

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**DESARROLLO DE UN MODELO APLICANDO LA
METODOLOGÍA DE LOS AUTÓMATAS CELULARES PARA LA
SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA DEL ESFUERZO PESQUERO Y
ESTRATEGÍAS DE PESCA**

T E S I S

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

ROSARIO MARTÍNEZ OLVERA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MEXICO. ENERO DE 2007.

DESARROLLO DE UN MODELO APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LOS AUTÓMATAS CELULARES PARA LA SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA DEL ESFUERZO PESQUERO Y ESTRATEGIAS DE PESCA

R E S U M E N

No es suficiente tener solo el conocimiento biológico de los stocks, para desarrollar estrategias de manejo y esquemas regulatorios eficaces para la administración, conocimiento y aprovechamiento de los recursos, ya que se debe considerar, en la toma de decisiones de manejo de los recursos, el comportamiento de los pescadores. Contar con el conocimiento de la forma en que los pescadores distribuyen el esfuerzo de pesca en el espacio, es esencial para comprender el desarrollo de una pesquería. En este trabajo se desarrolló un modelo de simulación aplicando la metodología de Autómatas Celulares donde se modeló el comportamiento del pescador enfocado a la dinámica del esfuerzo de pesca en una pesquería hipotética. Se diseñaron y evaluaron estrategias o reglas de explotación (efecto de pesca en grupo y explorador). Referente al recurso se representó la dinámica espacio temporal (movimientos en grupo, mortalidad y reclutamiento). Con los barcos se realizaron dos simulaciones. En la simulación 1 se comparó a un grupo de barcos con respecto a barcos individuales, modificando el número de exploradores individuales, con la finalidad de analizar si el ser explorador podría compensar el no intercambiar información de la pesca y si los barcos individuales podrían sacar ventaja de esto. Resultando que los barcos en grupo obtuvieron mayores capturas acumulativas y la ventaja de pertenecer a un grupo se da dependiendo de las condiciones del recurso o del medio ambiente. Para la simulación 2 en donde varió el número de exploradores en los barcos en grupo, no marcó una diferencia en particular, ya que la comunicación existe aun con un solo explorador y bajo las condiciones del mundo simulado. Modelar el comportamiento de los barcos puede servir para estimar la eficiencia y desempeño de las embarcaciones y analizar los efectos de las diversas alternativas de manejo de las pesquerías.

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFIA COSTERA

**DESARROLLO DE UN MODELO APLICANDO LA
METODOLOGÍA DE LOS AUTOMATAS CELULARES PARA LA
SIMULACIÓN DE LA DINÁMICA DEL ESFUERZO PESQUERO Y
ESTRATEGIAS DE PESCA**

T E S I S

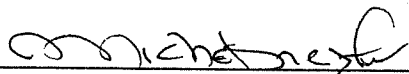
QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

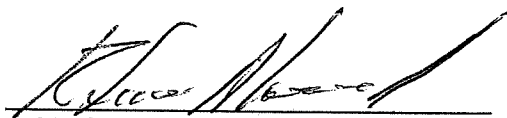
PRESENTA

ROSARIO MARTÍNEZ OLVERA

Aprobada por:


Dr. Michel J. Dreyfus León
Presidente del jurado


Dr. Rafael Hernández Walls
Sinodal


M. C. Eliseo Almanza Heredia
Sinodal

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT por el apoyo brindado.

A la Facultad de Ciencias Marinas por el espacio para culminar esta tesis.

Al Dr. Michel Dreyfus León por aceptarme como su alumna y también por su paciencia, apoyo y solidaridad en los momentos difíciles.

Al Dr. Rafael Hernández Walls por su tiempo y dedicación para la tesis.

Al M. en C. Eliceo Almanza Heredia por el apoyo y disposición para la realización de la tesis.

A mis tías Sofia, Felix, Claudia y Vero por el cariño, preocupación y apoyo para que finalizara mi meta. -

A mi abuelita Juanita por su preocupación y animo para que finalizara este trabajo.

A las familias Sánchez Martínez, Aparicio Martínez, Galicia Martínez, Contreras Martínez y Meléndez Olvera por su apoyo incondicional y por que estuvieron al pendiente de mi.

A Angelica Arce por su amistad a lo largo de mi estancia en Ensenada.

Al Dr. Antonio Trujillo por su tiempo brindado en la realización del trabajo estadístico.

