NT) discretos para el sistema la RBLA (ton/km2/año1). La Producción Primaria se encuentra en la caja (P). Los flujos saliendo de la parte superior de los compartimentos representan las exportaciones y capturas, y, los flujos saliendo del fondo del compartimento representan la respiración. El reciclaje de la materia no viva es a través del detrito (D). Bajo las líneas de salida de cada caja, se muestran las eficiencias tróficas (ET) anuales y en la parte superior de las ET están los valores de depredación (ton/km2/año1). En las esquinas izquierdas inferiores de las cajas está la biomasa en (ton/km2/año1). Y las líneas en los costados inferiores representan el flujo del detrito.

3.2 Escenarios de cambios en el esfuerzo pesquero

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron luego de realizar simulaciones en el tiempo con la herramienta de *Ecosim* incluida en el software de *EwE*. En estas simulaciones se evaluaron escenarios con distintos esfuerzos pesqueros en la captura de las especies de importancia comercial en la Bahía, analizando los cambios en las biomazas relativas de todos los grupos funcionales en el ecosistema durante un periodo de tiempo de 10 años. Sin embargo, por facilidad de la interpretación de los gráficos elaborados por *Ecosim*, se consideraron las biomazas relativas únicamente del décimo año, cuando se observaron mayores cambios de manera general.

Por otra parte, en este apartado decidimos incluir únicamente los escenarios con mayor relevancia, y se omitieron lo que presentaron cambios poco distinguibles (cambios en las biomazas relativas menores al 1%), de manera sintetizada se aprecian dichos escenarios en la Tabla 6. Aunado a esto, dentro de la misma tabla, se aprecian los escenarios con incremento en el esfuerzo pesquero (Incremento EP) y con reducción en este esfuerzo (Reducción EP), los GF considerados en estos escenarios fueron: P. elasmobranquios y P. peces de escama. Y en un único escenario de eliminación de la pesca (sin pesca), se tomaron a todos los GF que se extraen por actividad pesquera (P. arrecifales, P. elasmobranquios, P. escama, P. pelágicos menores, P. pepino, P. invertebrados, P. cefalópodos, P. deportiva y P. lenguado), de manera general este escenario representó mayores cambios en las biomazas relativas de los GF en el ecosistema (Tabla 6).

De manera general la intensificación y disminución de la pesca en un 10% reflejó mayores cambios en las biomazas relativas en comparación con los escenarios en donde se hicieron cambios en el esfuerzo pesquero de un 5%. El grupo que redujo más su biomasa relativa cuando se incrementó la pesca un 10% en el grupo de los Elasmobranquios, fue el de los Tiburones (4%), seguido por el de las Rayas (3%; Tabla 6).

La intensificación del 10% en la pesca en los Peces de escama modificó principalmente a la biomasa relativa del grupo Curvina y Chano (2%). Por otra parte, en el escenario de no pesca se observaron cambios en las biomazas de GF que no están siendo pescados, como el caso de los Mistictetos (2%), Morenas (2%), Macrocrustáceos (3%), Bivalvos (2%); en el caso de los GF que se extraen, se observó un incremento en las biomazas relativas para cada uno de estos, destacando los Tiburones (245%) y las Rayas (124%; Tabla 6).

Capítulo 4. Discusión

En este estudio se construyó un modelo trófico de balance de masas siguiendo el enfoque *EwE* para describir el ecosistema marino de la Reserva de la Biósfera de Bahía de Los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes (RB-BLACS). La información encontrada en las fuentes especializadas que fueron consultadas es principalmente de estudios de otras localidades en el Golfo de California pues este es el primer modelo para la localidad. Para mejorar el valor del pedigrí es necesario recolectar datos tomados *in situ*, como lo hicieron Hermsillo et al (2023) de la región de Yelapa en el Pacífico mexicano.

La biomasa de los productores primarios en la RB-BLACS está influenciada por los procesos oceanográficos que ocurren en el Canal de Ballenas; ésta, a su vez, es la base para que la red trófica tenga biomasa elevadas, como el caso de los copépodos, que se encuentran en este estudio dentro del grupo del zooplancton, cuyo papel es muy importante para en la alimentación del Tiburón ballena, que es el principal atractivo turístico de Bahía de Los Ángeles, aunque este se encuentra principalmente cuando las abundancias de zooplancton son mayores en la bahía en las temporada de junio a diciembre (en Hernández, 2011) (CONANP, 2014; Lavaniegos et al., 2012).

Como se describe en los resultados de este estudio y se comprueba mediante modelos que simularon la pesquería de los GF de importancia comercial dentro de la RB-BLACS, existen GF cuyas biomasa afectadas por el incremento o la reducción en el esfuerzo pesquero puede afectar la biomasa de otros grupos funcionales que no están siendo capturados. Lo cual también se ha estudiado en el sentido de la pesca como remoción de biomasa en el ecosistema, misma que afecta directamente a los grupos que son objetivo de pesca y a la fauna de acompañamiento, que en el caso de la RB-BLACS pueden ser cochitos, burritos, vieja mexicana y de California, pericos, cocinero entre otros (Calderón et al., 2011; Ruíz, 2016).

Los GF que mostraron efectos más efectos tróficos directos e indirectos fueron los de Tiburones, Odontocetos, Otros Inv. y Fitoplancton. En trabajos realizados con *EwE*, encontramos que en el de Hermsillo et al, (2023), también el Fitoplancton fue uno de los GF que produjo mayores efectos en el resto de GF, sin embargo, no encontramos mayor relación en el resto de GF probablemente debido a que no consideramos los mismos para representar el ecosistema.

Cabe destacar que la pesca de Elasmobranquios tiene mayores impactos tróficos positivos en el GF de los Odontocetos, de los Mistocetos y el de las Tortugas, que se pueden apreciar en la (Figura 4). Díaz et al. (2012), también señalan que en el Norte del Golfo de California la pesquería de Tiburones tiene un efecto

positivo de manera indirecta sobre los mamíferos marinos (en este estudio Odontocetos y Mysticetos), lo que puede señalar que los impactos tróficos de este grupo en el GC sean mayormente hacia los mamíferos marinos por parte de la pesca de elasmobranquios.

