



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**MAGÍSTER EN MATEMÁTICA CON MENCIÓN EN
MODELACIÓN MATEMÁTICA**

Tema:

**MODELO MATEMÁTICO PARA LA EVALUACIÓN DE RECURSOS
PESQUEROS DE LAS PESQUERÍAS DE LA ZONA 5**

AUTOR:

Lcda. Narcisa Elena Yambay Sánchez

Director TFM:

Dr. Juan Diego Valenzuela Cobos

MILAGRO, octubre de 2022 ECUADOR

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Por la presente hago constar que he analizado el proyecto de grado presentado por. **Narcisa Elena Yambay Sánchez**, con el tema “**MODELO MATEMÁTICO PARA LA EVALUACIÓN DE RECURSOS PESQUEROS DE LAS PESQUERÍAS DE LA ZONA 5**”, para optar al título de **Magister en MATEMÁTICA CON MENCIÓN EN MODELACIÓN MATEMÁTICA EN MODALIDAD PRESENCIAL**, y que acepto tutoriar a la estudiante, durante la etapa del desarrollo del trabajo hasta su presentación, evaluación y sustentación.

Milagro, a los 13 días del mes de octubre del 2022



Firmado electrónicamente por:
**JUAN DIEGO
VALENZUELA
COBOS**

.....
Firma del tutor
PhD. Juan Diego Valenzuela Cobos
C.I. 0927981670

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La autora de esta investigación declara ante el Comité Académico del programa de Maestrías en Matemática Mención Modelación Matemática de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título o Grado de una institución nacional o extranjera.

Milagro, a los 22 días del mes de noviembre del 2022



Firmado electrónicamente por:
**NARCISA ELENA
YAMBAY SANCHEZ**

LC. NARCISA ELENA YAMBAY SANCHEZ

C.I.0925851941

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN MATEMÁTICA CON MENCIÓN MODELACIÓN MATEMÁTICA CON MENCIÓN EN MODELACIÓN MATEMÁTICA**, presentado por **YAMBAY SANCHEZ NARCISA ELENA**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "MODELO MATEMÁTICO PARA LA EVALUACIÓN DE RECURSOS PESQUEROS DE LAS PESQUERÍAS DE LA ZONA 5", las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	46.00
DEFENSA ORAL	25.00
PROMEDIO	71.00
EQUIVALENTE	Regular



Firmado electrónicamente por:
**EDWIN
EVARISTO**

Phd. LEON PLUAS EDWIN EVARISTO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**LUIS HENRY
TORRES
ORDONEZ**

Mee TORRES ORDOÑEZ LUIS HENRY
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
**JORGE
FABRICIO
GUEVARA VIEJO**

Ph.D. GUEVARA VIEJO JORGE FABRICIO
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A Dios por Bendecirme y conceder la sabiduría necesaria para cumplir con las metas que me propongo en mi vida.

A mi esposo Milton Fabian, y a mi hijo Misael, que son la motivación perfecta para lograr culminar esta meta tan anhelada.

A mis hermanos Nelson, Lizandro y Freddy, a mis dos hermanos que desde el cielo me guían María Nieves y Rodrigo, a mis padres Basilia y Agustín que es lo más maravilloso que Dios me ha dado.

Lcda. Narcisa Elena Yambay Sánchez.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme cumplir una meta más. A mi familia en especial a mi madre Basilia Sánchez que con sus oraciones y bendiciones me protege y me lleva por el camino de bien

A mi tutor de tesis DR. Juan Diego Valenzuela. Por ser mi apoyo constante durante el desarrollo de mi tesis.

A mis compañeros de la maestría que siempre estuvieron pendientes motivando para cumplir con este objetivo.

Lcda. Narcisa Elena Yambay Sánchez.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Doctor

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro Presente.

Ciudad. -

Mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor del Trabajo realizado como requisito previo para la obtención de mi Título de Cuarto Nivel como **Magister en MATEMÁTICA CON MENCIÓN EN MODELACIÓN MATEMÁTICA**, cuyo tema fue “Modelo matemático para el análisis de recursos pesqueros de las pesquerías de la zona 5” y que corresponde al Vicerrectorado de Investigación y Posgrado

Milagro, a los 22 días del mes de noviembre del 2022



Firmado electrónicamente por:
NARCISA ELENA
YAMBAY SANCHEZ

LC. NARCISA ELENA YAMBAY SANCHEZ

C.I.0925851941

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I EL PROBLEMA	4
1.1. El Problema	4
1.1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Delimitación del problema	5
1.3. Formulación del problema	7
1.4. Preguntas de Investigación.....	7
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos Específicos	7
1.6. Justificación	8
1.7. Conceptualización y operacionalización de variables	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	11
2.1. Marco teórico	11
2.1.1. Modelo matemático.....	11
2.1.2. Redes neuronales artificiales	13
2.2. Marco conceptual	15
2.2.1. Actividad económica	15
2.2.2. Biodiversidad	15
2.2.3. Clientes	16
2.2.4. FAO.....	16

2.2.5.	Pesquería.....	16
2.2.6.	Productividad	16
2.2.7.	Unidades de pesquería	17
2.2.8.	Medio ambiente	17
2.2.9.	Zona 5.....	17
2.2.10.	Pesca de arrastre.....	17
2.2.11.	Modelo matemático.....	18
2.2.12.	Redes neuronales artificiales	18
2.2.13.	Servidores.....	18
2.2.14.	Recursos pesqueros	18
2.2.15.	Recursos acuícolas.....	18
2.2.16.	Recursos hidrobiológicos	19
2.2.17.	Recurso renovable	19
2.3.	Marco referencial.....	19
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....		24
3.1.	Diseño de la investigación	24
3.2.	Tipo de investigación	24
3.2.1.	Investigación Exploratoria.....	24
3.2.2.	Investigación Documental.....	25
3.2.3.	Investigación Aplicada.....	25
3.2.4.	Investigación Cuantitativa.....	25
3.3.	Población y nuestra	25
3.4.	Método, técnica y uso de software de tratamiento y análisis de datos	26
CAPITULO IV PROPUESTA.....		27
4.1.	Formulación del modelo económico estático de Gordon-Schaefer	27
4.2.	Datos encontrados	34
4.3.	Estimación de los coeficientes.....	39
4.4.	Estimación de Capturas y Modelo	45
CONCLUSIONES.....		49

RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Operacionalización de Variables</i>	9
Tabla 2. Cantidad de Desembarques en Toneladas para periodo 1981 - 2013. ...	36
Tabla 3. Datos extrapolados de la figura 4 para el periodo de estudio.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ejemplo de Curva del crecimiento logístico de Schaefer.</i>	29
Figura 2. <i>Ejemplo de Forma logística de la trayectoria temporal del tamaño del stock.</i>	31
Figura 3. <i>Ejemplo de Curva de equilibrio de la población.</i>	33
Figura 4. <i>Flota pesquera artesanal periodo 1971-2013.</i>	38
Figura 5. <i>Desembarques de especies pelágicas pequeñas.</i>	39
Figura 6. <i>Variación flota pesquera artesanal periodo 1981-2013.</i>	40
Figura 7. <i>Evolución del error en el Algoritmo PSO.</i>	45
Figura 8. <i>Capturas Estimadas por el modelo de Gordon-Schaefer.</i>	47
Figura 9. <i>Tamaño del Stock Estimado por el modelo de Gordon-Schaefer.</i>	48

RESUMEN

La presente investigación presentó como objetivo la proposición de un modelo matemático apropiado que permita evaluar los recursos pesqueros de las pesquerías de la zona 5 utilizando el modelo de producción Gordon Schaefer, para tal fin se realizó una Identificación los factores que inciden en una población pesquera con el fin de mantener la curva de rendimiento sostenible a largo plazo, estos, luego se estableció un análisis de la variabilidad de cada uno de los factores que inciden en la industria pesquera de las pesquerías de la zona 5, esto se logró con la recopilación de data sobre desembarcos y flota pesquera del Ecuador en el periodo 1981-2013, en base a esto, se construyó un modelo matemático apropiado, recurriendo al algoritmo de optimización por enjambre de partículas, para calcular el rendimiento máximo sostenible de la capacidad productiva de la pesquería utilizando el método Gordon Schaefer, encontrándose que el valor del stock inicialmente era de $1,3846 \times 10^6$ toneladas, el límite del stock en el ambiente se fija en $1,8420 \times 10^6$ toneladas y el factor de crecimiento o tasa de crecimiento intrínseco K es de 0,5484.

Palabras Claves: Modelo Matemático, método Gordon Schaefer, algoritmo de optimización por enjambre de partículas, industria pesquera.

ABSTRACT

The present investigation presented as objective the proposal of an appropriate mathematical model that allows evaluating the fishing resources of the fisheries of zone 5 using the Gordon Schaefer production model, for this purpose an identification was made of the factors that affect a fishing population with In order to maintain the long-term sustainable yield curve, these, then an analysis of the variability of each of the factors that affect the fishing industry of the fisheries of zone 5 was established, this was achieved with the compilation of data on landings and fishing fleet of Ecuador in the period 1981-2013, based on this, an appropriate mathematical model was built, using the particle swarm optimization algorithm, to calculate the maximum sustainable yield of the productive capacity of the fishery using the Gordon Schaefer method, finding that the value of the stock was initially 1.3846×10^6 ton In addition, the limit of the stock in the environment is set at 1.8420×10^6 tons and the growth factor or intrinsic growth rate K is 0.5484.

Keywords: Mathematical model, Gordon Schaefer method, particle swarm optimization algorithm, fishing industry.

INTRODUCCIÓN

La actividad pesquera en sus diferentes escalas se caracteriza por no disponer de un control efectivo sobre su nivel de explotación, por lo mismo, existe una sobreexplotación en determinadas especies y la consecuente vulnerabilidad biológica asociada a las especies. En este sentido, se establece que los stocks de peces son mínimamente evaluados, los productos adquieren un valor elevado y su proceso de operación es de acceso abierto para las partes interesadas (Castillo, 2022).

La pesca es considerada como una actividad de índole primaria y que es fuente de alimento y de riqueza a nivel mundial, de todas maneras, se caracteriza por ser variable y es función de atributos biológicos y ecológicos propios de los recursos naturales. Por otra parte, aparecen factores socioeconómicos y gubernamentales que inciden en la toma de decisiones de los pescadores sobre temas de explotación y regulación de la actividad. Es decir, algunas especies se encuentran en veda y son parte de una categoría en peligro de extinción y deben ser protegidas mediante instrumentos legales en el medio internacional (FAO, 2022).

Lo indicado, establece la importancia de disponer de herramientas de evaluación aplicables a los recursos pesqueros y que se sustenten en el análisis bio económico asociado a modelos matemáticos, datos biológicos, ecológicos y la propia economía de los recursos, sumado a estrategias de explotación, controles de regulación, entre otros (Lupin & Keongan, 2019).

Es necesario tener presente que el análisis bio económico es importante sobre especies vulnerables debido a la sobreexplotación, pues un manejo pesquero deficiente de las especies es un factor de colapso que afecta de manera directa en la industria pesquera y que pone en peligro de extinción a las diferentes especies (Lupin & Keogan, 2014)

En el caso de las especies consideradas como vulnerables, estas se caracterizan por disponer de una tasa de crecimiento baja, tamaño corporal grande, entre otros.

En consecuencia, las especies mayormente vulnerables son parte de ingresos elevados para los pescadores y disponen de precios elevados en el mercado internacional. De todas maneras, su protección y conservación es compleja por ser especies de mayor valor, por lo que, se convierte en un incentivo para la pesca ilegal y de contrabandistas (Lupin & Keogan, 2014).

La relación causa efecto y correspondiente alcance de la pesca ilegal ha sido estudiada de forma superficial en pesquerías de menor escala debido a que son parte de países en desarrollo que se caracterizan por disponer de entidades gubernamentales débiles en su gestión con un mínimo monitoreo sobre sus recursos, lo cual, potencializa el incumplimiento de medidas de control (SAGPyA, 2020).

De forma general, se desconoce las razones que motivan el fracaso de las pesquerías, sin embargo, un aspecto común es que el proceso de evaluación y aplicación de controles han ignorado los principios económicos que inducen a los pescadores a la explotación de los recursos de forma desmedida. Por lo tanto, es valedero una evaluación e implementación de medidas de manejo en base a un análisis bioeconómico de los pescadores que involucre factores como el tiempo, costo y beneficio (Lupin & Keongan, 2019).

En el mundo se pretende la sostenibilidad de las pesquerías a menor escala, sin embargo, la sostenibilidad es parte del stock en el que se regulan los objetivos políticos, sociales y ambientales, de manera paralela, se ajustan las variables de stocks, de las flotas y del ambiente.

En el caso del Ecuador, este no escapa del constante cambio de los intereses de los participantes dentro de la actividad pesquera, es necesario el establecimiento de controles reales sobre la evolución de este tipo de gestión comercial, sin embargo, es relevante la existencia de parámetros que regulen la explotación y que se complementen con la renovación de las especies, sin olvidar que siendo un enfoque ambiental es necesaria la participación del ente gubernamental con la generación de políticas y controles apropiados.

En conclusión, la pesca ilegal es una amenaza sobre el índice de sostenibilidad de las pesquerías, pues motiva a los problemas de índole social, económico y ambiental, en este caso, se determina a la pesca insegura, conflictos entre los pescadores, reducción de ingresos en las flotas, distribución desigual de los ingresos nativos de la pesca, caída de ingresos del estado, afectación ambiental, reducción de stocks, entre otros. Un ejemplo de este problema es la flota industrial, cuyas pérdidas económicas mundiales ascienden a los \$10 billones de dólares debido a la pesca ilegal.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. El Problema

A nivel mundial, la pesca ilegal constituye una amenaza en el proceso de sostenibilidad de las pesquerías y es un factor que afecta directamente en el medio social, económico y ambiental de las naciones, por lo que, se producen de manera continua los conflictos entre los pescadores, es notoria la reducción de ingresos económicos en las flotas y la consecuente distribución inequitativa de los ingresos.

En el caso del Ecuador, su actividad pesquera atraviesa una situación similar a la que es parte del concierto internacional debido al manejo inadecuado de sus recursos donde existen condiciones de competencia individual generada por el propio mercado y por la decisión individual del pescador para regular su actividad.

Es válido tener presente que las entidades públicas del Ecuador, no se caracterizan por disponer de un efectivo control sobre las diferentes actividades económicas y más bien, su accionar se enfoca en un ámbito sancionador dejando de lado la generación en implementación de políticas efectivas que sean parte de un efectivo mecanismo de control sobre las partes interesadas en una actividad como la pesca.