Y muy en especial a mi AMIGA Eliza por el tiempo compartido, no solo aquí, también por la amistad, compañerismo y hermandad que logramos construir, por lo que vivimos y aprendimos juntas. Por los agradables y desagradables momentos que han sucedido a lo largo de nuestra estancia.

ÍNDICE DEL TRABAJO

I	INTRODUCCIÓN	1
	I.1 Planteamiento del problema	5
II	ANTEDECENTES	5
	II.1 Objetivos	10
	II.2 Hipótesis	10
	II.3 Importancia del trabajo	11
III	MODELO DE SIMULACIÓN	11
	III.1 Autómatas Celulares	13
	III.1.1 Características de los AC	13
	III.2 Supuesto	15
IV	METODOLOGÍA	16
	IV.1 Características del modelo	16
	IV.2 Reglas de movimiento	18
	IV.2.1 Unidades de Recurso	18
	IV.2.2 Estrategias de búsqueda de los barcos	19
	IV.3 Escenarios	21
V	PRUEBAS ESTADÍSTICAS	21
VI	RESULTADOS	22
	VI.1 Distribución de Peces	22
	VI.2 Simulación 1	23
	VI.3 Simulación 2	37
	VI.4 Análisis Estadístico	43
	VI.4.1 Simulación 1	43
	VI.4.2 Simulación 2	45
VII	DISCUSION	48
VIII	CONCLUSION	53
	LITERATURA CITADA	54

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
I Reglas de la vida	18
II Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis, de S-1	46
III Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis, de S-2	47

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Vecindario bi-dimensional de Moore con 8 celdas vecinas.	15
2 Vecindario dinámico de 10x10 celdas del AC.	20
3 Distribución de peces.	22
4 Captura por unidad de tiempo de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos).	24
5 Captura de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos). Valor de tendencia central (mediana).	24
6 Captura de barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos). Valor de tendencia central (mediana).	25
7 Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-20) Escenario 1.	26
8 Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-19 y 20) Escenario 2.	26
9 Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-18-20) Escenario 3.	27
10 Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-17-20) Escenario 4.	27

11	Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-16-20) Escenario 5.	28
12	Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-15-20). Escenario 6.	28
13	Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-14-20) Escenario 7.	29
14	Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) Escenario 1.	30
15	Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) Escenario 2.	30
16	Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) Escenario 3.	31
17	Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) Escenario 4.	31
18	Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) Escenario 5.	32
19	Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) Escenario 6.	32
20	Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) Escenario 7.	33
21	Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) Escenario 1.	34
22	Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) Escenario 2.	34
23	Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) Escenario 3.	35

24	Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) Escenario 4.	35
25	Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) Escenario 5.	36
26	Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) Escenario 6.	36
27	Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) Escenario 7.	37
28	Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) Escenario 1.	38
29	Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) Escenario 2.	38
30	Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) Escenario 3.	39
31	Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) Escenario 4.	39
32	Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) Escenario 5.	40
33	Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) Escenario 6.	40
34	Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) Escenario 7.	41
35	Captura acumulada por unidad de tiempo de barcos en Grupo de los siete escenarios	42
36	Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo de los siete escenarios.	42
37	Desviación estándar por unidad de tiempo de barcos Individuales del Escenario 1.	44
38	Desviación estándar por unidad de tiempo de barcos en Grupo del Escenario 1.	44
39	Desviación estándar por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) Escenario 1.	45

I. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, las pesquerías han sido estudiadas desde un punto de vista biológico y el esfuerzo de pesca ha sido incorporado en los modelos como una variable de manejo o de control importante en la valoración de los estudios de los stocks. La distribución espacial del esfuerzo está en función del comportamiento humano y se relaciona también con la distribución espacial de los peces. Actúa como un componente importante del comportamiento dinámico de las flotas pesqueras que debe ser parte fundamental de la investigación pesquera (Hilborn, 1985).