Cuando las pesquerías afectan a grupos de niveles tróficos elevados, esta se puede considerar como un depredador en el ecosistema, en el caso de la RB-BLACS, la pesquería de elasmobranquios no solo afecta a los grupos funcionales que conforman este grupo de pesca, sino que también tiene mayor impacto trófico mixto que otros GF en el ecosistema (Figura 4). Analizando otras pesquerías; Larkin (1996), mencionó que el hecho de extraer a los depredadores tope del ecosistema genera que la estructura trófica se regule mediante un control de arriba hacia abajo “*top-down*”. Sin embargo, no es la única característica que determina el tipo de control en un ecosistema, ya que Calderón et al. (2022), también utilizaron el nivel trófico medio como indicador de un ecosistema con este tipo de control (Cury et al., 2000).

En este sentido, se sabe que la RB-BLACS es un ecosistema con surgencias elevadas (Casillas, 2008), y que, los ecosistemas altamente productivos por su nivel elevado de surgencias suelen tener una alta diversidad en los niveles tróficos superiores e inferiores, en comparación con los niveles tróficos medios de estos ecosistemas que suelen tener menor diversidad por lo que se les puede clasificar como ecosistemas con control “*cintura de avispa*”. Arreguín et al (2017), mencionan que la dinámica del ecosistema del GC considerado como un *Large Marine Ecosystem* (LME), se asocia fuertemente a las poblaciones de Sardina (*Sardinops sagax caeruleus*), esta especie representa la mayor cantidad de desembarques pesqueros de Pelágicos menores en el GC (más del 60%), su población masiva de bajo nivel trófico refleja que esta especie regula al ecosistema como “*cintura de avispa*”. Y, aunque en los escenarios de pesca que se analizaron en este estudio no se observó que el GF de los Pelágicos menores representara cambios significativos en las biomásas de otros GF o un alto impacto trófico mixto sobre otros, Arreguín et al (2017), mencionan que es de gran importancia estimar la cantidad de biomasa de este GF, que debe estar en el ecosistema para que este mantenga su estructura y organización.

Los atributos ecosistémicos, *Total System Throughput* (TST); Producción Primaria Neta (PPN); Tasa de Producción Primaria por Biomasa (PP/B); Tasa de Biomasa/*Total System Throughput* (B/TST); *Ascendency* y *Overhead*, nos sirven para conocer la estructura del ecosistema; en otro trabajo se compararon ecosistemas de diferentes ecosistemas conocidos como *Large Marine Ecosystems* (LMEs). Calderón et al. (2022), compararon la estructura de distintos LME en el océano Pacífico Central, por esto nos basamos en su estudio tomando la idea de comparar distintos ecosistemas y sus atributos con un gráfico radial (Figura 6. Comparación de los parámetros que miden la madurez en el sistema: Total System Throughput (TST);

Producción Primaria Neta (PPN); Tasa de Producción Primaria por Biomasa (PP/B); Tasa de Biomasa/Total System Throughput (B/TST); Ascendency y Overhead. De los ecosistemas de la RB-BLACS, GC (norte y centro), Bahía de La Paz, Norte del Golfo de California, Noroeste del Golfo de California y un sistema maduro ideal.). Los estudios que se compararon fueron de la región norte y centro del golfo de California, la Bahía de

La Paz (Díaz et al., 2007), el norte del golfo de California (Morales et al., 2004) y el noroeste Golfo de California (Arreguín et al., 2002).

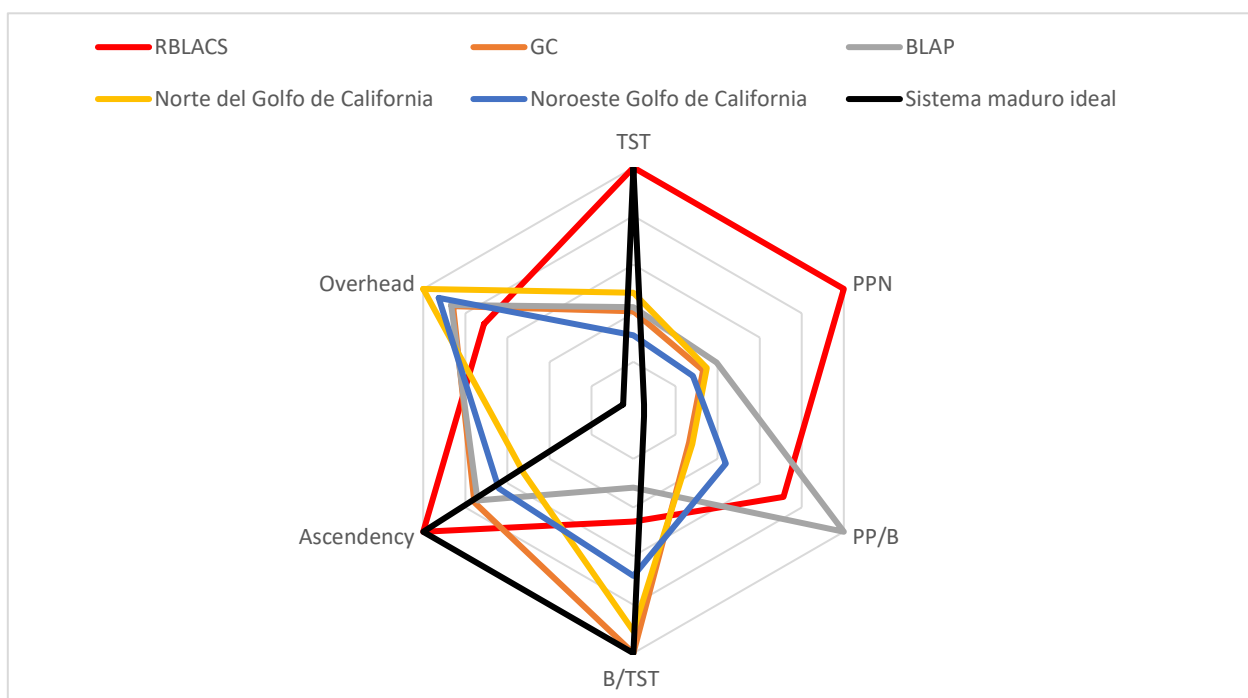


Figura 6. Comparación de los parámetros que miden la madurez en el sistema: Total System Throughput (TST); Producción Primaria Neta (PPN); Tasa de Producción Primaria por Biomasa (PP/B); Tasa de Biomasa/Total System Throughput (B/TST); Ascendency y Overhead. De los ecosistemas de la RB-BLACS, GC (norte y centro), Bahía de La Paz, Norte del Golfo de California, Noroeste del Golfo de California y un sistema maduro ideal.