1.1.1. *Planteamiento del problema*

A nivel del comportamiento de los pescadores se determina la presencia de una competencia de naturaleza individual y que motivan a las pesquerías a un índice de sobreexplotación de los recursos, este particular se debe fundamentalmente a aspectos como los siguientes:

- Ausencia de medios que aseguren beneficios en el mediano y largo plazo por regular la pesca.

- Reducida movilidad a otras actividades económicas por parte de las personas involucradas en el sector.
- No se consideran los costos totales que son parte de la actividad económica de la pesca.

Por lo indicado, es evidente que la gestión gubernamental que regula la pesca a nivel internacional y nacional adolece de una efectiva gestión que permita responder a las expectativas de los clientes internos y externos, razón por la cual, la presente investigación se orienta a un Modelo que sea un aporte en el medio de control pesquero. Una de las aplicaciones que se presenta como viable es el Modelo de Gordon-Schaefer, la cual, constituyen una herramienta clásica y de gran utilidad en la gestión de los recursos pesqueros. Es válido indicar que su aplicación aborda problemas de sobrepesca nativas de pesquerías que no han sido reguladas, sin embargo, determina condiciones de equilibrio biológico y económico para una población pesquera que oriente sus esfuerzos a controlar la curva de rendimiento sostenible.

1.2. Delimitación del problema

La pesca y la acuicultura constituyen una fuente vital de alimentos, empleo, recreación, comercio y bienestar económico para las poblaciones de la zona 5, por tanto, la explotación pesquera tendría que llevarse a cabo de forma responsable. Antes los recursos acuáticos se percibían como un don ilimitado de la naturaleza, mito que los hechos han desvanecido al constatar que, aun siendo renovables, en realidad se encuentran limitados y tienen que someterse a una ordenación adecuada para que su contribución al bienestar nutricional, económico y social.

Se debe recalcar que la evaluación de recursos es la ciencia de la recolección de datos, su análisis y su modelado proporciona la base para la gestión prudente y sostenible de los recursos pesqueros.

Para evaluar los recursos pesqueros se necesita: Disponer de bases de datos apropiadas, Realizar los análisis más importantes, efectuar proyecciones acorto y a largo plazo de las capturas, Determinar puntos de referencia biológicos a largo plazo, Estimar los efectos a corto y a largo plazo en las capturas de los stocks para diferentes estrategias de explotación pesqueras.

Para efecto de la evaluación, se puede considerar por stock un grupo de peces a los cuales se puede establecer límites geográficos (las flotas de pesca) que conforman.

El objetivo de la evaluación de STOCKS de peces es la búsqueda de nivel de explotación que permita obtener, a largo plazo, el rendimiento máximo en peso de una pesquería lo cual se aplica para todos los modelos matemáticos. Para la aplicación de datos se debe tener en cuenta los siguientes parámetros de stock o parámetros de población: parámetros de crecimiento, coeficiente mortalidad, mortalidad por pesca, mortalidad natural. El nivel óptimo de series de modelo requiere de stocks. Los modelos que se aplican al análisis de recursos pesqueros constan de tres elementos básicos:

- Entradas: (el esfuerzo de pesca, número de días de pesca en el mar).
- Salidas: (los desembarques)
- Procesos: lo que relaciona las entradas con las salidas (los procesos biológicos y las operaciones de pesca).

Actualmente, el uso del modelo matemático Gordon-Schaefer es ampliamente difundido para el caso del análisis pesquero. (Lupin & Keongan, 2019) Al aplicar un modelo matemático en la evolución de recursos en cualquier de las pesquerías perteneciente a la zona 5. Se logrará predecir la explotación óptima de recursos pesqueros mediante la implementación de medidas de ordenación, utilizando el modelo matemático de Gordon-Schaefer para el estudio de la gestión de recursos pesqueros, que permite abordar el problema de sobre pesca en pesquerías no reguladas (Beatriz, Lupín; Lucia, Keogan; Agustina, Muñoz, 2014).

1.3. Formulación del problema

Del planteamiento descrito anteriormente, es factible la formulación del problema de la siguiente manera:

¿Cuál es el método de control y mejora de la gestión de mantenimiento en la Central Térmica Santa Rosa, de Quito-Ecuador?

1.4. Preguntas de Investigación

Las preguntas que son parte de la presente investigación disponen del siguiente contenido:

- ¿Cómo se mantiene la curva de rendimiento sostenible en el largo plazo de la zona pesquera?
- ¿De qué manera, se conoce la incidencia en la industria pesquera de la Zona 5?
- ¿Cuál es la forma de cálculo del rendimiento máximo sostenible de la capacidad productiva de la pesquería de la Zona 5?
-

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Proponer un modelo matemático apropiado que permita evaluar los recursos pesqueros de las pesquerías de la zona 5 utilizando el modelo de producción Gordon Schaefer

1.5.2. Objetivos Específicos

- Identificar los factores que inciden en una población pesquera con el fin de

mantener la curva de rendimiento sostenible a largo plazo.

- Realizar un análisis de la variabilidad de cada uno de los factores que inciden en la industria pesquera de las pesquerías de la zona 5.
- Construir un modelo matemático apropiado para calcular el rendimiento máximo sostenible de la capacidad productiva de la pesquería utilizando el método Gordon Schaefer.

1.6. Justificación

Históricamente las matemáticas han sido una fuente de conocimiento del ser humano en función de responder a las inquietudes de las personas dentro de su diario convivir; con el paso del tiempo su utilidad es mayor y dispone de una gran variedad de aplicaciones a nivel comunitario, industrial y científico. La época actual se caracteriza por ser dominada por la presencia de los denominados algoritmos, mismos que han motivado una revolución digital a todo nivel. Este particular se traduce en una generación de datos de interés que posteriormente son utilizados como insumos dentro de la elaboración de Modelos Matemáticos que predicen la evolución de valores en estudio.

La matemática aplicada en el ámbito industrial se enfoca en el desarrollo de respuestas para los sectores productivos de productos y/o servicios. En este sentido, la utilización de los modelos matemáticos facilita el análisis efectivo de las situaciones inherentes a un ciclo de producción. Por otra parte, se conoce que los modelos aplican el lenguaje matemático para lograr esta representación y de manera complementaria suministran un potencial pronóstico que sustenta la toma de decisiones en función de un análisis de datos.

Sobre el impacto que se provoca con el uso de un Modelo Matemático se tiene presente la importancia de disponer en las consecuentes evaluaciones el denominado análisis bio económico, el cual, permite la integración de factores de

índole económico que establecen un nivel de decisión de los pescadores en función de las variables de espacio, tiempo e incertidumbre que afectan la sostenibilidad.

En el caso del cálculo de la predicción de rendimiento de producción de pesca es relevante disponer de técnicas como el diseño del muestreo, el análisis estadístico de los valores, la predicción de capturas, entre otros. Adicionalmente, es significativo el uso de técnicas bayesianas, por lo que, la estimación a partir de técnicas bayesianas es parte de la mayor parte de los modelos de evaluación de pesquerías y este es el caso, del modelo de equilibrio planteado por Schaefer.

Sobre el ámbito de producción, se determina la existencia de diversas variables que son capaces de afectar negativamente el cumplimiento de la producción que es parte de una planificación, en este sentido, se identifica a variables como el Coeficiente de mortalidad por pesca (F), Coeficiente de mortalidad natural (M), Coeficiente de mortalidad total (Z), Numero de peces al inicio de periodo (Nt), Numero de peces muertos por mortalidad natural (D), Numero de peces capturados por la pesca (C).

Por lo arriba indicado, se determina la importancia del desarrollo de un Modelo Matemático de producción en base al criterio de Gordon Schaefer, el cual, se basa en datos nativos de los esfuerzos pesqueros y del volumen de capturas en función de gestionar una actividad sostenible en el tiempo.

1.7. Conceptualización y operacionalización de variables

Dentro de una investigación el uso de las variables dependiente e independiente es de particular importancia. En el caso de la variable independiente (VI) se establece como un medio de cambio o control como parte del estudio de su efecto sobre la variable dependiente (VD), por lo tanto, la variable dependiente constituye la que se investiga y que es sujeta de medición.

Para el caso presente, se establece como variable independiente y dependiente a:

- Variable independiente: Modelo Matemático

- Variable dependiente: Recursos Pesqueros de las Pesquerías de la Zona 5

Tabla 1.
Operacionalización de Variables.

Variable	Definición conceptual	Indicadores	Técnica
Variable independiente: Modelo Matemático	Un modelo matemático es una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de un fenómeno o de la relación entre dos o más variables. La rama de las matemáticas que se encarga de estudiar las cualidades y estructura de los modelos es la llamada "teoría de los modelos" (Roldán, 2020, p. 1).	Ecuaciones y Variables del Modelo económico estático de Gordon-Schaefer •Crecimiento instantáneo de la biomasa del stock •La tasa de crecimiento intrínseco, El rendimiento a corto plazo y el esfuerzo de pesca	Modelo económico estático de Gordon-Schaefer
Variable dependiente: Recursos Pesqueros de las Pesquerías de la Zona 5	Entre los recursos renovables se cuentan las especies acuáticas, la tierra y el agua. Los recursos pesqueros son finitos y el sector necesita competir por ellos con otros tipos de uso. Los recursos de la pesca de captura se suelen considerar, utilizar y gestionar sobre la base de cada población. (FAO, 2022)	•El tamaño del stock •El esfuerzo de pesca	Registro de datos históricos

Elaborado por: La autora.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico

A nivel del marco teórico se determina la existencia de una agrupación de conocimientos y teorías que constituyen la base para la presente investigación, en este caso, se determina el siguiente contenido:

2.1.1. *Modelo matemático*

En el trabajo de Amaya y Pierre (2016) se desarrolla una exposición de los denominados modelos matemáticos que se asocian al crecimiento de la población de peces, en una condición natural sumado a la evolución como parte de la pesca. Por lo tanto, en el caso de las especies, es factible una definición y análisis de la sustentabilidad, acceso y un modelo de gestión que permita el consecuente análisis de datos y la toma de decisiones. En este sentido, se presenta un enfoque sobre diversas especies y de determina la necesidad de una reserva. Así mismo, el modelamiento matemático hizo énfasis en un enfoque cualitativo y cuantitativo sobre el tema de interés.

En el caso del crecimiento natural Amaya y Pierre (Amaya & Pierre, 2016) se sostiene que una población reducida a una sola especie no requiere de una distinción entre los individuos que son parte de su estructura, sin embargo, se debe tener presente el denominado "esfuerzo de pesca", el cual, se representa por una función del tiempo y que expresa la cuantificación de la capacidad de pesca mediante recursos como los barcos, redes, mano de obra, tecnología, entre otros.

Para Del Pezo (Del Pezo, 2016) en base a un modelo de asociatividad se pretende la mejora de la condición de vida de la comunidad que es parte de la pesca artesanal de mariscos, este medio, no ha dispuesto de un crecimiento sostenible ni

mejoras económicas durante el ejercicio de su actividad. Por lo tanto, esta problemática ha inducido al planteamiento de una propuesta fundamentada en herramientas de desarrollo e innovación, a nivel micro y de impacto positivo en la Superintendencia de Economía Popular y Solidaria que regula las labores de barrio San Lorenzo, del cantón Salinas, en la provincia de Santa Elena.

En el criterio de Barzola y Caicedo (2016) es necesario un estudio del Modelo de Biomasa Dinámica de Shaefer aplicado en este caso, a la pesca del atún tropical y en función de los datos de captura y esfuerzo nativos de la CIAT; este particular con el fin de establecer el modelo que se ajuste a la condición nativa de las especies marinas. Se identificó un modelo en base a regresiones para estimar el nivel óptimo de captura. Adicionalmente, se establecieron procedimientos para la estimación del recurso marino en base a un método de ajuste.

Para la óptica de la TASA (2020) la sostenibilidad es un factor relevante a gestionar por parte de los gobiernos de turno. En el caso del sector privado este adopta prácticas sostenibles en función de una influencia positiva en el entorno. En este ámbito, por medio de la aplicación del Modelo Cuidamar en las costas del Perú se ha dispuesto de un sistema de monitoreo continuo en las embarcaciones sobre un área estimada de 500,000 km² y en un intervalo de tiempo de 300 días, bajo esta consideración, los pescadores han cumplido el papel de observadores y actores en temas de pesca sostenible, ecosistema marino y conservación de la fauna marina.

Mediante Vilches (2019) los modelos matemáticos fundamentados en el desarrollo de ecuaciones diferenciales son de utilidad en la vida del ser humano y se traducen en ciencias como la Biología, Física e incluso la Economía. En este sentido, existen factores determinantes como la oferta y la demanda, lo cual, afecta la estabilidad o inestabilidad de precios que son parte de los mercados. En el trabajo, se expuso una introducción de los modelos matemáticos, desarrollo y consecuente validación. Luego, se examinó las ecuaciones diferenciales de primer orden y de orden superior. Finalmente, se analizó las aplicaciones de los modelos matemáticos con base en ecuaciones diferenciales sobre la economía y en puntos significativos de oferta y la demanda.

Para Molina (2016) en el contexto de la planificación de los recursos naturales como las minas se debe conocer el volumen y ubicación del material que permita una maximización de la extracción. En este sentido, se persigue la discretización del terreno en bloques. Mediante el uso de la discretización por bloques es factible la optimización denominada Final Open Pit y luego con el uso de la Capacitated Final Open Pit. Se estima que los bloques son la solución mediante la demostración de propiedades de los pits. Se analizaron extensiones del problema y las potenciales soluciones mediante la optimización en el espacio de las funciones.

Bajo una hipótesis de diferenciabilidad, se orientó el estudio a la densidad de ganancia en el borde del pit. Al final, se logra una discretización numérica sobre el modelo de bloques.

2.1.2. *Redes neuronales artificiales*

Para Acuña (2016) la dinámica de la sociedad y el mercado induce a la búsqueda de herramientas que se complementen con el desarrollo de datos y que sustenten la toma efectiva de decisiones. En base a este particular se originan las denominadas Redes Neuronales Artificiales (RNA) que constituyen sistemas de procesamiento de datos que copian de manera esquemática la estructura neuronal de un cerebro en función de reproducir y mejorar sus capacidades operativas. Las RNA han sido desarrolladas en diversos ámbitos. Se han efectuado estudios y aplicaciones en campos como las finanzas. El desarrollo de investigaciones sobre las Redes Neuronales se ha concentrado principalmente en Chile. Las investigaciones se han basado en tesis de predicción que inciden en temas económicos. Las RNA son una herramienta que genera una ventaja competitiva.

Para Forero (2019) se planteó un recurso didáctico en base a las Redes Neuronales que indiquen en el talento científico, matemático y tecnológico de las mencionadas redes neuronales artificiales y que son de interés dentro de diversas aplicaciones.