El esfuerzo de pesca es una medida de intensidad de las operaciones de pesca. La definición del esfuerzo depende del tipo de pesquería y arte de pesca y con frecuencia del tipo y cantidad de información disponible. Por ejemplo, dentro de las pesquerías palangreras, el esfuerzo suele definirse en unidades de número de anzuelos o en horas-anzuelo. En la pesquería de cerco, el esfuerzo se suele definir como días-barco (tiempo de pesca más tiempo de búsqueda) (ICCAT, 1999). Ésto involucra cualquier actividad de índole humana que se realiza con el propósito de alcanzar el objetivo de la pesca. Al realizarse estas actividades, se hace uso de recursos materiales y económicos, lo cual a su vez implica un gasto de energía y tiempo. De esta forma el esfuerzo de pesca se identifica con los sistemas empleados para capturar y con la manera con que estos sistemas se aplican en el tiempo y en el espacio (Ehrhardt, 1981).

El esfuerzo de pesca se utiliza para estimar la abundancia y, para evaluar el estatus de explotación de los stocks (Polacheck, 1988), además de conocer las fluctuaciones del esfuerzo y de sus parámetros (ej. dinámica del comportamiento del pescador, toma de decisiones, mercadeo y procesamiento del producto) que resultan ser necesarios para poder formular políticas de manejo y nuevas estrategias de ordenación de las pesquerías de mayor interés comercial (Botsford, *et al.* 1983).

No es suficiente tener solo el conocimiento biológico de los stocks, para desarrollar estrategias de manejo y esquemas regulatorios eficaces para la administración, conocimiento y aprovechamiento de los recursos, ya que se debe considerar, en la toma de decisiones relativas al manejo de los recursos, el comportamiento de los pescadores. Contar con el conocimiento de la forma en que los pescadores distribuyen el esfuerzo de pesca en el espacio, es esencial para comprender el desarrollo de una pesquería (Hilborn y Walters 1987). Generalmente el pescador opera donde él considera que están localizados los cardúmenes y su esfuerzo de pesca no es distribuido al azar, mas bien es concentrado en las zonas que son "ideales" para la pesca. Este patrón se presenta comúnmente en las pesquerías mayores, por ejemplo la pesquería del atún (Gulland, 1964; Paloheimo y Dickie, 1964; Bannerot y Austin, 1983), donde la CPUE permanece como un índice de abundancia, que se usa para diagnóstico de los stocks y comúnmente lo utilizan las agencias internacionales en pesquerías (Gaertner y Dreyfus, 2004).

Poder establecer la dinámica de una flota pesquera ayuda a analizar y a comprender el efecto de la toma de decisiones y administración pesquera, ya que la distribución del esfuerzo espacio-temporal, a su vez tiene efecto en la captura y abundancia del recurso (Botsford, *et al.* 1983). La magnitud del esfuerzo de pesca y de su distribución está estrechamente relacionada con la mortalidad de pesca (Mangle y Clark, 1983), y la dinámica de las flotas, es un componente clave del sistema pesquero para la valoración de estudios de los stocks (Mangle y Clark, 1983).

En muchas pesquerías sobre todo oceánicas, el flujo de información entre las embarcaciones tiene efecto en la dinámica de la flota y en la explotación del recurso. A pesar de que los estudios son dirigidos a aspectos biológicos de las pesquerías, hoy en día va en aumento el interés en enfocar las investigaciones hacia el comportamiento del pescador, donde y como el pescador asigna su esfuerzo para evaluar los efectos de la toma de decisiones en las flotas pesqueras (Little, *et al.* 2004). Si bien es cierto que la comunicación entre pescadores, el flujo o intercambio de información con respecto a la calidad de las zonas de pesca, logra tener un impacto entre otros pescadores ya que puede llegar a influenciarlos en sus toma de decisiones de hacia donde dirigir su esfuerzo (Palmer, 1991; Little, *et al.* 2004), la importancia que llega a generar el intercambio de información entre barcos es una característica del comportamiento del pescador que raramente es analizada o modelada (Dreyfus, 2005). Inclusive el aprendizaje como mecanismo de adaptación a las estrategias de manejo ha sido solo incorporado en modelos con redes

neuronales para simular este mecanismo (Dreyfus, 1999, 2001 y 2005). En contraste la mayoría de los modelos incluyen la dinámica del esfuerzo de pesca con base a reglas específicas, para que los pescadores se muevan hacia áreas de pesca cercanas en respuesta a los cambios locales de la abundancia (Mangle y Clark, 1983; Allen y McGlade, 1986; Hilborn y Walters, 1987; Little, *et al.* 2004).

Como características que influyen en el comportamiento de los barcos Allen y McGlade, 1986, clasifican a los pescadores como cartesianos (son considerados barcos que se arriesgan menos) y estocásticos (aquellos que más se arriesgan en tomar una decisión).