Los valores de *Total System Throughput* y *Ascendency* podrían indicar que la RB-BLACS es uno de los ecosistemas más maduros; el primer parámetro hace referencia al “tamaño y vigor” del sistema, este valor resultó mucho mayor en la RB-BLACS (13686) en comparación con las otras regiones como la del norte del golfo de California (6633) que es el segundo valor más alto en esta comparativa, seguido por el de RB-BLACSP (5817); el segundo parámetro, *Ascendency* también es mucho más alto en la RB-BLACS (45.9) que el segundo de mayor a menor, correspondiente a la región del golfo de California (norte y centro) (34.7),

este parámetro muestra que la RB-BLACS tiene un mayor grado de organización de los flujos en el ecosistema, equivalente a un mayor grado de desarrollo que el resto de regiones (Christensen et al., 2007).

Por otra parte, la tasa de Producción Primaria neta indica que la RB-BLACS, no es el ecosistema más maduro, ya que Christensen et al. (2008), consideran que en un ecosistema maduro el nivel de Producción Primaria debe ser bajo y en este caso tiene el mayor nivel de los ecosistemas comparados. Aunque el tema de la PP en la RB-BLACS ha sido poco estudiado, se sabe que en la RB-BLACS hay una alta productividad primaria que varía de manera estacional debido a diversos factores oceanográficos (Rodríguez y Cárdenas, 2008).

Algunos autores afirman que el fitoplancton suele acumularse en la primera capa de la columna de agua, no mayor a los 10 m de profundidad y que las corrientes residuales de viento son las que se encargan de controlar esta producción en la zona norte de la bahía, para el resto del área hay menor cantidad de información sin embargo, en distintas fuentes se encuentra a la RB-BLACS como una zona altamente productiva en cuanto a PP (Casillas, 2008; CONANP, 2014; Hernández, 2011).

Aunque considerando la pesca como disturbio, se observó que esta afecta principalmente al grupo de los elasmobranchios en la RB-BLACS, y, tanto en la matriz de impactos tróficos como en la Tabla 6 (de los escenarios de pesca con distintos esfuerzos pesqueros), se observa la relevancia que tiene este GF en el ecosistema además ser un grupo clave dentro del mismo; por lo anterior, el hecho de que RB-BLACS tenga mayor resiliencia como ventaja en cuanto a la recuperación ante posibles disturbios, podría hacer que la mayoría de las pesquerías no afecten la estructura del ecosistema y su nivel de organización, sin embargo hay que considerar que en la Región de las Grandes Islas, en donde se encuentra la Isla Ángel de la Guarda (dentro de la RB-BLACS) la cantidad de embarcaciones reportadas para la pesca podrían representar únicamente la mitad de las embarcaciones que extraen recursos pesqueros debido a la irregularidad de la actividad pesquera en esta región por lo que los análisis en este estudio podrían representar un menor esfuerzo pesquero del que ocurre en la realidad (Fernández et al, 2017).

Otro parámetro que podría indicar un nivel mayor de madurez en la RB-BLACS, es el de la tasa de *Biomasa/Total system throughput*, aunque es pequeño con un valor de 0.010, en comparación con el valor más alto de los ecosistemas comparados, que es de 0.022 en la región norte y centro del Golfo de California; sin embargo, esta tasa es considerada alta de manera general en el ecosistema del Golfo de California como *Large Marine Ecosystem* (LME) por Calderón et al. (2022), cuando comparan con otros ecosistemas del Pacífico mexicano, y en conjunto los parámetros TST, Producción Primaria Neta, PP/B,

B/TST, *Overhead* y *relative Ascendency* en dicho estudio, señalan que el LME que conforma el Golfo de California es el ecosistema más resiliente de los que compararon como las islas oceánicas, la Corriente de California y la Costa Pacífico de América Central. Calderón et al. (2022), al hacer la comparación de estos LMEs que tiene una alta resiliencia explican que esta no indica que son ecosistemas resistentes, dado que resiliencia y resistencia difieren en el comportamiento de los ecosistemas marinos.

Para complementar, un ecosistema más resistente puede presentar un nivel de conectancia mayor que otros porque el mayor número de conexiones que hay entre los grupos funcionales del ecosistema podrá ayudar a que se recupere con mayor facilidad en comparación con un ecosistema que tiene un bajo nivel de conexiones entre sus grupos funcionales (Calderón et al., 2022; Odum, 1969).

Basándonos en este parámetro no considerado en el gráfico radial (Figura 6. Comparación de los parámetros que miden la madurez en el sistema: Total System Throughput (TST); Producción Primaria Neta (PPN); Tasa de Producción Primaria por Biomasa (PP/B); Tasa de Biomasa/Total System Throughput (B/TST); Ascendency y Overhead. De los ecosistemas de la RB-BLACS, GC (norte y centro), Bahía de La Paz, Norte del Golfo de California, Noroeste del Golfo de California y un sistema maduro ideal.), en este estudio se observa que la RB-BLACS es un ecosistema con una resiliencia media-alta (0.2), en comparación con los ecosistemas del GC, debido a que su índice de conectancia se encuentra entre el valor más bajo y el más alto, que corresponden a la región norte y centro del GC y a la región norte que fueron estudiadas por Díaz et al. (2012) y Morales et al. (2004).

Se esperaría que las regiones comparadas en el presente trabajo y en el de Calderón et al (2022) tuvieran valores similares en los parámetros comparados, obtenidos con *EwE* por el hecho de encontrarse dentro del mismo LME conocido como Golfo de California. Sin embargo, los valores indican una distinguida diferencia que se podría atribuir a las condiciones oceanográficas de cada región, por esto es de suma importancia hacer análisis de las regiones que se consideran dentro de cada LME de manera autónoma. Y como lo mencionan Arreguín et al. (2017), las tres regiones del Golfo de California como LME deben tener un manejo independiente. A pesar de que la RB-BLACS tiene un Programa de manejo siguen existiendo irregularidades en las actividades pesqueras y eso no permite que se logre el objetivo de realizar pesca dentro de la Reserva de manera sostenible. Por otra parte, considero necesario un análisis complementario a este estudio en el que se evalúen las poblaciones de Tiburones, Odontocetos y Pelágicos menores de manera independiente y de ser posible un análisis en el que se analicen escenarios futuros con estos grupos en la RB-BLACS ya que son los grupos clave que regulan la estructura del ecosistema.