En el criterio de Guevara (2019) se demostró que la aplicación de las redes

neuronales artificiales mejorara el pronóstico de la demanda en un establecimiento como Mc Donald's. Mediante una muestra no probabilística de diseño preexperimental, cuantitativa y longitudinal, se obtuvo los datos paramétricos y la consecuente validación de la hipótesis por la prueba T-Student. Se concluyó la aplicación de redes neuronales artificiales mejora el pronóstico de la demanda. Se obtuvo un resultado de 98.07% de demanda real mientras que el promedio tradicional era de 85.35%.

En el caso de Herrera (2019) desarrolló un modelo de pronóstico de predicción sobre las variables ambientales de material particulado PM2.5 en base al uso de concentraciones de contaminantes de material particulado y químicos nativos de la estación de calidad del aire. El modelo es alimentado por datos de la estación de calidad del aire durante 2 años. De manera experimental, se probaron 6 modelos de redes. La red ideal aplicada en 72 datos de prueba determinó resultados con un error porcentual de -0.1089%, es decir, se determinó un pronóstico preciso para el caso de estudio. El modelo basado en redes neuronales fue capaz del pronóstico de variables contaminantes.

Para Aramayo (2019) es factible el predecir la altura y el caudal de los ríos, lo cual, es similar al pronóstico, pero en función de los parámetros marítimos y mediante el uso de las Redes Neuronales y la aplicación de ecuaciones en los puntos de monitoreo de entrada y salida. Dicho de otra manera, el desarrollo de un sistema de predicción de datos temporales utiliza a redes neuronales con un alcance sobre una serie de caudales y datos paramétricos de un río.

En el criterio de Dinamarca (2018) redes neuronales profundas se inspiran en el funcionamiento del sistema nervioso de las personas, en este caso, se estableció un campo de aplicación sobre la denominada Inteligencia Artificial. De todas maneras, la aplicación de estos modelos determina un costo elevado y es parte de un complejo medio informático. Se aplicó dos tipos de redes de visión computacional en base a redes densas. Los resultados obtenidos indicaron que el 91 % de las RCs son un 9.11 % más eficaces que las RDs. Este resultado en base a la cantidad y complejidad de operaciones que las redes deben desarrollar.

Para Manrique (2019) la predicción de las propiedades de índole mecánica aplicadas a los suelos requiere del uso de redes neuronales de tipo artificial y permiten una valoración de propiedades como el contenido de humedad, densidad seca, granulometría, consistencia, entre otros. Se realizó el desarrollo de una base de datos en función de las propiedades mecánicas y físicas del suelo.

En el caso de Mancilla y Muñoz (2019) el desarrollo de portafolios en base al uso de redes neuronales es efectivo y sustentó una mejora de la rentabilidad generada por diversas metodologías que afectan en la reducción del grado de incertidumbre sobre variables en el mediano plazo. Adicionalmente, la implementación de las redes neuronales requiere un nivel de dedicación que se sustentó en el software MATLAB. De igual manera, el uso de pronósticos y portafolios depende de valores anteriores y son función del tiempo.

2.2. Marco conceptual

A nivel de conceptos dentro de la presente investigación se establece a los siguientes términos:

2.2.1. *Actividad económica*

Es el resultado del uso de un conjunto de recursos de índole natural, físico, financiero, humano y de la organización orientados sobre las actividades que desempeñan las embarcaciones y sus tripulantes.

2.2.2. *Biodiversidad*

La biodiversidad constituye la variedad de la vida en el planeta y abarca niveles dentro de la organización biológica. Por lo tanto, agrupa un conjunto de especies de plantas, animales, hongos y microorganismos que viven en un sitio específico (Amaya & Pierre, 2016).

2.2.3. Clientes

Constituyen los computadores que no son parte de los servidores. Sin embargo, forman parte de una red que los usuarios requieren para su uso. Es decir, los clientes son parte del sector que establece condiciones dentro del servicio o producto que requiere el mercado (Barzola, Caicedo, & Julio, 2016).

2.2.4. FAO

Es el organismo parte de las Naciones Unidas que se enfoca en la Agricultura y la Alimentación cuyo ámbito de acción se orienta al volumen de producción de la acuicultura (FAO, 2022).

2.2.5. Pesquería

Constituye una población de peces estructurada por individuos de una misma especie y que se caracterizan por ocupar un espacio en común en base a una capacidad de autoperpetuarse y renovarse de manera continua en intervalos de tiempo (Lupin & Keongan, 2019).

2.2.6. Productividad

En lo relacionado a la actividad pesquera, la productividad se considera como parte de la producción de **pescado que obtienen las comunidades aledañas al sector de interés por medio de la captura de peces** y los recursos que son parte de su actividad (FAO, 2022).

2.2.7. Unidades de pesquería

Las pesquerías se caracterizan por dividirse en las denominadas unidades de pesquería, las cuales, se forman por el agrupamiento de barcos del mismo tipo, que disponen de artes para la pesca, el uso de instrumentos y la aplicación de sistemas de mercadeo (Lupin & Keongan, 2019).

2.2.8. Medio ambiente

Es el espacio que se establece para el desarrollo de los seres vivos y de la consecuente interacción de los participantes. Bajo este lineamiento, el mencionado sistema se conforma de seres vivos y también de elementos abióticos (Mancilla, Muñoz, & Sanchez, 2019).

2.2.9. Zona 5

La mencionada zona 5 es parte del ámbito de la planificación que estructura un total de 9 zonas existentes en el Ecuador, en este caso, se compone del sector identificado como parte de las provincias de Guayas, Los Ríos, Santa Elena, Bolívar y las Islas Galápagos (FAO, 2022).

2.2.10. Pesca de arrastre

Es el arrastre de una red que dispone de la forma de un cono, de dimensión variable y que es función del tamaño del barco que la remolca; por lo tanto, la medida de la red es constante y generalmente tiene un valor de media pulgada (TASA, 2020).

2.2.11. Modelo matemático

Constituye un modelo que permite la formalización del uso de instrumentos que son parte de las ciencias matemáticas. Por lo indicado, se requiere de la presencia de principios generales y condiciones que son parte de la aplicación de los modelos (Mancilla, Muñoz, & Sanchez, 2019).

2.2.12. Redes neuronales artificiales

Son modelos animados mediante arreglos neuronales de origen natural y su utilidad radica en brindar aspereza a trabajos denominados oscuros. Son impulsados por la conducta de las neuronas y la señal eléctrica que transmiten entre la entrada, la manipulación y el rendimiento del cerebro (Brito & Saravia, 2015).

2.2.13. Servidores

Son las herramientas que permiten el procesamiento del flujo de datos y que, a su vez, centralizan el control de la red (Forero, 2019)

2.2.14. Recursos pesqueros

Son parte de los recursos hidrobiológicos que son parte de una potencial captura o extracción por parte de las operaciones pesqueras asociadas a un fin de consumo, comercialización, procesamiento, investigación, entre otros ámbitos (FAO, 2022).

2.2.15. Recursos acuícolas

Son recursos de naturaleza hidrobiológica que son parte potencial de las operaciones de cultivo sobre los organismos acuáticos y que disponen de

condiciones reguladas en función de variables de consumo, estudio, procesamiento, comercialización, entre otros (SAGPyA, 2020).

2.2.16. Recursos hidrobiológicos

Constituyen los recursos que son parte de los recursos de naturaleza renovable que se encuentran distribuidos en los océanos, lagos, ríos y todo cuerpo de agua que reúne determinadas condiciones (CIP, 2021).

2.2.17. Recurso renovable

Es un recurso de carácter natural que se caracteriza por una potencial restauración debido a un proceso natural y que es parte de una velocidad mayor a la del consumo de los seres humanos (Brito & Saravia, 2015).

2.3. Marco referencial

En el criterio del CIP (2021) el denominado ordenamiento pesquero es parte de un proceso inherente al trabajo interactivo de los participantes como son los pescadores y los administradores, por lo tanto, el enfoque de evaluación de los recursos pesqueros es un elemento que debe estar presente para el logro de la sustentabilidad de las pesquerías. Bajo este lineamiento de trabajo, se establece la ordenación pesquera como un proceso que involucra disciplinas y actores enfocados en la evaluación de los recursos pesqueros en Cuba. Por otra parte, se destaca el papel del uso de estrategias de ordenación que permiten la sostenibilidad de las pesquerías y la consecuente evaluación de los recursos pesqueros.

Para Muñoz (2017) se trabajó en la incidencia de las medidas pesqueras en industria del atún en base a las medidas de control y regulación pesquera en las exportaciones del Ecuador en el periodo comprendido entre el 2013-2015. Se aplicaron teorías y modelos conceptuales sobre el ordenamiento pesquero para definir variables. Se aplicó un estudio descriptivo y correlacional para el análisis de las variables, se usó un método deductivo y analítico en la identificación de variables, dimensiones e indicadores. Se concluyó que el Ecuador aplica medidas de ordenamiento y regulación pesquera desde 1990 y que la industria pesquera opera principalmente en Manta y Posorja. En función de las medidas de ordenamiento y regulación pesquera, el atún es el 2do. rubro importante en las exportaciones de productos no tradicionales, cuyos principales mercados de destino en el periodo de análisis fueron Estados Unidos y la Unión Europea debido a las preferencias arancelarias.

En el criterio de Brito y Saravia (2016) el ajuste sobre los modelos dinámicos de Biomasa de Schaefer (1954) inherentes a los recursos pesqueros determina como desarrollar la calibración del nivel de incertidumbre que es parte de las observaciones de Schaefer. En este caso, se identificaron regiones de interés sobre los parámetros del modelo, capacidad de carga y la tasa intrínseca de crecimiento. Por otra parte, la validación y comparación de los modelos es realizada en base a un enfoque Bayesiano. El mencionado análisis es parte del programa OpenBUGS que facilita ventajas respecto al entorno de programación. Se obtuvieron resultados de puntos de referencia biológicos apropiados en la pesquería de la especie explotada.

Para Pacheco y Salas (2016) se determina un estado de gestión de los recursos pesqueros y las consecuentes estrategias en la sostenibilidad pesquera del Golfo de Nicoya. En base a planteamientos de estrategias y debilidades se construyó un modelo de gestión orientado a la sostenibilidad de la pesca del Golfo, el cual, determina un ámbito de desarrollo humano sumado a estrategias que indiquen en la conservación del recurso pesquero, ordenación de recursos, generación de fuentes de empleo y capacitación de los pobladores.

En la óptica de Palacios (2016) la pesca es el reflejo de un aporte económico relevante en la producción del Ecuador y orienta sus esfuerzos en responder a la demanda del medio internacional mientras la oferta comprende los barcos artesanales e industriales. Debido a la falta de controles de los entes como la Subsecretaría de Recursos Pesqueros y la Armada del Ecuador se genera el incumplimiento de normativas sobre la producción, sin embargo, el reducido control de las zonas pesqueras afecta en el desabastecimiento a corto plazo. Anualmente, se capturan entre 6,8 millones y 27 millones de toneladas de peces, los cuales, revelan la magnitud del problema. En este sentido, es necesario la disposición de controles efectivos para reducir los delitos. En la actualidad, se estima que existen entre 80.000 y 100.000 personas en el subsector industrial de la pesca y que requieren de asesoramiento.

En el criterio de Scott (2016) la pesca ecuatoriana se basa en la captura de un recurso natural renovable, la cual, debidamente manejada es capaz de generar un aporte económico en el Ecuador. Sin embargo, existe un límite biológico para la captura de los peces y se debe tener en cuenta que la captura de pescado motiva efectos económicos por medio de la comercialización, procesamiento, distribución y venta. Por otro lado, existen actividades que se relacionan con la industria pesquera como es la construcción de barcos, reparación de motores, seguros, entre otros. En consecuencia, el sector pesquero en el Ecuador es un beneficio para el desarrollo económico del país en el corto, mediano y largo plazo.

Para Torres (2016) la pesca en altamar se orienta a una diversidad de especies marinas que se ubican en las zonas costeras de territorio ecuatoriano continental, este particular se debe a la variación de temperatura y a la diversidad de profundidades del mar. En Ecuador, se encuentra como parte de las cinco actividades principales diferentes a las petroleras y representa el 1% de la economía mientras su actividad se ubica en Guayaquil, Manta y Posorja con el 60% de la producción. En el ámbito internacional, el Ecuador se identifica entre los cinco exportadores de atún en conjunto con países nativos del Asia y de África, en este sentido, entre los compradores de atún se encuentra la Unión Europea y los EEUU. En este contexto, se desarrolló un análisis exploratorio asociado a los componentes

de la cadena de valor en altamar. Se identificaron las fortalezas y debilidades para luego establecer estrategias de mejora sobre la cadena de valor del atún.

En el caso de Gutiérrez (Gutierrez N. , 2015) se presentaron resultados sobre modelos de evaluación de los stocks pesqueros y su aplicación en los recursos del Uruguay. Se desarrollo una aproximación para la aplicación de modelos dinámicos cuantitativos de uso a nivel mundial en los sectores de pesquerías críticas. Se concluyó que los estudios toman como base las propuestas en base a métodos que permiten proporcionar elementos en el aprovechamiento integral y sustentable de los recursos pesqueros.

Para Castillo (Castillo, 2022) el estudio de los recursos pesqueros permite la generación de estrategias de explotación orientadas a garantizar la sustentabilidad de la actividad pesquera. En este sentido, un elemento importante es el conocimiento de la biomasa en función de variables como el tamaño, sexo, edad, índice de renovación y razones de pérdidas. por lo tanto, se aplica evaluaciones directa e indirecta de biomasa por medio de la pesca y la estadística. Mediante la implementación de tecnología como el sistema OSSIAN, el programa SURFER-GRAPHER se sustentó las evaluaciones hidro acústicas pues son herramientas de gran procesamiento y consecuente graficas de los datos.

Por otra parte, la inclusión del analizador de imágenes en el análisis de estructuras de los peces es un avance sobre la evaluación de recursos con métodos indirectos, así, se redujo un 30 % en el tiempo de procesamiento de datos.

En el criterio de Fernández (Fernández, 2015) por medio del estudio de los recursos pesqueros (cantidad de explotación, métodos, entre otros) es factible ofrecer a la población un medio que sustente la mejora de su calidad de vida. Se catalogó 171 especies en análisis, se elaboró un modelo matemático en base a la dinámica de la población para conocer la cantidad de biomasa existente de una especie. Por lo tanto, a partir de la biomasa se planificó las capturas para que la explotación recurso sea sostenible en el tiempo. En base a lo calculado, las autoridades tienen una herramienta de planificación que incida en la sostenibilidad ambiental y económica

hasta fines de la década del 2020.