La aplicación de los modelos de simulación, proporcionan una visión más amplia en el campo de la experimentación, ya que proporcionan la posibilidad de encontrar herramientas de trabajo alternos para la evaluación de sistemas pesqueros. Los modelos de simulación proporcionan dos beneficios; uno la capacitación de administradores y dos como herramienta en la toma de decisiones. Quien hace uso de ellos puede realizar pruebas repetitivas con las combinaciones críticas necesarias de circunstancias que ocurren en una pesquería (Muetzelfeldt, 1979).

En particular, la simulación puede ayudar a apreciar mejor como los stocks pueden responder a la explotación (Hilborn y Walters, 1987), como herramienta útil para evaluar la eficacia de opciones de manejo de la estructura espacial de la pesquería (Little, *et al.* 2004) y predecir cambios en la

disponibilidad del recurso, ésto con el fin de implementar medidas de regulación para su adecuada administración (Galluci *et al.*, 1996).

I.1 Planteamiento del problema

Para la realización y construcción del modelo de simulación, se considera la importancia que desempeña el esfuerzo pesquero y su distribución, que está en función del comportamiento de los pescadores, por lo que con la finalidad de entender y predecir la dinámica espacio-temporal del esfuerzo pesquero, este trabajo se lleva a cabo, empleando un modelo para simular una pesquería hipotética con el objetivo de modelar el comportamiento del pescador, enfocado a llevar a cabo estrategias de búsqueda del recurso.

II. ANTECEDENTES

La distribución del esfuerzo está en función del comportamiento de los pescadores, por lo que con la finalidad de entender la respuesta del sistema pesquero en su conjunto a las medidas de manejo, es importante poder representar a los pescadores, sujetos a un esquema de regulación determinado, considerando la dinámica espacial del esfuerzo (Dreyfus, 1999).

Los estudios sobre la dinámica del esfuerzo pesquero se han enfocado usualmente a las decisiones a corto plazo de los pescadores, así como en las estrategias de búsqueda por áreas de pesca y en la

caracterización de patrones generales de asignación de la intensidad de pesca (Smith, 1969; Clark, 1976; Mangel y Clark, 1983).

Los trabajos que se han realizado con respecto a la distribución espacial del esfuerzo pesquero van desde observaciones humanas cualitativas hasta modelos de simulación y estudios cuantitativos (Gillis *et al.*, 1993). En estos modelos se muestran generalmente al esfuerzo y al espacio como variables agregadas (Mangel y Clark, 1983; Allen y McGlade, 1986; Hilborn y Walters 1987). En este tipo de modelos se establecen reglas fijas para el movimiento ó cambio en la distribución del esfuerzo entre las áreas.

Son pocos los trabajos que, sobre observaciones de la dinámica de movimiento en las pesquerías, han dado como resultado alguna explicación acerca de los patrones de comportamiento de los pescadores en términos de toma de decisiones de ubicación del esfuerzo pesquero (Gillis *et al.*, 1993; Hilborn y Ledbetter, 1979; Hilborn y Walters 1987).

Mangel y Clark (1983) modelan de manera matemática y estadística la incertidumbre en la localización de cardúmenes de peces y el efecto de la búsqueda por las embarcaciones pesqueras para reducir esa incertidumbre y tomar la mejor decisión posible con respecto a donde ir a pescar.

El trabajo de Mangel (1982), analiza y desglosa el esfuerzo de pesca y lo divide en esfuerzo de búsqueda y esfuerzo de captura. Esto es importante ya que tradicionalmente se considera al esfuerzo de pesca en términos de dia-barco. Gaertner y Dreyfus, (2004), analizaron la relación no-lineal entre CPUE y abundancia de una pesquería pelágica, realizaron una simulación de estas

dos variables para entender el efecto de la dinámica de las flotas pesqueras en la interpretación de CPUE y el proceso de la toma de decisión por el propio pescador mientras busca el recurso. Este trabajo aplica estrategias de pesca, haciendo una comparación del éxito de captura que llevan acabo aquellos que pescan de manera individual contra los que realizan la pesca en grupo. La asignación espacial del esfuerzo de pesca es un componente importante de la dinámica de una flota, especialmente para entender la causa de la relación no-lineal entre la CPUE y abundancia.