Capítulo 5. Conclusiones

En este estudio se construyó un modelo trófico de balance de masas siguiendo el enfoque *EwE* que describe el ecosistema marino de la Reserva de la Biósfera de Bahía de Los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes (RB-BLACS) con un total de 33 GF (considerando el Detrito). En el que Los grupos clave en el ecosistema son los Odontocetos, los Tiburones y Otros invertebrados. De estos, las biomásas de los primeros dos GF tienen una alta influencia en otros GF, que se pueden apreciar en la matriz de impactos tróficos mixtos.

Los parámetros que se utilizaron para evaluar la estructura del ecosistema en función de su madurez fueron: Producción Primaria Neta (PPN); Tasa de Producción Primaria por Biomasa (PP/B); Tasa de Biomasa/*Total System Throughput* (B/TST); *Ascendency* y *Overhead*. Sin embargo, estos parámetros no resultaron concluyentes respecto a la estructura ecosistémica. A pesar de esto, se pudo definir que el ecosistema tiene una alta resiliencia en comparación con otras regiones del GC consideradas dentro del mismo LME. Y debido a que es un sistema altamente productivo por las surgencias que se presentan en la región, tiene una trama trófica medianamente diversa en comparación con otras regiones pertenecientes al LME del GC.

En cuanto a los escenarios de pesca, estos no reflejaron que la pesca de Pelágicos menores fuera relevante en comparación con la de Elasmobranquios y Peces de escama. No obstante, debe considerarse que este GF es de gran importancia pesquera para toda la región del GC, lo cual se atribuye principalmente a la pesca de Sardina, ya que esta representa a la mayor pesquería dentro del grupo de pesca de los Pelágicos menores. Por lo cual, es necesario realizar una evaluación más exhaustiva tanto de esta especie como del comportamiento de su población en la RB-BLACS, debido a que esta podría tener un control en la estructura trófica del ecosistema de tipo “cintura de avispa”, es decir que la configuración del ecosistema depende en gran medida de este GF.

En este trabajo se mostró que con la actividad pesquera que se lleva a cabo en la RB-BLACS se ven más afectados los GF que conforman los Elasmobranquios y los Peces de escama, y como consecuencia las biomásas de otros GF también se pueden ver afectadas. Además, dentro de los Elasmobranquios también se encuentra el GF de Tiburones, que es un grupo clave para el mantenimiento de la estructura del ecosistema y su abundancia es de gran importancia para Reserva. Por lo que complementar este estudio

con análisis de las poblaciones de Tiburones en la región, podría brindarnos un panorama más amplio respecto al manejo que se debe tener con este GF.

Literatura citada

- Allen, K. R. (1971). Relation Between Production and Biomass. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 28, 1573–1581. <https://doi.org/10.1139/f71-236>
- Anderies, J. M., Janssen, M. A., y Ostrom, E. (2004). A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective. *Ecology and Society*, 9(1). <http://www.jstor.org/stable/26267655>
- Arévalo, R. (2002). Perspectivas Del Medio Ambiente Mundial 2002 : GEO-3: Pasado, Presente y Futuro. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. MUNDI-PRENSA. 446. <https://www.yumpu.com/es/document/view/22085093/perspectivas-del-medio-ambiente-mundial-2002-geo-3>
- Arreguín, F., Arcos, E., y Chávez, E. A. (2002). Flows of biomass and structure in an exploited benthic ecosystem in the Gulf of California, Mexico. *Ecological Modelling*, 156(2–3), 167–183. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00159-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00159-X)
- Arreguín, F., del-Monte, P., Zetina, M. J., y Albáñez, M. O. (2017). The Gulf of California Large Marine Ecosystem: Fisheries and other natural resources. *Environmental Development*, 22, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.03.002>
- Bakun, A. (2006). Wasp-waist populations and marine ecosystem dynamics: navigating the “predator pit” topographies. *Progress in Oceanography*, 68(2–4), 271–288. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.02.004>
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., y Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>
- Blondel, J. (2003). *Guilds or functional groups: does it matter?* Wiley Online Library. *Oikos*, 100(2), 223–231. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12152.x>
- Calderón, L. E., Avilés-Torres, S., y Trinidad, H. (2011). Las pesquerías en el contexto de la conservación biológica del Golfo de California. En P. Wong, J. L. Castro y M. A. Carvajal (Eds.), *Economía y desarrollo sustentable. Región Golfo de California*. (pp. 169–187). Clave.
- Calderon, L. E., Reyes, H., Olán, M., Castañeda, F. R., y Perusquía, J. C. (2021). Estimated flows and biomass in a no-take coral reef from the eastern tropical Pacific through network analysis. *Ecological Indicators*, 123, 107359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107359>
- Calderón, L. E., Reyes, H., Morzaria, H. N., Perusquía, J. C., Olán, M., y Méndez, M. F. (2022). Trophic architecture as a predictor of ecosystem resilience and resistance in the eastern Pacific. *Progress in Oceanography*, 209; 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102922>
- Casillas, B., y Danemann, G. D. (2008). *Servicios turísticos*. En G. Danemann y y E. Ezcurra (Eds.), *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad: Línea base 2007* (pp. 657–678). Instituto Nacional de Ecología. 740
- Chiriboga, R. D. (2023). *Variación espacio-temporal del ensamblaje de peces criptobentónicos y conspicuos*

en dos áreas naturales protegidas, Bahía de los Ángeles y Huatulco. [Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California] Repositorio Institucional CICESE.

<http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/3956>

Christensen, V., y Pauly, D. (1992). ECOPATH II – a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*, 61(3);169–185. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3800\(92\)90016-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-3800(92)90016-8)

Christensen, V., y Walters, C. J. (2004). Trade-offs in Ecosystem-scale Optimization of Fisheries Management Policies. *Bulletin of Marine Science*, 74(3);549–562. https://www.researchgate.net/publication/233502863_Trade-offs_in_Ecosystem-scale_Optimization_of_Fisheries_Management_Policies

Christensen, V., Walters, C. J., y Pauly, D. (2005). *Ecopath with Ecosim: a user's guide*. Fisheries Centre, University of British Columbia.

Christensen, V., Walters, C. J., Pauly, D., y Forrest, R. (2007). *Ecopath with Ecosim version 6.0: User manual. help files guide*. Lenfest Ocean Futures Project, University of British Columbia.

CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2014). *Programa de Manejo: Reserva de la Biósfera Bahía de Los Ángeles Canales de Ballenas y de Salsipuedes*. CONANP.

CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). (2018). *Información Estadística por Especie y Entidad*.

https://www.conapesca.gob.mx/wb/cona/informacion_estadistica_por_especie_y_entidad

Cury, P., Bakun, A., Crawford, R. J. M., Jarre, A., Quiñones, R. A., Shannon, L. J., y Verheye, H. M. (2000). Small pelagics in upwelling systems: Patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 603–618. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0712>

Danemann, G. D., y Ezcurra, E. (2008). *Bahía de Los Ángeles recursos naturales y comunidad. Líneabase 2007*. Instituto Nacional de Ecología. 740.

Danemann, G. D., y Saenz, M. (2008). Análisis de la problemática ambiental en las áreas naturales protegidas marinas de la región de Bahía de los Ángeles, Baja California. En: Estudios de las Islas del Golfo de California. Flores-Campaña, L.M. (ed).(183-192), Universidad Autónoma de Sinaloa. https://www.researchgate.net/publication/263847480_ANALISIS_DE_LA_PROBLEMÁTICA_AMBIENTAL_EN_LAS_AREAS_NATURALES_PROTEGIDAS_MARINAS_DE_LA_REGION_DE_BAHIA_DE_LOS_ANGELES_BAJA_CALIFORNIA

Darwall, W. R. T., Allison, E. H., Turner, G. F., y Irvine, K. (2010). Lake of flies, or lake of fish? A trophic model of Lake Malawi. *Ecological Modelling*, 221(4), 713–727. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.11.001>

Díaz, J. G., Arreguín, F., y Cisneros-Mata, M. A. (2007). Multispecies perspective for small-scale fisheries management: A trophic analysis of La Paz Bay in the Gulf of California, Mexico. *Ecological Modelling*, 201(2), 205–222. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/12936>

Díaz, J. G., Arreguín, F., Lercari, D., Cruz-Escalona, V. H., Zetina-Rejón, M. J., Del-Monte-Luna, P., y Martínez,

- S. (2012). An integrated ecosystem trophic model for the North and Central Gulf of California: An alternative view for endemic species conservation. *Ecological Modelling*, 230, 73–91. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.01.009>
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F. S., y Tilman, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology*, 4(8); e277. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Dronkers, J. (2020). *Effects of fisheries on marine biodiversity*. https://www.coastalwiki.org/introduced/Effects_of_fisheries_on_marine_biodiversity#Food-web_competition
- Frausto, T. C. (2012). *Simulación del efecto del turismo subacuático sobre el ecosistema arrecifal de Cabo Pulmo, Baja California Sur, mediante un modelo trófico*. [Tesis de Maestría en Ciencias en Ecología Marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. Repositorio Institucional CICESE. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/803>
- Froese, R. and Pauly, D. (2021). *FishBase*. <https://fishbase.mnhn.fr/search.php>
- Kameda, K. & Ishihara, Takashi. (2009). Gut contents analysis of green turtles (*Chelonia mydas*) in Japan. *Umigame Newsl Jpn*. 81. 17-23. https://www.researchgate.net/publication/285775794_Gut_contents_analysis_of_green_turtles_Chelonia_mydas_in_Japan
- Hannah, D. M., Brown, L. E. E. E., y Milner, A. M. (2009). Case studies and reviews Integrating climate – hydrology – ecology for alpine river systems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 656; 636–656. <https://doi.org/10.1002/aqc>
- Heckel G., Ladrón, P., y Rojas-Brancho, L. (2008). *Ballenas y delfines*. En G. Danemann y y E. Ezcurra (Eds.), *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad: Línea base 2007* (pp. 563–603). Instituto Nacional de Ecología.
- Hernández, M. F. (2011). *Zooplankton de Bahía de los Ángeles (Golfo de California) durante la temporada de arribo del tiburón ballena (Rhincodon typus)*. [Tesis de Maestría en Ciencias en Ecología Marina, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. Repositorio Institucional CICESE. <http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/788>
- Hermosillo, B. B., Calderón, L. E., Rodríguez, F. A., y Capul, A. L. (2023). Estructura de la red trófica y simulaciones dinámicas en el ecosistema de arrecife rocoso de Yelapa, Pacífico mexicano. *Hidrobiologica*, 33(2). <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/1741>
- Hernández-Padilla, J. C., Zetina-Rejón, M. J., Arreguín-Sánchez, F., del Monte-Luna, P., Nieto-Navarro, J. T., & Salcido-Guevara, L. A. (2021). Structure and function of the southeastern Gulf of California ecosystem during low and high sea surface temperature variability. *Regional Studies in Marine Science*, 43, 101686. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101686>
- Heymans, J. J., Coll, M., Link, J. S., Mackinson, S., Steenbeek, J., Walters, C., y Christensen, V. (2016). Best practice in Ecopath with Ecosim food-web models for ecosystem-based management. *Ecological Modelling*, 331, 173–184. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.12.007>