En el caso de Correia se trabajó en el lineamiento que ofrece el Programa Océanos Comunes de la ONU para la Alimentación la Agricultura en base al desarrollo de un ordenamiento sostenible de las pesquerías de atún y conservación de la biodiversidad de las especies marinas, en este sentido, se descarga la captura de tiburones y se establece los sitios para la recolección de datos. Adicionalmente, se estableció la vulnerabilidad de la población pesquera como la integración de la productividad (capacidad de auto recuperarse) la y la susceptibilidad (grado de impacto negativo sobre las especies) de la pesca.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

El objetivo del presente estudio corresponderá em proponer un modelo matemático apropiado que permita evaluar los recursos pesqueros de las pesquerías de la zona 5 utilizando el modelo de producción Gordon Schaefer.

Se establece el diseño de investigación como no experimental, puesto que se realizó tanto la observación como el análisis del fenómeno de estudio sin manipulación de las variables. También se señala que el presente estudio se enmarca en la tipología longitudinal, puesto que se analizó lo ocurrido o el comportamiento en distintos puntos de temporalidad de las diversas variables independientes que lograron su intervención en el marco de la propuesta del estudio del modelo matemático.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. *Investigación Exploratoria.*

El presente estudio se puede definir como exploratorio puesto que, a través de este, se realizó una aproximación a una temática cuya investigación no ha alcanzado un nivel de profundidad, por lo cual por medio de la recolección de información relevante se pretende dar explicación al fenómeno de estudio bajo una sustentación teórico practica que permita lograr el propósito de esta investigación.

3.2.2. Investigación Documental.

La investigación es considerada documental puesto que para la ejecución de la misma se utilizaron diversas fuentes documentales bibliográficas, donde se señalan, a trabajos académicos, artículos científicos, tesis de grado y demás datos vinculados a los recursos pesqueros en la zona 5.

3.2.3. Investigación Aplicada.

El estudio se define como aplicado, puesto que se pretende generar un conocimiento que posee aplicabilidad directa a una problemática del sector productivo, específicamente al sector pesquero. Se busca el desarrollo de un modelo matemático que ayude en la determinación del rendimiento máximo sostenible de la capacidad productiva de la pesquería, lo que a su vez repercute en la eficiencia de dicha actividad económica.

3.2.4. Investigación Cuantitativa.

La investigación resulta cuantitativa, por cuanto, los datos o información recolectada se constituyen por valores numéricos, específicamente, los valores de renta económica total, ingresos y costos en función al esfuerzo de la producción pesquera. Con el modelo económico estático de Gordon-Schaefer se realiza un análisis cuantitativo que permitirá brindar una herramienta para la utilización óptima de los recursos pesqueros para las poblaciones productivas de la zona 5.

3.3. Población y muestra

Para este estudio se utilizaron todos los datos disponibles, en otras palabras, el 100% de los datos recogidos a través del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca. Estos datos se ubican en el lapso de tiempo comprendido

desde 1981 hasta el año 2013.

3.4. Método, técnica y uso de software de tratamiento y análisis de datos

El método manejado es el cuantitativo y las técnicas de análisis es el modelo económico estático de Gordon-Schaefer, evaluando los elementos del modelo, se determinan los niveles máximos de Rendimiento Económico, rendimiento sostenible y equilibrio económico. La información será procesada por el sistema de cómputo numérico MATLAB en su versión R2020a, para el procesamiento y análisis de los datos.

CAPITULO IV

PROPUESTA

4.1. Formulación del modelo económico estático de Gordon-Schaefer

Las poblaciones de peces se miden comúnmente en términos de toneladas de biomasa. El crecimiento de una población de peces es el efecto neto del peso de los nuevos individuos que ingresan como resultado del reclutamiento, el peso de los individuos que dejan la población como resultado de la mortalidad natural debido a la vejez, enfermedad o depredación, y el aumento de peso debido al crecimiento de los individuos en el stock.

El tamaño del stock aumentará cuando los efectos del reclutamiento y el crecimiento individual sean mayores que la mortalidad natural, y viceversa. Un tamaño de stock de equilibrio será se logra cuando los aumentos en el stock debido al reclutamiento y al crecimiento individual se equilibran con la disminución debido a la mortalidad natural.

El modelo de Gordon-Schaefer es una formulación matemática simple que es capaz de capturar muchos de los elementos de la dinámica de las poblaciones de peces del mundo real. Asume que el reclutamiento, el crecimiento individual y la mortalidad natural pueden representarse simultáneamente mediante una ecuación logística de crecimiento.

Este modelo especifica que el crecimiento instantáneo de la biomasa del stock, X_t , se puede representar en una ecuación diferencial de la siguiente manera:

$$\frac{dX}{dt} = G(X_t) = rX_t \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) \quad (1)$$

El parámetro r representa la tasa de crecimiento intrínseco, la tasa a la que normalmente crecería la acción sin efectos externos. El parámetro K representa la capacidad de carga del medio ambiente, el tamaño más grande que se puede lograr dado el suministro de alimentos, el hábitat, etc.

El primer término de la ecuación, rX_t , muestra que el crecimiento es proporcional al tamaño de la población, pero el segundo término, $\left(1 - \frac{X_t}{K}\right)$, agrega la complejidad de que el crecimiento disminuye con la densidad del stock, X_t/K , y cuando el tamaño del stock es igual a la capacidad de carga, el crecimiento caerá a cero.

El efecto combinado es una curva de crecimiento en forma de U invertida en la que el crecimiento inicialmente aumenta con el tamaño del stock, pero finalmente cae a cero. La tasa máxima de crecimiento se puede encontrar tomando la primera derivada de la ecuación 1, igualándola a cero y resolviendo para X . Ignorando los subíndices de tiempo, se tiene:

$$r - \frac{2rX}{K} = 0 \quad (2)$$

Resolviendo para X se obtiene, el Stock en rendimiento máximo sostenible:

$$X_{RMS} = \frac{K}{2} \quad (3)$$

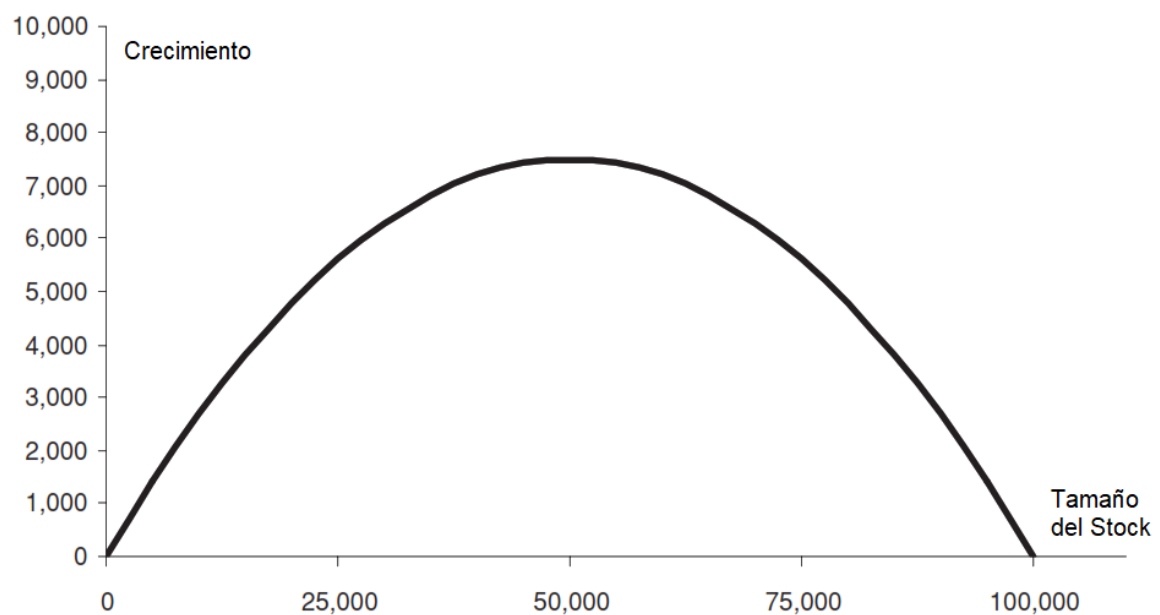
La forma de la curva de crecimiento de Schaefer depende de los tamaños absolutos y relativos de los parámetros, r y K . Con el mismo K , un r más alto aumentará el crecimiento en todos los tamaños de población, mientras que, con el mismo r , un K más alto aumentará el rango sobre el cual la tasa de crecimiento es positiva y aumentará la tasa de crecimiento en todos los tamaños de población. Un tema crítico en la gestión pesquera es lo que sucederá con el tamaño de la población con el tiempo

A tamaños de población más bajos, el crecimiento varía directamente con el tamaño de la población porque aumenta el reclutamiento, y cuantos más individuos haya en la población, mayor será el efecto sobre el crecimiento individual. Sin embargo, después de cierto punto, la población comenzará a presionar contra la capacidad de carga ambiental, lo que reducirá el reclutamiento y el crecimiento individual y aumentará la mortalidad natural. En este rango, el crecimiento neto es inversamente proporcional al tamaño del stock y eventualmente cae a cero.

Un ejemplo de esto para ilustrar lo indicado anteriormente sería indicar que se tiene una tasa de crecimiento intrínseco r de 0,3 y una capacidad de carga de 100.000 toneladas, eso indicaría utilizando la ecuación número 3, que el Stock en rendimiento máximo sostenible se alcanza cuando se tiene una capacidad de carga de 50.000 toneladas, introduciendo estos valores en la ecuación 1, podemos formar una Curva del crecimiento logístico de Schaefer, para el caso presentado, como se presenta en la figura 1.

Ejemplo de Curva del crecimiento logístico de Schaefer.

Figura 1.
Ejemplo de Curva del crecimiento logístico de Schaefer.



Elaborado por: La autora.

Se tiene que la tasa máxima de crecimiento será igual a $rK/4$ o 7500 toneladas, cuando r sea igual a 0,3 y K sea igual a 100.000. El crecimiento máximo de 7.500 toneladas se produce con un tamaño de stock de 50.000 toneladas

Entonces, el tamaño de una población de peces sin explotar cambiará con el tiempo de acuerdo con la siguiente relación discreta:

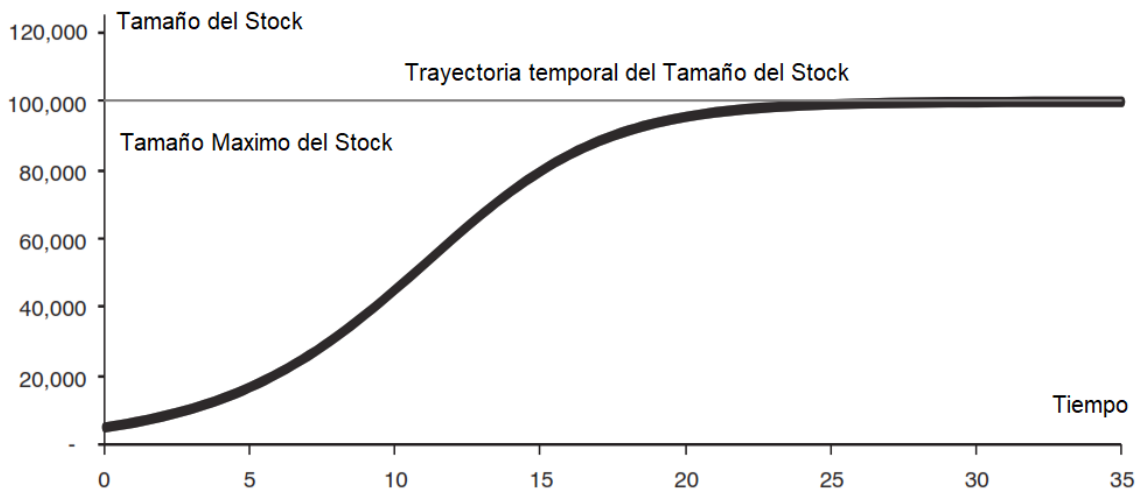
$$X_{t+1} = X_t + G(X_t) \quad (4)$$

Es decir, sin cosecha, el tamaño de la población el próximo año es la suma del tamaño de la población este año y el crecimiento generado por la población durante el período de observación.

En términos del modelo de Schaefer, la acción alcanzará un equilibrio cuando X_t sea igual a K , porque $G(K) = 0$ y, por lo tanto, $X_{t+1} = X_t$. Por supuesto, para encontrar la trayectoria temporal exacta del tamaño del stock, es necesario encontrar la solución para la ecuación de crecimiento diferencial (1).

La figura 1 muestra la trayectoria temporal del crecimiento de las existencias suponiendo un tamaño inicial de las existencias de 5.000 toneladas o el 5 % del tamaño máximo dado por la capacidad de carga del entorno. La forma logística de la ruta de crecimiento se puede ver en la figura 2.

Figura 2.
Ejemplo de Forma logística de la trayectoria temporal del tamaño del stock.



Elaborado por: La autora.

Cuando el stock es bajo, el crecimiento es bajo, por lo que el tamaño del stock aumenta con relativa lentitud. Cuando la población se encuentra en niveles medios, la tasa de crecimiento aumenta y la trayectoria temporal del tamaño de la población se vuelve bastante empinada.

Sin embargo, a medida que la población se acerca a la capacidad de carga, los efectos negativos dependientes de la densidad reducen la tasa de crecimiento y la aproximación final a K es una curva relativamente plana. La forma de las curvas muestra un poco acerca de la dinámica de población de las poblaciones de peces.

En el ejemplo anterior se da tratamiento a la relación básica entre el crecimiento y la cosecha en la dinámica de una población. Pero la cosecha es el resultado de acciones deliberadas de los participantes en la pesquería. Para poder analizar las implicaciones en la producción de las pesquerías, es necesario entender lo que implica las decisiones de pescar. Asimismo, para pensar correctamente sobre la gestión pesquera, se requiere comprender cómo estas decisiones se ven afectadas por diversos tipos de normas y reglamentos y, a su vez, cómo esto afectará la cantidad de peces capturados y el tamaño de la población.

Esto se facilita al introducir el concepto de función de rendimiento o producción pesquera. El rendimiento anual puede verse como una función del tamaño de la población y la cantidad de esfuerzo de pesca que se le aplica. Por ello se puede definir el rendimiento a corto plazo, con la siguiente ecuación:

$$y_t = qX_tE_t \quad (5)$$

Donde q representa al coeficiente de capturabilidad y E_t es el esfuerzo de pesca, este último es medido en días. El coeficiente de capturabilidad es la encarnación de la tecnología que se utiliza para capturar peces. La ecuación 5 es una ecuación estándar para la captura o el rendimiento que se usa a menudo en los modelos económicos de la pesca. El hecho de que sea lineal es muy útil para fines computacionales.