- Howe, J. C. (2001). Diet Composition of Juvenile Pigfish, *Orthopristis chrysoptera* (Perciformes: Haemulidae), from the Northern Gulf of Mexico. *Gulf of Mexico Science* 19(1), 6. <https://doi.org/10.18785/goms.1901.06>
- Jennings, S., y Kaiser, M. J. (1998). The effects of fishing on marine ecosystems. *Advances in marine biology*, 34, 201-352. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60212-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60212-6)
- Kozlovsky, D. G. (1968). A critical evaluation of the trophic level concept. Ecological efficiencies. *Ecology*, 49(1), 48–60. <https://doi.org/10.2307/1933560>
- Larkin, P. A. (1996). Concepts and issues in marine ecosystem management. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 6, 139–164. <https://doi.org/10.1007/BF00182341>
- Lavaniegos, B. E., Heckel, G., y Ladrón, P. (2012). Seasonal variability of copepods and cladocerans in Bahía de los Ángeles (Gulf of California) and importance of *Acartia clausi* as food for whale sharks. *Ciencias Marinas*, 38(1a), 11–30. <https://doi.org/10.7773/cm.v38i1A.2017>
- Lavín, M. F., Beier, E., y Badan, A. (1997). Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. In *Contribuciones a la oceanografía física en México. Monografía* (Vol. 3). En: Lavín, M.F. (Ed.). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Melo, F. J., Suárez, A., Amador, I. G., Gastélum, E., Espinosa, M. J., & Torre, J. (2018). Bases para el ordenamiento de la pesca artesanal con la participación del sector productivo en la Región de las Grandes Islas, Golfo de California. *Cienc. Pesquera*, 26, 81-100. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/417212/9_CP_26_1_mayo_2018_Fernandez-Rivera_et_al_ordenamiento.pdf
- Mercado, J. A., Santamaría, E., González, A., Sánchez, L., Gracia, M. F., Millán, R., y Torres, C. (2017). Productivity in the Gulf of California large marine ecosystem. *Environmental Development*, 22, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2017.01.003>
- Morales-Zárate, M. V., Arreguín-Sánchez, F., López-Martínez, J., y Lluch-Cota, S. E. (2004). Ecosystem trophic structure and energy flux in the Northern Gulf of California, México. *Ecological Modelling*, 174(4), 331–345. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.09.028>
- Morato, T., Watson, R., Pitcher, T. J., y Pauly, D. (2006). Fishing down the deep. *Fish and Fisheries*, 7(1), 24–34. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2006.00205.x>
- Mouillot, D., Villéger, S., Parravicini, V., Kulbicki, M., Arias-González, J. E., Bender, M., Chabanet, P., Floeter, S. R., Friedlander, A., Vigliola, L., y Bellwood, D. R. (2014). Functional over-redundancy and high functional vulnerability in global fish faunas on tropical reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(38), 13757–13762. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317625111>
- Odum, E. P. (1969). The Strategy of Ecosystem Development: An understanding of ecological succession provides a basis for resolving man's conflict with nature. *Science*, 164(3877), 262–270. <https://doi.org/10.1126/science.164.3877.262>
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., y Torres Jr, F. (1998). Fishing down marine food webs. *Science*, 279(5352), 860–863. <https://doi.org/10.1126/science.279.5352.860>

- Ramírez, G., Reyes, H., Balart, E. F., Olivier, D., Huato, L., Micheli, F., y Edgar, G. J. (2020). Reduced fish diversity despite increased fish biomass in a Gulf of California Marine Protected Area. *PeerJ*, 8, e8885. <https://doi.org/10.7717/peerj.8885>
- Roden, G. I. (1958). Oceanographic and Meteorological Aspects of the Gulf of California. *Pacific Science*, 12(1), 21–45. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/server/api/core/bitstreams/40a8b56e-192b-4479-98de-6a67a13cc761/content>
- Rodríguez, N., y Enríquez, R., Cárdenas, N. (2008). Tiburón ballena. En G. Danemann y y E. Ezcurra (Eds.), *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad: Línea base 2007* (pp. 563–603). Instituto Nacional de Ecología.
- Rosas, R., Salinas, C. A., Koch, V., Luna, P. D. M., y Morales, M. V. (2008). Importance of jumbo squid *Dosidicus gigas* (Orbigny, 1835) in the pelagic ecosystem of the central Gulf of California. *Ecological Modelling*, 218(1–2), 149–161. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.06.036>
- Ruíz, M. T. (2016). *Diseño de una propuesta interdisciplinaria de manejo basado en el conocimiento del ecosistema (EBM) para la Reserva de la Biósfera Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes, B.C., México*. [Tesis de Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Autónoma de Baja California]. https://www.researchgate.net/publication/306240470_Diseño_de_una_propuesta_interdisciplinaria_de_manejo_basado_en_el_conocimiento_del_ecosistema_EBM_para_la_Reserva_de_la_Biosfera_Bahia_de_los_Angeles_Canales_de_Ballenas_y_de_Salsipuedes_BC_Mexico
- Sala, O. E., Stuart Chapin, F., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., y Kinzig, A. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459), 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- SEGOB (Secretaría de Gobernación). (05 de junio de 2007). *DECRETO por el que se declara área natural protegida, con la categoría de reserva de la biosfera, la zona marina conocida como Bahía de los Angeles, canales de Ballenas y de Salsipuedes, comprendiendo la zona federal marítimo terrestre correspondiente a la porción de la costa oriental de la península de Baja California, ubicada frente al Municipio de Ensenada, en el Estado de Baja California*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4989543yfecha=05/06/2007#gsc.tab=0
- SEGOB (Secretaría de Gobernación). (5 de noviembre de 2013). *ACUERDO por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del área natural protegida con la categoría de Reserva de la Biosfera la zona marina conocida como Bahía de los Ángeles, canales de Ballenas y de Salsipuedes*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5320669yfecha=05/11/2013yprint=true
- SEMARNAP (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). (1996). *Programa de Áreas Naturales Protegidas de México, 1995-2000*. <http://legismex.mty.itesm.mx/progs/panpm.pdf>
- Tershy, B. R., Breese, D., y Alvarez-Borrego, S. (1991). Increase in cetacean and seabird numbers in the Canal de Ballenas during an El Niño-Southern Oscillation event. *Marine Ecology Progress Series*, 69, 299–302.
- Thomson, D. A., Findley, L. T., y Kerstitch, A. N. (2000). Reef fishes of the Sea of Cortez: the rocky-shore fishes of the Gulf of California, revised edition. *University of Texas Press*.
- Torreblanca, E. (2008). *Bases para el manejo de la pesquería del pulpo (Octopus bimaculatus, Verrill 1883)*

en la Reserva de la Biosfera Bahía de los Angeles, canales de ballenas y salsipuedes, Baja California, México. [Tesis de Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Universidad de Baja California]. Repositorio institucional de la Universidad de Baja California. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/8134>

Torres, S. (2000). *Distribución espacial y variabilidad temporal de nutrientes en el Golfo de California*. [Tesis de Maestría en Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio institucional de la Universidad de Baja California. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/937>

Ulanowicz, R. E., y Norden, J. S. (1990). Symmetrical *overhead* in flow networks. *International Journal of Systems Science*, 21(2), 429–437. <https://doi.org/10.1080/00207729008910372>

Viesca-Lobatón, C., Balart, E. F., González-Cabello, A., Mascareñas, I., Aburto-Oropeza, A. (2008). Los peces de arrecife de Bahía de Los Ángeles, Golfo de California. In E. E. G.D. Danemann (Ed.), *Bahía de Los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea base 2007* (pp. 385–427). Instituto Nacional de Ecología.

Violle, C., Navas, M., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., y Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116(5), 882–892.

Walters, C., y Christensen, V. (2007). Adding realism to foraging arena predictions of trophic flow rates in Ecosim ecosystem models: Shared foraging arenas and bout feeding. *Ecological Modelling*, 209(2), 342–350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.06.025>

Anexos

Anexo 1

Tabla 7. Matriz de dietas utilizada en el input de EwE.