Es importante recalcar que se trata de una función de producción a corto plazo. En cualquier momento, hay un tamaño de stock dado. Esta función muestra la cantidad de cosecha que resultará para varios niveles de esfuerzo para un tamaño de stock dado. La misma cantidad de esfuerzo producirá más cosecha cuando el tamaño de la población sea mayor y viceversa.

Para lograr una cosecha sostenible, el crecimiento debe ser igual al rendimiento a corto plazo:

$$rX \left(1 - \frac{X}{K} \right) = qEX$$

O

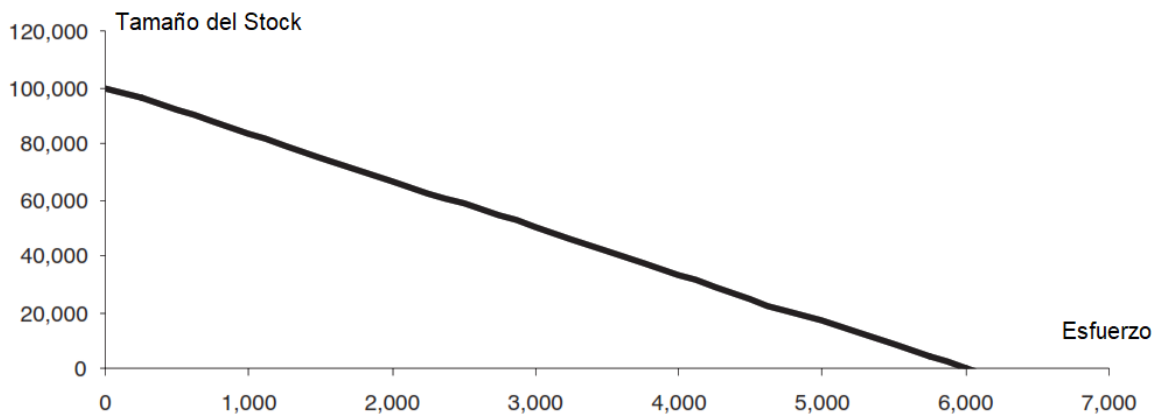
$$r - \frac{rX}{K} = qE$$

Resolviendo para X se obtiene:

$$X = K - \left(\frac{qK}{r}\right) E \quad (6)$$

Esta función, que se denomina Curva de Equilibrio de la Población, es un concepto importante y se utiliza muchas veces como ecuación y en forma gráfica en el análisis del sector pesquero. Muestra que el tamaño de la población de equilibrio variará inversamente con el esfuerzo, si se utilizan los datos del ejemplo anterior y se asume un coeficiente de capturabilidad de 0,00005 se puede ilustrar una Curva de Equilibrio de la Población, como la mostrada en la figura 3.

Figura 3.
Ejemplo de Curva de equilibrio de la población.



Elaborado por: La autora.

Se observa entonces que existe un tamaño de stock de equilibrio diferente para cada nivel de esfuerzo, como cada nivel de esfuerzo está asociado con un nivel de captura, por lo que, en un rango particular, cada nivel de esfuerzo estará asociado con un tamaño de stock de equilibrio. En particular, cuando E es igual a cero, el tamaño de la población de equilibrio es igual a K , la capacidad de carga ecológica. Los aumentos en el esfuerzo disminuirán el tamaño del stock de equilibrio, y el tamaño del stock sostenible se reducirá a cero cuando E alcance r/q . En este caso:

$$\frac{r}{q} = \frac{0,3}{0,00005} = 6000 \text{ días}$$

Hasta ahora se han mostrado ejemplos didácticos donde se conocen todos los datos para la aplicación del modelo, pero en la mayoría de los casos, y esas es una de las mayores limitaciones del modelo económico estático de Gordon-Schaefer, no se puede determinar los valores de biomasa del stock X_t , puesto que implicaría la medición constante de la cantidad de peces de la especie o especies de pesca en una región de pesquería, lo que representa un costo operativo y económico en la mayoría de los casos inviable y poco significativo, para productores pequeños.

4.2. Datos encontrados

Por lo anteriormente mencionado, uno de los retos del estudio es definir una data que permitiera el uso del modelo en un espacio de tiempo representativo, que presentara un grado de fiabilidad, en función a la fuente y el control aplicado por la misma, y que se pudiera referir a la región de estudio.

Por ello se tienen dos datos para el trabajo con el modelo los desembarques que representaran el stock del modelo y el número de embarcaciones, el primero se obtiene del Instituto Nacional de Pesca, sobre los desembarques de las principales especies pelágicas pequeñas en el periodo 1981-2013 en toneladas, pero el dato no solo es referido a la zona 5, sino a toda la zona pesquera.

El número de embarcaciones fue extrapolado de un gráfico que se obtuvo del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, en su informe sobre el criterio técnico-científico respecto al establecimiento de una moratoria para el incremento de la capacidad de pesca artesanal, se dan datos sobre la flota artesanal utilizada para un periodo que abarca desde 1971 a 2013, se tomaron los valores correspondientes al periodo anterior.

A continuación, en la tabla 2 los datos señalados sobre los desembarques cuyos

valores se dan en toneladas, se debe tomar en cuenta que en dichos valores algunas especies comenzaron a ser explotadas muy entrado el periodo y se vieron extintas en dicha zona pesquera.

Tabla 2.

Cantidad de Desembarques en Toneladas para periodo 1981 - 2013.

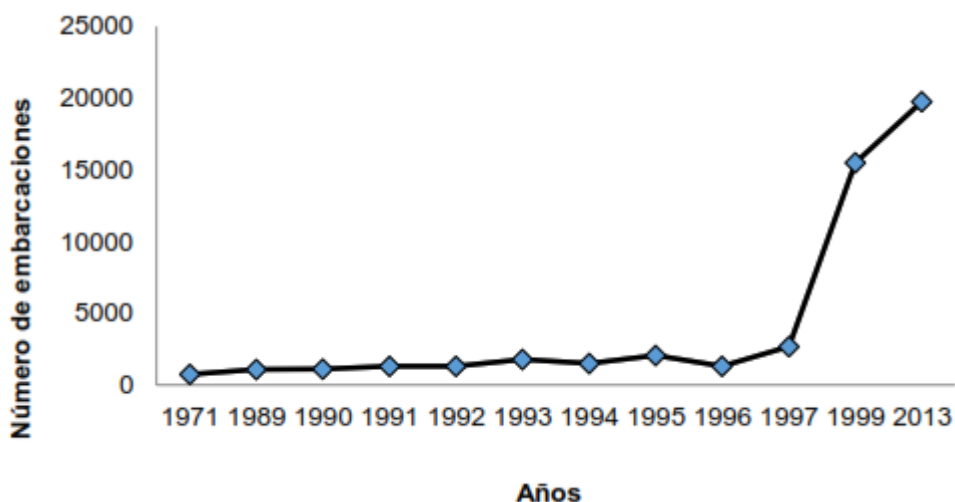
Año	Sardina	Macarela	Pinchagua	Chuhueco	Sardina Red	Botella	Jurel	Anchoa	Otros	Total
1981	255.102	448.088	68.390	2.832	266.177				2.526	1.043.115
1982	314.102	589.375	219.849	2.832	25.547				6.577	1.158.282
1983	104.163	252.667	69.155	40.384	79.339				1.155	546.863
1984	648.784	396.913	182.074	54.029	52.025				9.608	1.343.433
1985	1.215.587	397.863	328.074	5.788	40.739				10.536	1.998.587
1986	590.258	274.852	297.721	74.246	29.209				1.215	1.267.501
1987	210.097	149.302	240.577	126.420	14.373				12.899	753.668
1988	382.337	255.548	206.766	84.346	9.215				11.115	949.327
1989	260.872	141.333	189.789	63.433	838				35.108	691.373
1990	16.895	78.639	98.632	30.996	5.471		4.144		4.114	238.891
1991	3.377	55.023	91.622	59.637	17.180		45.313		3.928	276.080
1992	212	25.651	31.016	99.672	9.688		15.022		45.000	226.261
1993	0	50.980	69.247	101.683	57.663		2.673		70.136	352.382
1994	212	38.991	69.892	27.164	30.748		36.575		72.486	276.068
1995	34.609	63.577	40.910	47.660	46.253		174.393		14.532	421.934
1996	356.477	79.484	41.041	26.354	34.349		56.782		29.028	623.515
1997	56.096	192.181	37.723	89.723	1.095		30.302		14.389	421.509

1998	1.012	44.716	40.530	44.474	8.873	4.201	25.900		19.376	189.082
1999	8.821	28.307	22.253	27.221	3.636	48.913	19.072		98.057	256.280
2000	51.440	83.923	20.037	13.333	4.415	9.317	7.122		227.582	417.169
2001	42.097	85.248	20.071	73.289	28	5.686	133.969	2.065	71.442	433.895
2002	1.924	17.074	10.952	18.288	613	9.806	604	71.013	49.676	179.950
2003	632	33.272	6.895	19.492	1.068	36.297	0	33.382	70.001	201.039
2004	543	51.806	8.590	5.061	4.901	19.709	0	11.273	74.065	175.948
2005	4	115.406	8.282	9.672	4.629	6.544	0	39.908	51.088	235.533
2006	9	37.664	16.851	12.332	432	13.033	0	76.606	66.255	223.182
2007	0	43.171	14.153	1.079	520	21.829	927	59.309	74.880	215.868
2008	0	21.758	25.263	26.925	2.632	19.338	0	44.566	105.254	245.736
2009	0	36.679	22.527	7.586	1.154	34.956	1.934	20.152	101.465	226.453
2010	0	52.751	35.849	741	1.903	35.273	4.613	0	74.818	205.947
2011	0	31.799	20.273	13.012	1.760	43.812	69.373	2.977	44.141	227.147
2012	0	51.838	33.089	2.758	1.653	56.403	77	12.109	45.166	203.093
2013	0	88.793	13.191	6.535	2.650	28.856	3.563	2	62.087	205.677

Tomado de: (Instituto Nacional de Pesca, 2017)

La figura 4, muestra el grafico utilizado para extrapolar los valores de la flota, que luego se presentan en la tabla 3.

Figura 4.
Flota pesquera artesanal periodo 1971-2013



Tomado de: (Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, 2022)

Tabla 3.
Datos extrapolados de la figura 4 para el periodo de estudio.

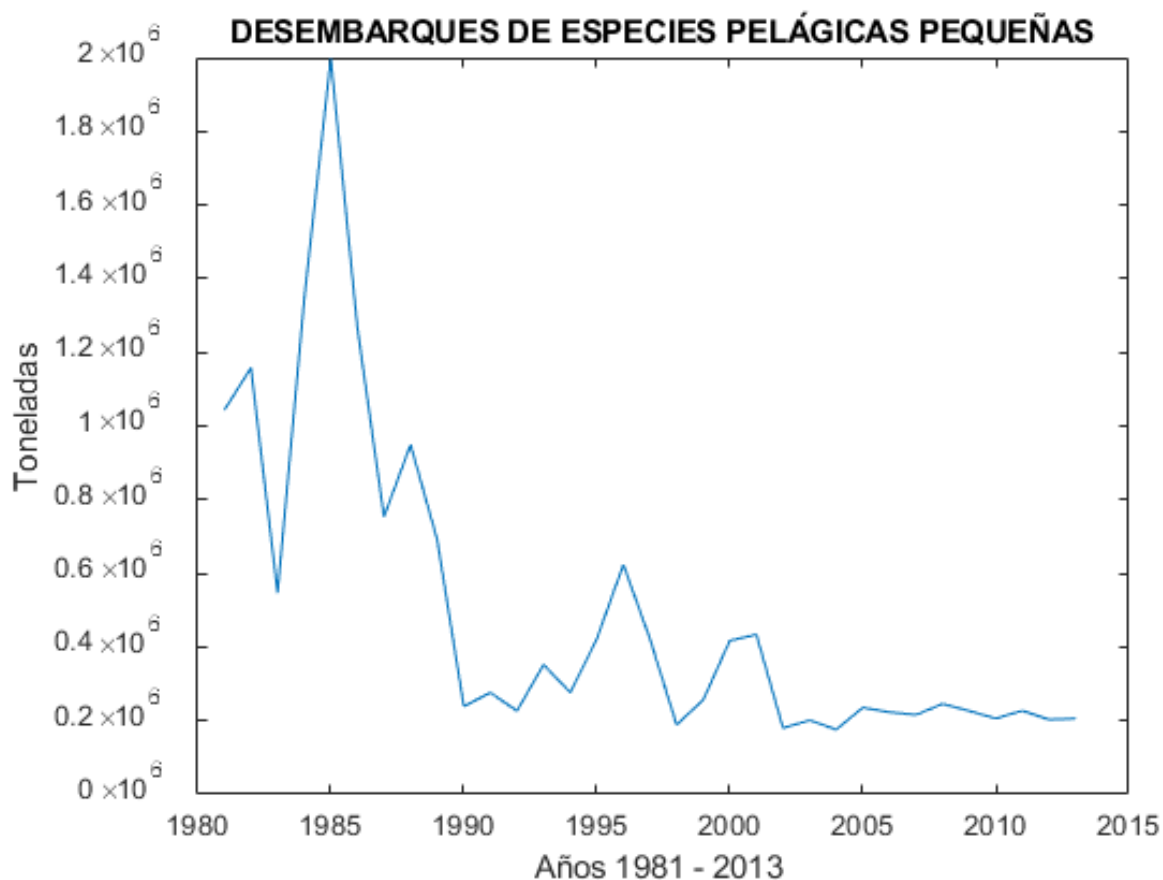
Año	Flota	Año	Flota	Año	Flota
1981	929	1992	1.302	2003	16.714
1982	947	1993	1.778	2004	17.018
1983	966	1994	1.498	2005	17.323
1984	985	1995	2.058	2006	17.627
1985	1.003	1996	1.302	2007	17.931
1986	1.022	1997	2.674	2008	18.235
1987	1.041	1998	6.412	2009	18.539
1988	1.059	1999	15.498	2010	18.843
1989	1.078	2000	15.802	2011	19.147
1990	1.106	2001	16.106	2012	19.451
1991	1.302	2002	16.410	2013	19.755

Elaborado por: La autora.

4.3. Estimación de los coeficientes

Lo primero que se realiza a través del programa Matlab, es introducir los datos encontrados utilizando las tablas 2 y 3 para la comparación posterior, y se generan los siguientes gráficos, primero la figura 5 con el comportamiento de los desembarques de las principales especies pelágicas pequeñas en el periodo 1981-2013.