Presa\depredador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1 Odontocetos	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Mistictos	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Aves vadeadoras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 Aves piscivoras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 Tortugas	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 Tiburón ballena	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Tiburones	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 Rayas	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 Haemulidae	0.13	0	0	0.04	0	0	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 Lubinas y meros	0.09	0	0	0.00	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11 Peces de escama	0.21	0	0	0.07	0	0	0.11	0	0.01	0	0	0.00	0	0.01	0	0	0	0.07	0.08	0.11	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0
12 Corvina y chano	0.04	0	0	0.03	0	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13 Pelágicos menores	0.10	0	0	0.45	0.00	0	0.08	0	0.05	0.13	0.18	0.04	0	0.67	0.00	0	0	0.24	0.12	0.08	0	0	0	0	0	0.08	0	0	0	0
Sierra/peces de																														
14 corrida	0.05	0	0	0.00	0	0	0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 Seriolas	0.11	0	0	0.07	0	0	0.10	0	0	0.00	0	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 Lenguado	0	0	0	0	0	0	0.01	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17 Peces arrecifales	0.04	0	0	0.01	0	0	0.09	0.02	0.16	0.02	0.00	0.01	0	0.05	0	0.03	0	0.00	0.07	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 Pesca deportiva	0.13	0	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19 Pargo	0.05	0	0	0.00	0	0	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20 Morenas	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0.06	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21 Equinodermos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.22	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.01	0	0	0
22 Pepino de mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0
23 Macrocrustáceos	0	0	0	0	0	0	0.02	0.09	0.07	0	0	0	0	0.00	0.01	0.00	0	0	0.00	0.06	0.00	0	0	0	0	0	0.16	0.01	0	0
24 Bivalvos	0	0	0.19	0	0.05	0	0	0.17	0.08	0.01	0.05	0.20	0	0	0.06	0	0	0.07	0	0.00	0	0.01	0	0	0	0.04	0	0.17	0	0
25 Cangrejos y camarones	0	0	0.13	0.07	0.01	0	0.05	0.15	0.00	0.01	0.01	0.11	0	0.01	0.51	0.06	0.11	0.11	0.14	0.06	0	0	0.27	0	0	0.05	0	0.20	0	0
26 Cefalópodos	0.03	0	0	0.06	0	0	0.09	0.26	0.01	0.18	0.02	0	0	0.08	0.01	0.04	0	0	0.03	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27 Otros invert.	0	0	0.68	0.02	0.06	0	0.01	0.27	0.22	0.34	0.40	0.36	0	0.05	0	0.40	0.06	0.27	0.22	0.31	0.09	0.01	0.49	0	0.35	0.59	0	0.19	0	0
28 Jaiba y langosta	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0.07	0.03	0.01	0	0.01	0	0.04	0.11	0.05	0.05	0.03	0	0	0.02	0	0	0.01	0	0	0	0
29 Cnidarios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0
30 Zooplancton	0	0.95	0	0.14	0.00	0.98	0	0	0.36	0	0.21	0.00	0.85	0.04	0.24	0.02	0.72	0.19	0	0.15	0.05	0.01	0.09	0.01	0.22	0	0.32	0.09	0.10	0
31 Macroalgas	0	0	0	0	0.89	0	0	0.03	0	0.02	0.02	0.15	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0	0.66	0	0.02	0	0.17	0	0.15	0.06	0	0
32 Fitoplancton	0	0.05	0	0	0	0.02	0	0	0.00	0	0	0.11	0.13	0	0	0	0	0.01	0	0	0.20	0	0.09	0.99	0.25	0	0.10	0	0.89	1.00
33 Detritus	0.00	0.00	0.00	0.04	0	0	0	0	0.05	0	0.05	0.00	0.02	0	0.23	0.30	0.00	0	0.06	0.09	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.25	0.01	0.00

Anexo 2

Tabla 8. Fuentes utilizadas para la información de los parámetros de entrada para la construcción del sistema y la matriz de dietas.

	Grupo funcional	Fuente
1	Odontocetos	Ruiz (2016); Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
2	Misticetos	Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
3	Aves vadeadoras	Díaz et al (2012)
4	Aves piscívoras	Díaz et al (2012)
5	Tortugas	Ruiz (2016); Díaz et al (2012); Kameda e Ishihara (2009)
6	Tiburón ballena	Calderón et al (2021); Ruiz (2016)
7	Tiburones	Calderón et al (2021); Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
8	Rayas	Calderón et al (2021); Díaz et al (2012)
9	Haemulidae	Hermosillo et al (2018); Díaz et al (2012); Morales et al (2011); Howe (2001)
10	Lubinas y meros	Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
11	Peces de escama	Hermosillo et al (2018); Ruiz (2016); Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
12	Curvina y chano	Ruiz (2016); Díaz et al (2012)
13	Pelágicos menores	Ruiz (2016); Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
14	Sierra/peces de corrida	Hermosillo et al (2018); Ruiz (2016); Díaz et al (2012); Morales et al (2011)
15	Seriolas	Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
16	Lenguado	Ruiz (2016); Díaz et al (2012)
17	Peces arrecifales	Chiriboga (2023); Hermosillo et al (2018); Ruiz (2016); Díaz et al (2012); Morales et al (2011); Díaz et al (2007)
18	Pesca deportiva	Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
19	Pargo	Ruiz (2016); Díaz et al (2012)
20	Morenas	Díaz et al (2012)
21	Equinodermos	Calderón et al (2021); Hermosillo et al (2018); Díaz et al (2012)
22	Pepino de mar	Heramosillo et al (2018); Ruiz (2016); Díaz et al (2012); Morales et al (2011)
23	Macrocrustáceos	Calderón et al (2021); Díaz et al (2012)
24	Bivalvos	Ruiz (2016); Díaz et al (2012)
25	Cangrejos y camarones	Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
26	Cefalópodos	Heramosillo et al (2018); Ruiz (2016); Díaz et al (2012); Morales et al (2011); Díaz et al (2007)
27	Otros invert.	Díaz et al (2012); Morales et al (2011); Díaz et al (2007)
28	Jaiba y langosta	Ruiz (2016); Díaz et al (2012); Morales et al (2011)
29	Cnidarios	Heramosillo et al (2018); Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
30	Zooplancton	Heramosillo et al (2018); Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
31	Macroalgas	Heramosillo et al (2018); Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
32	Fitoplancton	Heramosillo et al (2018); Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)
33	Detritus	Heramosillo et al (2018); Díaz et al (2012); Díaz et al (2007)