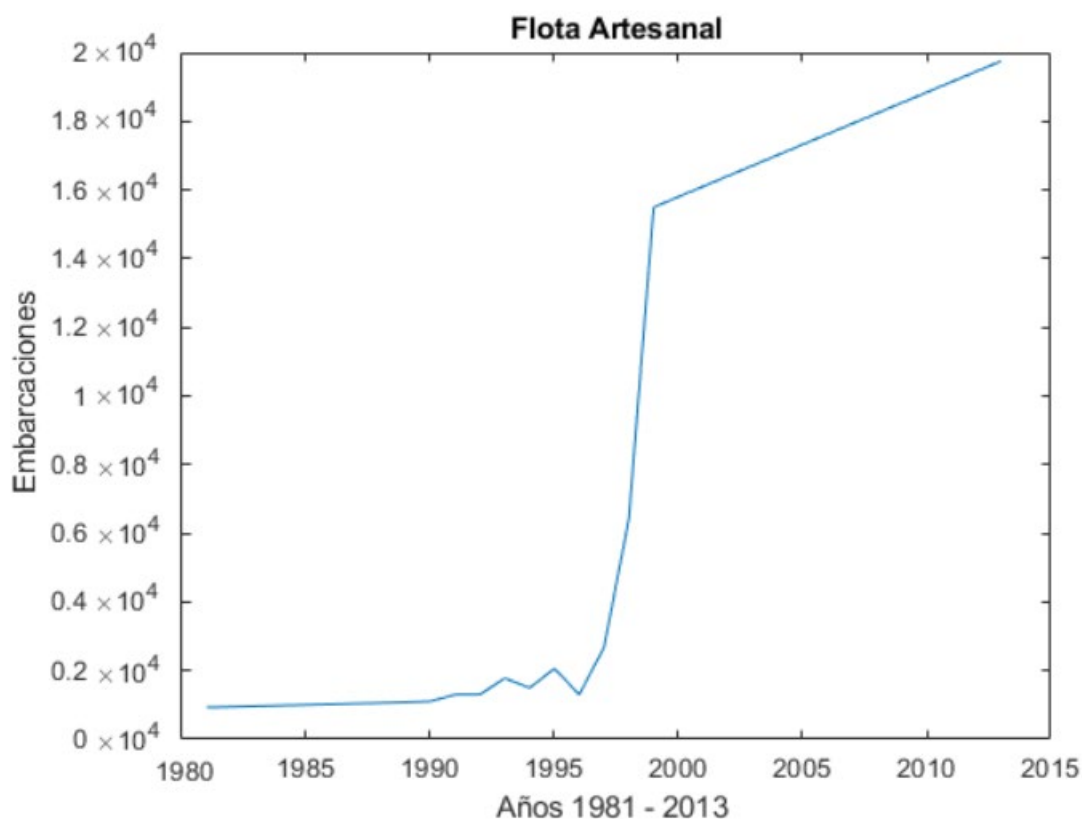
Figura 5.
Desembarques de especies pelágicas pequeñas.



Elaborado por: La autora.

En la figura 6 se muestra en cambio la variación flota pesquera artesanal periodo 1981-2013.

Figura 6.
Variación flota pesquera artesanal periodo 1981-2013.



Elaborado por: La autora.

En ambas figuras se denotan grandes picos de variación, pero mientras que en los desembarques son varios con picos en los años 1985, 1988, 1996 y 2001, en cuanto a la flota dicho fenómeno ocurre entre los años 1998 y 1999 donde los valores casi se triplican uno con respecto al otro.

Ya con estos datos reales, se comienza a la búsqueda de las demás variables necesarias para probar el modelo económico estático de Gordon-Schaefer, como el coeficiente de capturabilidad, tamaño del stock, el crecimiento instantáneo de la biomasa del stock y la o producción pesquera.

Para ello se recurre algoritmo de optimización por enjambre de partículas (PSO), fue originalmente desarrollado por James Kennedy y Russell Eberhart en 1995, es un algoritmo del área de la inteligencia artificial de la rama de inteligencia de enjambres, se inspiró en el comportamiento social de los seres vivos, y ha demostrado ser eficiente para la solución de problemas complejos.

En PSO, varias entidades simples, las partículas, se colocan en la búsqueda, espacio de algún problema o función, y cada uno evalúa la función objetivo en su ubicación actual, Luego, cada partícula determina su movimiento a través del espacio de búsqueda combinando algún aspecto de la historia de sus propias ubicaciones actuales y mejores (de mejor adecuación) con aquellas de uno o más miembros del enjambre, con algunas perturbaciones aleatorias. La siguiente iteración tiene lugar después de que se hayan movido todas las partículas.

Eventualmente, el enjambre como un todo, como una bandada de pájaros que buscan comida colectivamente, es probable que se acerque a un punto óptimo de la función de aptitud. Cada individuo en el enjambre de partículas se compone de tres vectores D-dimensionales, donde D es la dimensionalidad del espacio de búsqueda. Estos son la posición actual \vec{x}_i la mejor posición anterior \vec{p}_i y la velocidad \vec{v}_i . La posición actual \vec{x}_i se puede considerar como un conjunto de coordenadas que describen un punto en el espacio.

En cada iteración del algoritmo, la posición actual se evalúa como una solución al problema. Si esa posición es mejor que cualquiera que se haya encontrado hasta ahora, entonces las coordenadas se almacenan en el segundo vector, \vec{p}_i . El valor del mejor resultado de la función hasta el momento se almacena en una variable que se puede llamar $pbest_i$ (por "mejor anterior"), para comparar en iteraciones posteriores. El objetivo, por supuesto, es seguir encontrando mejores posiciones y actualizando \vec{p}_i y $pbest_i$. Se eligen nuevos puntos agregando coordenadas \vec{v}_i a \vec{x}_i , y el algoritmo opera ajustando \vec{v}_i , que puede verse efectivamente como un tamaño de paso.

Se introducen entonces en el programa Matlab, un algoritmo PSO compuesto de 200 partículas y cuatro variables, generándose una matriz de 800 elementos, a la cual se aplicaron una total de 2500 interacciones.

La línea de código usada, fue la siguiente:

```
totalParticulas=200;

particulas=zeros(totalParticulas,4);

for i=1:totalParticulas

    particulas(i,1)=10*rand*1043115;

    particulas(i,2)=10*rand*1043115;

    if particulas(i,2)<particulas(i,1)

        particulas(i,2)=particulas(i,1)*(1+rand);

    end

    particulas(i,3)=rand;

    particulas(i,4)=rand;

end
```

Se tiene entonces para esta primera parte de la codificación del algoritmo, la colocación aleatoria de las partículas en las variables de estudio. Luego se continua con el proceso de interacción para correr de posición las partículas de modo que el error disminuya.

En la parte de codificación que se muestra a continuación, se establece el número de iteraciones, los rangos de movimientos de las variables, así como la introducción de las ecuaciones que las determinan de acuerdo al modelo económico estático de

Gordon-Schaefer, generando además los vectores de las partículas \vec{p}_i , \vec{v}_i y \vec{x}_i ,

```
iteraciones=2500;

errorVect=zeros(1,iteraciones);

for it=1:iteraciones

    errores=zeros(1,totalParticulas);

    for i=1:totalParticulas

        capturaEstimada=zeros(1,33);

        stock=particulas(i,1);

        Gvect=zeros(1,33);

        stockVect=zeros(1,33);

        for t=1:33

            capturaEstimada(t)= (flota(t)/19755)*stock*particulas(i,4);

            G=particulas(i,3)*stock*(1-stock/particulas(i,2)) -capturaEstimada(t);

            Gvect(t)=G;

            stock=stock+G;

            stockVect(t)=stock;

        end

        error=0;

        for n=1:33

            error=error+abs(capturaEstimada(n)-Total(n));

        end

        errores(i)=error;

    end

end
```

En el siguiente segmento se establece en el código para que las partículas se muevan un valor de 0,03 hasta alcanzar el mínimo error posible.

```
[M,I] =min(errores);

for i=1:totalParticulas

    R = randi(4,1);

    switch R

        case 1

            particulas(i,1)=particulas(i,1)+0.03*rand*(particulas(1,1)particulas(i,1));

        case 2

            particulas(i,2)=particulas(i,2)+0.03*rand*(particulas(1,2)particulas(i,2));

        case 3

            particulas(i,3)=particulas(i,3)+0.03*rand*(particulas(1,3)particulas(i,3));

        case 4

            particulas(i,4)=particulas(i,4)+0.03*rand*(particulas(1,4)particulas(i,4));

    end

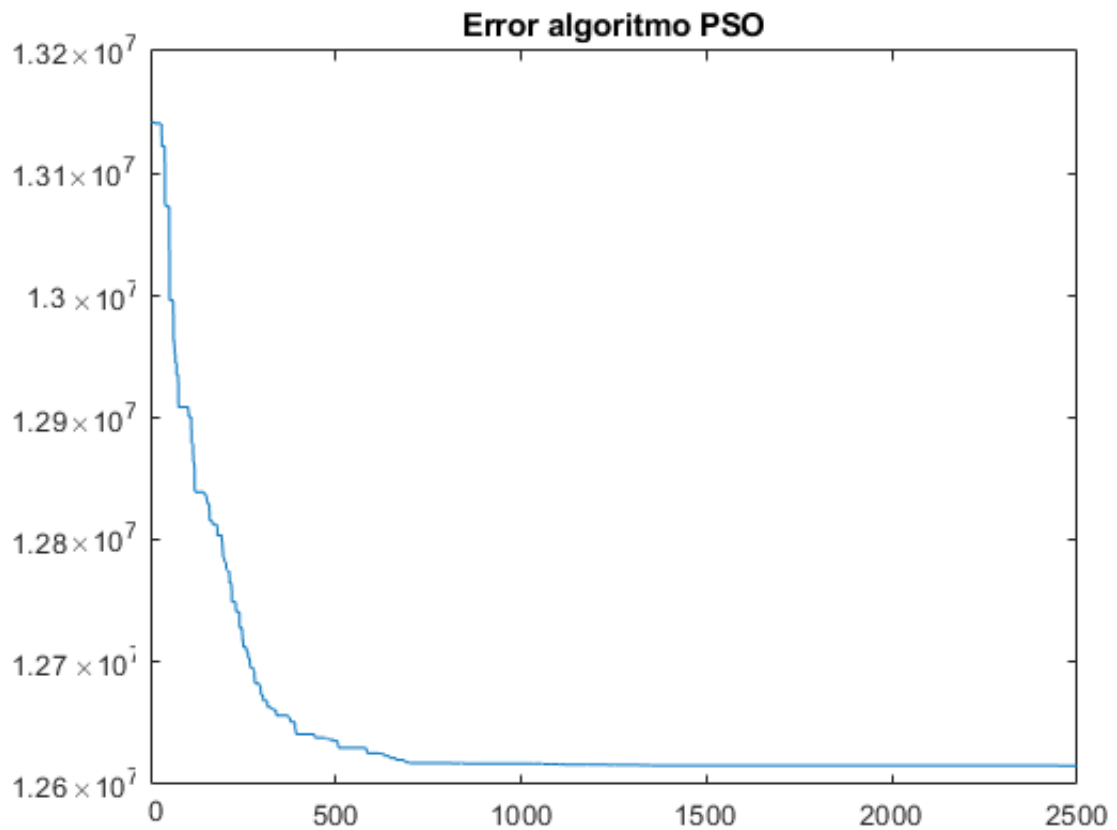
end

errorVect(it)=M;

end
```

La figura 7, muestra entonces la disminución paulatina del error a través de las iteraciones, donde se denota una estabilización del error a partir de la iteración 700, pasando de $1,315 \times 10^7$ a $1,26,1 \times 10^7$.

Figura 7.
Evolución del error en el Algoritmo PSO.



Elaborado por: La autora.

4.4. Estimación de Capturas y Modelo

Se realiza entonces una estimación de capturas y del tamaño del stock del modelo de Gordon-Schaefer, con la siguiente línea de código. El programa toma los valores desarrollados por el algoritmo PSO, para realizar las estimaciones.

```

capturaEstimada=zeros(1,33);

stock=particulas(1,1);

Gvect=zeros(1,33);

stockVect=zeros(1,33);

for t=1:33

    capturaEstimada(t)= (flota(t)/19755)*stock*particulas(1,4);

    G=particulas(1,3)*stock*(1-stock/particulas(1,2))-capturaEstimada(t);

    Gvect(t)=G;

    stock=stock+G;

    stockVect(t)=stock;

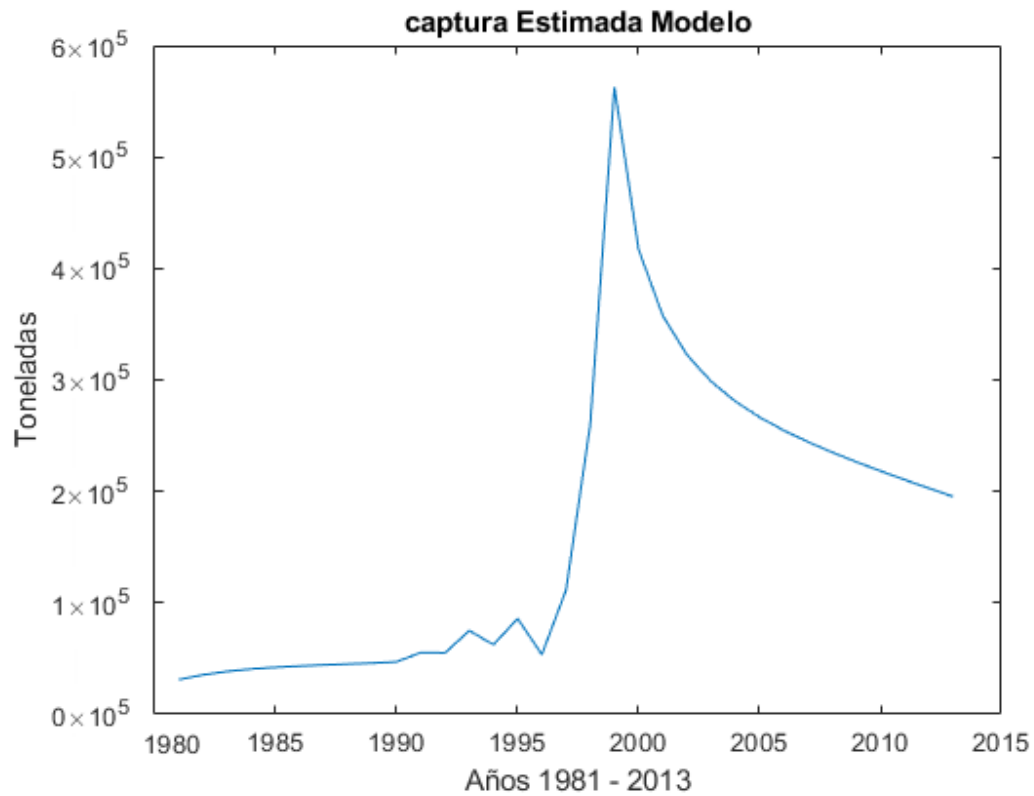
end

```

En las figuras 8 y 9 se muestran el comportamiento de las variables mencionadas en base al modelo, con los datos obtenidos, la figura 8 corresponde a las capturas estimadas y la figura 9 al tamaño de stock estimado, se comienzan a notar en ellas variaciones notables con los valores reales, es decir si se compara la figura 5 con las figuras 8 y 9, se notarán divergencias en la evolución de los desembarcos con respecto a las capturas y el stock.

Es acá donde intervienen factores como calidad de los datos recabados, las limitaciones del modelo económico estático de Gordon-Schaefer, así como del algoritmo de optimización por enjambre de partículas.

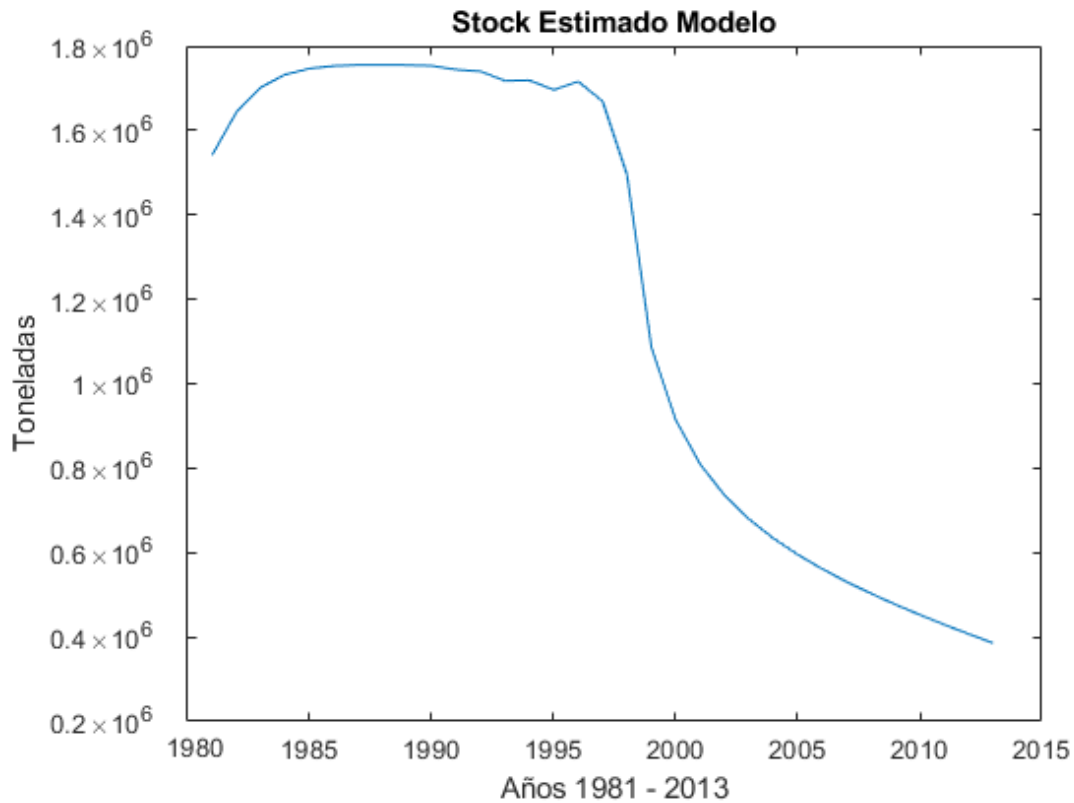
Figura 8.
Capturas Estimadas por el modelo de Gordon-Schaefer.



Elaborado por: La autora.

El cambio abrupto observado en la figura anterior corresponde, también al aumento notable en el numero de flota para el año 1999, lo que denota la sensibilidad de cambios tan fuertes en los niveles de producción asociados a la introducción en los datos de un valor tan inusitado de embarcaciones en un periodo de tiempo tan corto, lo que obviamente afecta los resultados obtenidos.

Figura 9.
Tamaño del Stock Estimado por el modelo de Gordon-Schaefer.



Elaborado por: La autora.

De nuevo se conjugan la disminución en valores de desembarco de ciertas especies, como la sardina que se extinguió a partir del año 2005, y otras que, aunque aparecieron dentro de los registros no permitieron retomar los registros de años anteriores, eso aunado al número de flota que presenta la data, determina la abrupta disminución del tamaño del stock en los últimos años.

Finalmente se determinó según el modelo que el valor del stock inicialmente era de $1,3846 \times 10^6$ toneladas, el límite del stock en el ambiente se fija en $1,8420 \times 10^6$ toneladas y el factor de crecimiento o tasa de crecimiento intrínseco K es de 0,5484.

CONCLUSIONES

Se realizó la identificación de los factores que inciden en una población pesquera a través de la revisión documental, determinando que los parámetros son el crecimiento instantáneo de la biomasa del stock, el tamaño del stock, la capacidad de carga del medio ambiente, la tasa de crecimiento intrínseco, el rendimiento a corto plazo y el esfuerzo de pesca.

Se efectuó un análisis de la variabilidad de los factores que inciden en la industria pesquera de las pesquerías de la zona 5, mediante la información sobre los desembarques de las principales especies pelágicas pequeñas en el periodo 1981-2013 en toneladas, que representaran el stock del modelo, obtenidos del Instituto Nacional de Pesca, y el número de embarcaciones que fueron extrapoladas de un gráfico que se obtuvo del Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca, en un informe para el periodo 1971-2013

Se construyó un modelo matemático apropiado, recurriendo al algoritmo de optimización por enjambre de partículas, para la determinación de las variables faltantes para el desarrollo del modelo Gordon Schaefer, de manera que se logró utilizar el modelo para el cálculo de las capturas y tamaño estimados de la producción en la pesquería, con un factor de crecimiento o tasa de crecimiento intrínseco de 0,5484 y un límite del stock en el ambiente de $1,8420 \times 10^6$ toneladas.

Los resultados están sujetos a las limitaciones del modelo de Gordon Schaefer, y en las anomalías de los datos encontrados, donde intervinieron, crisis económicas que afectaron la producción pesquera, y fenómenos naturales como el del niño.

RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar esta investigación al replicarla con otras zonas productivas, o especializarla dedicándose a una especie en particular para comprobar su eficacia y adaptabilidad al análisis productivo de la pesquería ecuatoriana.

Se requiere para futuras investigaciones el desarrollo de instrumentos propios que permitan recopilar la información productiva de fuentes directas, además de institutos especializados.

Se puede desarrollar el modelo con otros algoritmos del tipo evolutivo para establecer diferencias en cuanto al grado de error y acercamiento a los comportamientos productivos reales de la producción pesquera.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, A. (2016). *unmsm.edu.pe*. (UNMSM, Editor) Redes neuronales artificiales: una herramienta para las finanzas: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/15354>
- Amaya, J., & Pierre, C. (2016). <http://lplab.cmm.uchile.cl/files/2011/12/2-AmCaRa.pdf>. (IPLAB, Editor) El modelamiento matemático aplicado al estudio de los recursos marinos y su manejo: <http://lplab.cmm.uchile.cl/files/2011/12/2-AmCaRa.pdf>
- Aramayo, J. (2019). *fi.unju.edu.ar*. (UNJU, Editor) Redes Neuronales Artificiales para la Predicción de Alturas y Caudales en Caimancito: <https://www.fi.unju.edu.ar/trabajos-proyectos-finales/1896-tesis-que-aplico-redes-neuronales-artificiales.html>
- Aviles, J., & Muñoz, R. (2016). https://ecorfan.org/spain/researchjournals/Prototipos_Tecnologicos. (UTSOE, Editor) Prototipos_Tecnologicos: https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Prototipos_Tecnologicos/vol2num4/Revista_de_Prototipos_Tecnologicos_V2_N4_1.pdf
- Barzola, J., Caicedo, J., & Julio, V. (2016). *dspace.espol.edu.ec/bitstream*. (ESPOL, Editor) Aplicación de un Modelo de Sostenibilidad para la pesca y sobre explotación del atún tropical en Ecuador: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24505/1/Aplicacion%20de%20un%20modelo%20de%20sostenibilidad%20para%20la%20pesca%20y%20sobre%20explotaci%C3%B3n%20del%20at%C3%BAn%20tropical%20en%20Ecuador.pdf>
- Beatriz, Lupín; Lucia, Keogan; Agustina, Muño;. (2014). Gestion de Recursos Pesqueros Modelo Bioeconómico de Gordon-Scheafer. *Centro de*

investigación en métodos cuantitativos aplicados a la economía., Buenos Aires - Argentina.

Brito Fernando, S. M. (2016). *fcea.edu.uy/Jornadas_Academicas*. (FCEA, Editor) Ajuste de modelos dinámicos aplicados a los recursos pesqueros: http://www.fcea.edu.uy/Jornadas_Academicas/2013/file/METODOS/Ajustes%20de%20modelos%20dinamicos%20aplicados%20a%20recursos%20pesqueros.pdf

Brito, F., & Saravia, M. (2015). *fcea.edu.uy/Jornadas_Academicas*. (FCEA, Editor, & FCEA) Ajuste de Modelos Dinámicos aplicados a recursos pesqueros: http://www.fcea.edu.uy/Jornadas_Academicas/2013/file/METODOS/Ajustes%20de%20modelos%20dinamicos%20aplicados%20a%20recursos%20pesqueros.pdf

Castillo, J. (2022). *aquadocs.org*. (Aquadocs, Editor) Optimización y desarrollo de la evaluación de recursos pesqueros con la incorporación de tecnologías: <https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/7617/FLYX7492SH2K3V4QVN%20V646SG6VSXGJ.pdf?sequence=1>

CIP. (2021). *researchgate.net/publication*. (CIP, Editor) Evaluación de los recursos pesqueros para la ordenación de pesquerías en Cuba: https://www.researchgate.net/publication/349847579_Evaluacion_de_los_recursos_pesqueros_para_la_ordenacion_de_pesquerias_en_Cuba

CIP. (s.f.). *researchgate.net/publication*. (CIP, Editor) Evaluación de los recursos pesqueros para la ordenación de recursos: https://www.researchgate.net/publication/349847579_Evaluacion_de_los_recursos_pesqueros_para_la_ordenacion_de_pesquerias_en_Cuba

Correia, M. (2017). *researchgate.net*. (U. d. Sinaloa, Editor) Métodos de evaluación de pesquerías con datos limitados: https://www.researchgate.net/publication/332820395_METODOS_DE_EVALUACION_DE_PESQUERIAS_CON_DATOS_LIMITADOS

Del Pezo, L. (2016). *repositorio.upse.edu.ec/*. (U. E. Elena, Editor) Modelo de asociatividad para los pescadores del barrio San Lorenzo, Cantón Salinas: https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/1073/1/_

Dinamarca, A. (2018). *repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar*. (UNCUYO, Editor) https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/BDUNCU_3a03f8d2ff33bf7c8ecf56ddf390bd88

FAO. (2022). *fao.org/about/es/*. (FAO) <https://www.fao.org/about/es/>

Fernández, C. (2015). *dialnet.unirioja.es*. Identificación y evaluación de los recursos pesqueros de Guinea: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=118209>

Forero, R. (2019). <https://repositorio.konradlorenz.edu.co/handle/001/646>. (Konrad, Editor) Redes Neuronales Artificiales: <https://repositorio.konradlorenz.edu.co/handle/001/646>

Guevara, M. (2019). <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3203368>. (U. C. Vallejo, Editor) Aplicación de redes neuronales artificiales para optimizar el pronóstico de la demanda en McDonald's: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3203368>

Gutierrez, N. (2015). *researchgate.net/publication*. (B. pesquera, Editor) Evaluación de recursos pesqueros de Uruguay mediante modelos dinámicos: https://www.researchgate.net/publication/282325741_Evaluacion_de_recursos_pesqueros_de_Uruguay_mediante_modelos_dinamicos

Gutierrez, N. (2015). *researchgate.net/publication/282325741*. (E. d. Acuáticas, Editor) [_Evaluacion_de_recursos_pesqueros_de_Uruguay_mediante_modelos_dinamicos](https://www.researchgate.net/publication/282325741_Evaluacion_de_recursos_pesqueros_de_Uruguay_mediante_modelos_dinamicos): https://www.researchgate.net/publication/282325741_Evaluacion_de_recursos_pesqueros_de_Uruguay_mediante_modelos_dinamicos

Hernández, O. (2017).

https://ru.dgb.unam.mx/jspui/handle/DGB_UNAM/TES01000772350.

(UNAM, Editor) Modelo matemático para análisis de pruebas de presión en yacimientos naturalmente fracturados:

https://ru.dgb.unam.mx/jspui/handle/DGB_UNAM/TES01000772350

Herrera, J. (2019). *repositorio.unfv.edu.pe*. (UNFV, Editor) Redes neuronales para la predicción de contaminación del aire:

http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3428/UNFV_JACINTO_HERRERA_RAUL_TRINIDAD_MAESTRIA_2019.pdf?sequence=1

Instituto Nacional de Pesca. (2017). *Desembarques de las principales especies pelágicas pequeñas 1981-2013 (en toneladas)*.

<https://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/1982-2013-Desembarques-Hist%c3%b3ricos.pdf>

Instituto Público de Investigación de Acuicultura y Pesca. (2022). *Criterio técnico-científico respecto al establecimiento de una moratoria para el incremento de la capacidad de pesca artesanal*.

https://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2022/01/5.-INFORME-moratoria_incremento_esfuerzo_de_pesca-1-WERR.pdf

Lupin, B., & Keogan, L. (2014). *IADCOM*. (IADCOM, Editor) Gestión de los recursos pesqueros: www.iadcom.com

Lupin, B., & Keongan, L. (2019). *Gestion de recursos pesqueros de modelo Bioeconomico de Gordon Schaefer*.