Anexo 3

Pre-balance diagnostics

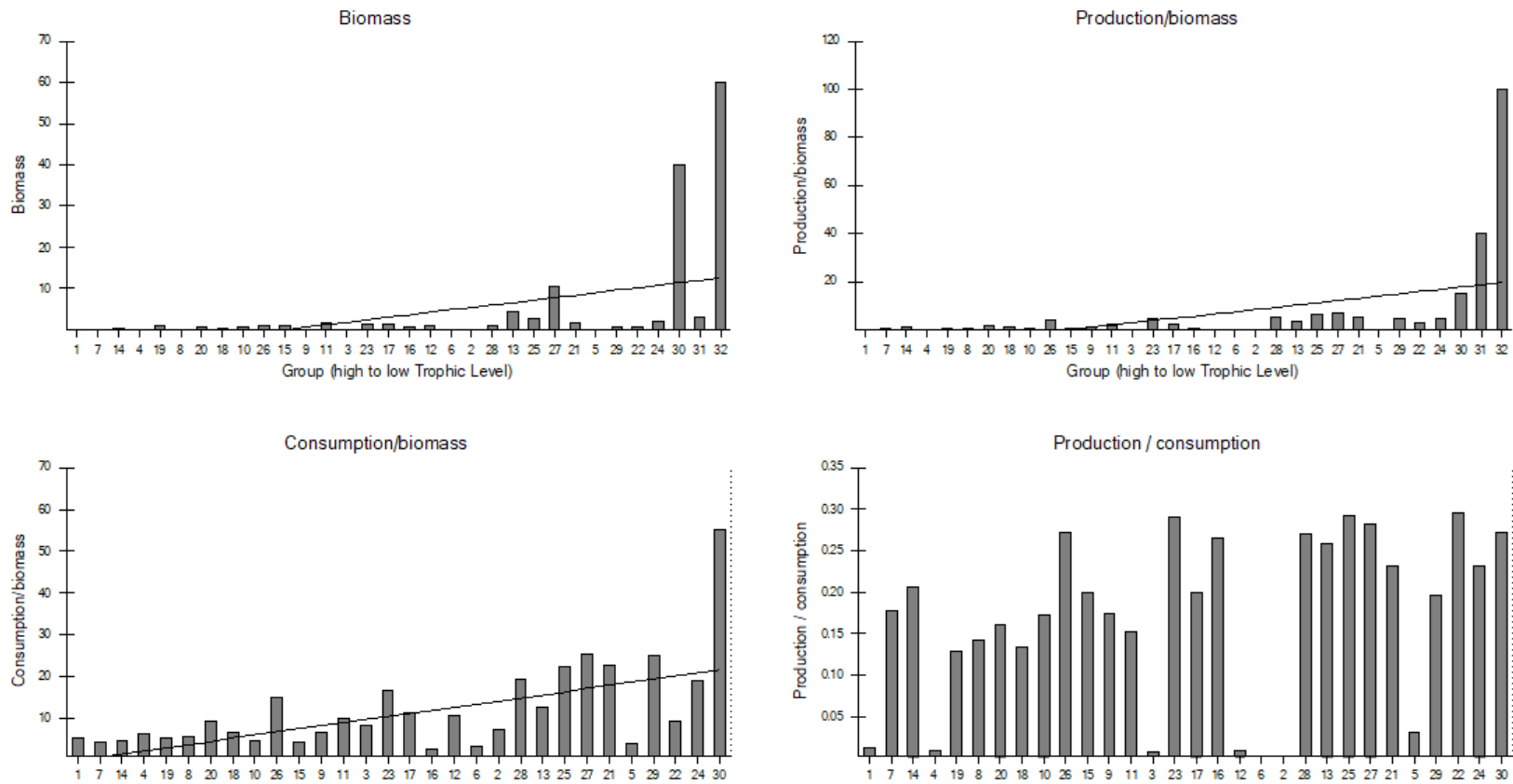


Figura 7. PREBAL estimado por EWE.

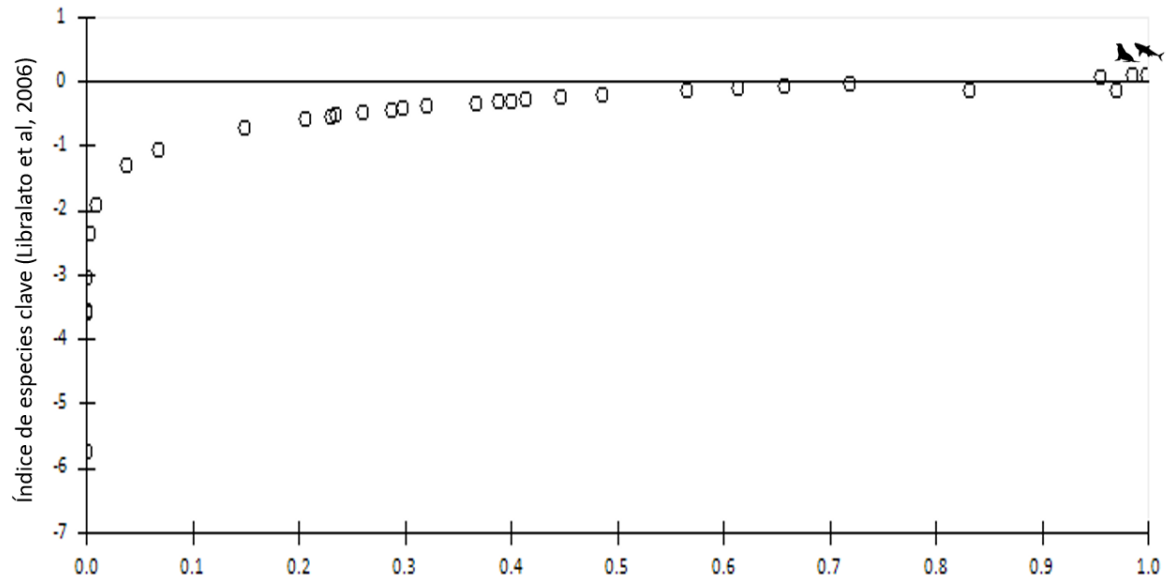
Anexo 4

Figura 8. Índice de Libralato (2006) de grupos funciones clave dentro del sistema. Cada círculo representa a un GF. en el ecosistema.