Mancilla, N., Muñoz, M., & Sanchez, M. (2019). *repository.unab.edu.co/bitstream*. (UNAB, Editor) Estructuración de portafolios mediante el uso de redes neuronales:

https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/13671/2019_

Tesis_Sanchez_Carvajal_Mayra_Alexandra.pdf?sequence=1

Manrique, M. (2019). *repositorio.continental.edu.pe*. (Continental, Editor) Predicción de propiedades mecánicas de suelos utilizando redes neuronales artificiales: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7191>

Molina, E. (2016). <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143660>. (U. d. Chile, Editor) Modelos matemáticos para el secuenciamiento en planificación: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143660>

Muñoz, J. (2017). <http://181.39.139.68:8080>. Incidencia de las Medidas de Ordenamiento y Regulación Pesquera en las : [181.39.139.68:8080/bitstream/handle/123456789/215/Incidencia pesquera](http://181.39.139.68:8080/bitstream/handle/123456789/215/Incidencia_pesquera)

Pacheco, & Salas. (2016). *academia.edu/53970824*. (R. Geográfica, Editor) Modelo de gestión para la sostenibilidad de recursos: https://www.academia.edu/53970824/MODELO_DE_GESTI%C3%93N_PARA_LA_SOSTENIBILIDAD_DE_LOS_RECURSOS_PESQUEROS_DEL_GOLFO_DE_NICOYA_COSTA_RICA

Palacios, P. (2016). *repositorio.ug.edu.ec*. (U. d. Guayaquil, Editor) Investigación y análisis de lam oferta y demanda del sector pesquero industrail y su competitividad ante el sector artesanal: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/43950/1/TESIS%20INVESTIGACION%20Y%20ANALISIS%20DE%20LA%20OFERTA%20Y%20DEMANDA%20DEL%20SECTOR%20PESQUERO%20INDUSTRIAL%20Y%20DE%20SU%20COMPETITIVIDAD%20ANTE%20EL%20SECTOR%20PESQUERO%20ARTESANAL.%20EFECT>

SAGPyA. (2020). *Alimentosargentinos.gob.ar*. Publicaciones/calidad/BPM/BPM: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/publicaciones/calidad/BPM/BPM_conceptos_2002.pdf

Salazar, E. (2021). *ru.dgb.unam.mx*. (UNAM, Editor) Redes neuronales artificiales

en simulaciones de dinámica molecular:
https://ru.dgb.unam.mx/jspui/handle/DGB_UNAM/TES01000820375?mode=full

Scott, B. (2016). *repositorio.usfq.edu.ec*. (USFQ, Editor) Análisis del Sector Pesquero Ecuatoriano a partir de la Dolarización:
<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4231/1/113959.pdf>

TASA. (2020). https://www.tasa.com.pe/userfiles/misc/TA_-_Cuidamares_Tasa_Carta_1.pdf. (TASA, Editor) Modelo de Gestión de Pesca:
https://www.tasa.com.pe/userfiles/misc/TA_-_Cuidamares_Tasa_Carta_1.pdf

Torres, L. (2016). *repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug*. (U. d. Guayaquil, Editor) Diagnóstico de la cadena productiva de valor de la pesca ecuatoriana de atún en altamar 2012-2015:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/12125/1/DIAGNOSTICO%20DE%20LA%20CADENA%20PRODUCTIVA%20DE%20VALOR%20DE%20LA%20PESCA%20ECUATORIANA%20DE%20AT%C3%9AN%20EN%20ALTAMAR%20A%C3%91OS%202012.pdf>

Vilches, G. (2019). https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/11004/1/TFG_Guillermo_Vilches.pdf. (Modelos matemáticos basados en ecuaciones diferenciales y su aplicación a la economía)
https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/11004/1/TFG_Guillermo_Vilches.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de Programa MATLAB

Table of Contents

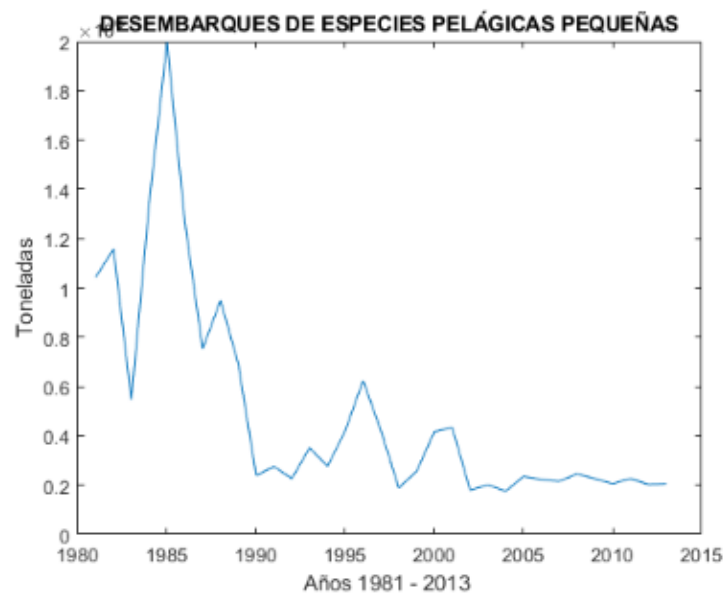
.....	1
-Desembarques-Históricos	1
Flota Artesanal	2
Particle Swarm Optimization	3
Estimacion de capturas	5
Stock Modelo	6
Valores Obtenidos por PSO	7

```
% Se aplica el Algoritmo De busqueda para encontrar variables de stock
% inicial, Limite de Stock en ambiente factor de crecimiento
  poblacional y
%factor de esfuerzo de captura con los que el modelo de schaefer
  obtenga elmenor error posible
```

-Desembarques-Históricos

```
clc
clear
close all
Capturas = readtable('capturas.xlsx');
Total=Capturas(:,11);
Total=table2array(Total);
yearsInt=1981:2013;
plot(yearsInt,Total)
title('DESEMBARQUES DE ESPECIES PELÁGICAS PEQUEÑAS')
ylabel('Toneladas')
xlabel('Años 1981 - 2013 ')

Warning: Column headers from the file were modified to make them valid
MATLAB
identifiers before creating variable names for the table. The original
column
headers are saved in the VariableDescriptions property.
Set 'PreserveVariableNames' to true to use the original column headers
as table
variable names.
```

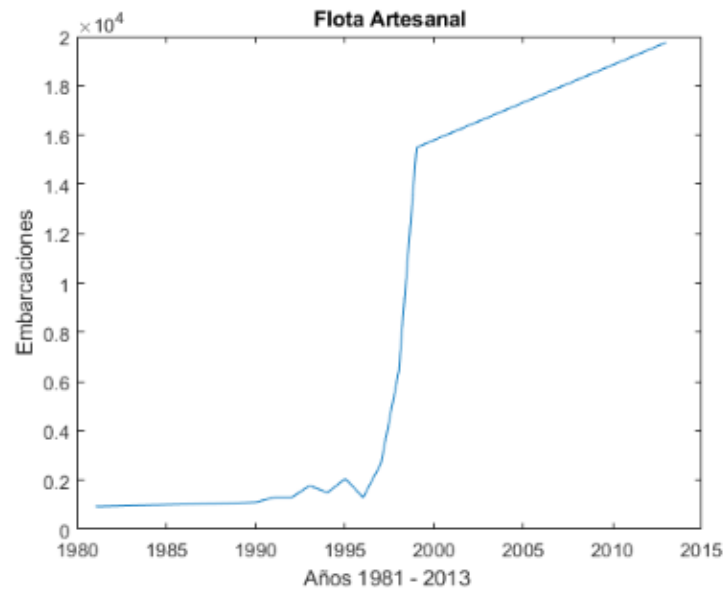


Flota Artesanal

```

flota=[929,947,966,985,1003,1022,1041,1059,1078,1106,1302,1302,1778,1498,2058,1302
2674,6412,15498,15802,16106,16410,16714,17018,17323,17627,17931,18235,18539,...
18843,19147,19451,19755]';
plot(yearsInt,flota)
title('Flota Artesanal')
ylabel('Embarcaciones')
xlabel('Años 1981 - 2013 ')

```

Particle Swarm Optimization

```

% El algoritmo PSO parte de partículas iniciales aleatorias y busca la
de
% menor error posible.

totalParticulas=200;
particulas=zeros(totalParticulas,4);

for i=1:totalParticulas
    particulas(i,1)=10*rand*1043115;
    particulas(i,2)=10*rand*1043115;
    if particulas(i,2)<particulas(i,1)
        particulas(i,2)=particulas(i,1)*(1+rand);
    end
    particulas(i,3)=rand;
    particulas(i,4)=rand;
end

iteraciones=2500;
errorVect=zeros(1,iteraciones);

for it=1:iteraciones
    errores=zeros(1,totalParticulas);

```

```

for i=1:totalParticulas
    capturaEstimada=zeros(1,33);
    stock=particulas(i,1);
    Gvect=zeros(1,33);
    stockVect=zeros(1,33);
    for t=1:33
        capturaEstimada(t)=
            (Flota(t)/19755)*stock*particulas(i,4);
        G=particulas(i,3)*stock*(1-stock/particulas(i,2)) -
            capturaEstimada(t);
        Gvect(t)=G;
        stock=stock+G;
        stockVect(t)=stock;
    end
    error=0;
    for n=1:33
        error=error+ abs(capturaEstimada(n)-Total(n));
    end
    errores(i)=error;
end
[M,I] = min(errores);

for i=1:totalParticulas
    R = randi(4,1);
    switch R
        case 1

            particulas(i,1)=particulas(i,1)+0.03*rand*( particulas(i,1)-
            particulas(i,1));
            case 2

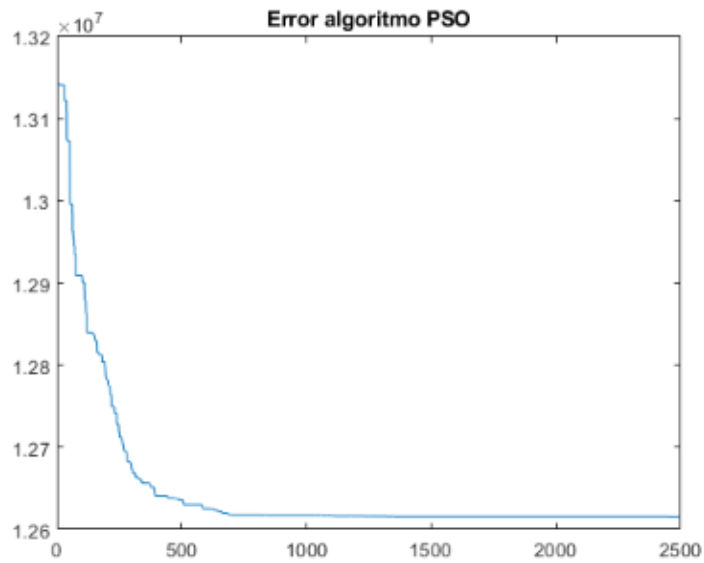
            particulas(i,2)=particulas(i,2)+0.03*rand*( particulas(i,2)-
            particulas(i,2));
            case 3

            particulas(i,3)=particulas(i,3)+0.03*rand*( particulas(i,3)-
            particulas(i,3));
            case 4

            particulas(i,4)=particulas(i,4)+0.03*rand*( particulas(i,4)-
            particulas(i,4));
    end
    errorVect(it)= M;
end

plot(errorVect)
title('Error algoritmo PSO')

```



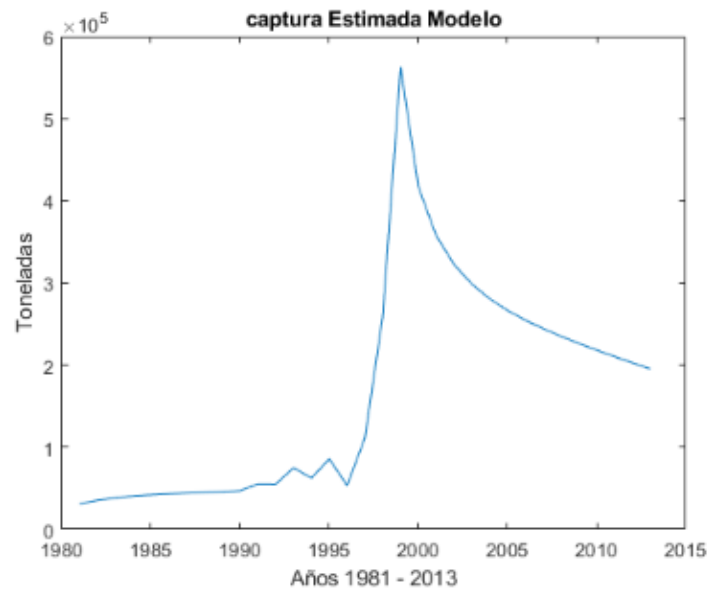
Estimacion de capturas

```

capturaEstimada=zeros(1,33);
stock=particulas(I,1);
Gvect=zeros(1,33);
stockVect=zeros(1,33);
for t=1:33
    capturaEstimada(t)= (flota(t)/19755)*stock*particulas(I,4);
    G=particulas(I,3)*stock*(1-stock/particulas(I,2)) -
    capturaEstimada(t);
    Gvect(t)=G;
    stock=stock+G;
    stockVect(t)=stock;
end

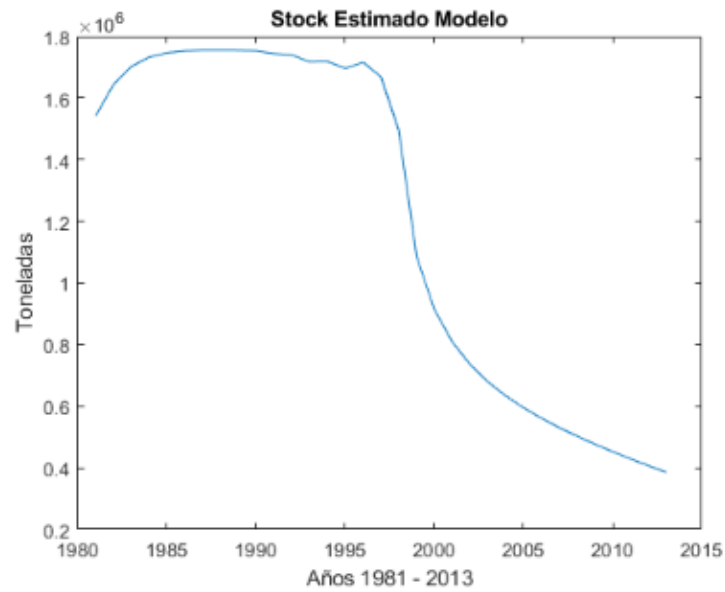
plot(yearsInt,capturaEstimada)
title('captura Estimada Modelo')
ylabel('Toneladas')
xlabel('Años 1981 - 2013')

```



Stock Modelo

```
plot(yearsInt, stockVect)
title('Stock Estimado Modelo')
ylabel('Toneladas')
xlabel('Años 1981 - 2013')
```



Valores Obtenidos por PSO

```

%Stock Inicial
disp(particulas(I,1))
%Limite de Stock en ambiente
disp(particulas(I,2))
%Factor de crecimiento
disp(particulas(I,3))
%Factor de pesca por esfuerzo
disp(particulas(I,3))

% Maximum Growth Rate  $r \cdot K / 4$ 
disp(particulas(I,2) * particulas(I,3) / 4)

1.3846e+06
1.8420e+06
0.5484
0.5484
2.5256e+05

```