Sin embargo la mayoría de los estudios de dinámica de flotas pesqueras usan un enfoque agregado para simular cambios en esfuerzo de pesca como una respuesta a los cambios locales en abundancia (Mangel y Clark, 1983; Allen y McGlade, 1986; Hilborn y Walters 1987; Gillis y Peternan, 1998). Por su parte, los trabajos de Hilborn y Walters (1987) y Little, *et al.* (2004) simularon como el pescador destina su esfuerzo de búsqueda hacia zonas específicas, de acuerdo a información recibida de otras embarcaciones que exploraron esas áreas. Con esta información los pescadores deciden donde y cuando dirigir su esfuerzo, y se puede explicar como una pesquería se desarrolla y la relación que existe entre tasa de captura y abundancia. Ellos de esta manera determinaron que el intercambio de información entre las embarcaciones es más eficaz para efectuar la pesca. Allen y McGlade (1986) simularon con un modelo de ecuaciones diferenciales la implicación de contar con diferentes estrategias de pesca o comportamientos, y el flujo de información entre

pescadores, asociados a cambios espaciales de los patrones de abundancia y la variación natural del stock.

De tal manera la asignación espacial del esfuerzo de pesca es un componente importante de la dinámicas de las flotas, tiene mayor importancia en el manejo para la toma de decisiones, sin embargo los modelos espaciales en pesquerías en general son demasiado elementales en consideración con las dinámicas espaciales del esfuerzo de pesca, debido a la complejidad del comportamiento humano, a la falta de herramientas y también probablemente a la tendencia de dar mayor énfasis en modelar un recurso (Dreyfus, 2005). Sin embargo algunas herramientas se han adecuado para ese propósito; particularmente el trabajo de Dreyfus (1999), con redes neuronales artificiales, en él se incluye el aprendizaje como mecanismo de adaptación, se enfoca a estudiar la actividad de forma individual y en unidades de pesca individuales, es decir asigna información a un pescador artificial con el propósito de que desarrolle y aprenda una estrategia de búsqueda espacial de sus presas. Designando un espacio donde el pescador realiza su búsqueda adaptándose al entorno por aprendizaje.

También, el trabajo de Millisher (2000), con otras técnicas, desarrollo un sistema multi-agente de tipo "IBM" o centrado en el individuo ("Individual Based Modeling") enfocado a modelar estrategias y eficiencia de pesca. El modelo se enfocó en la representación del flujo de información entre barcos, utilizando la información a orientar su esfuerzo de búsqueda y analizar las respuestas obtenidas, en términos de eficiencia y comportamiento espacial de los barcos,

destacando que los barcos le toman mayor importancia a la calidad de la información que reciben.

Existen pocos trabajos con modelos de simulación que se centran en el individuo que incluyan alternativas que nos auxilien a entender mejor, en los procesos de modelación, las interacciones entre pescadores, la adaptación del comportamiento y persistencia en problemas complejos relacionados a la pesca (Grima et al., 1999), Sin embargo el trabajo de Dreyfus (2005) menciona a la sociología, la ciencia de las interacciones humanas, como apoyo para entender mejor algunos procesos de la modelación.

Dreyfus –(2005) utilizó los Autómatas Celulares –(AC) para modelar las interacciones del pescador con el propósito de distribuir espacialmente el esfuerzo de pesca. Particularmente hace una modificación al vecindario tradicional utilizado (el de Moore) y lo llamó “vecindario dinámico” con la característica de tener localizado el barco en el centro del vecindario, las celdas no están fijas sino que son áreas que rodean al barco (se mueven con el). La interacción entre los barcos es considerada como un intercambio de información. Para cada celda (celda del centro y sus 8 vecinos), todos los barcos dentro de cada celda participan para definir el estado o calidad de la celda en términos del recurso abundante.

El modelar la dinámica espacial de flotas pesqueras con Autómatas Celulares (AC), permite comprender mejor la asignación del esfuerzo pesquero en función del tiempo y consecuentemente ayudar al manejo de los recursos pesqueros (Bahr y Passerini, 1998).

Resulta necesario realizar más investigaciones enfocados a la dinámica del esfuerzo pesquero, incorporar en los modelos el comportamiento de los pescadores en las diferentes pesquerías. Por lo que en este trabajo, se plantea el uso de una herramienta que permite guiarnos a proponer alternativas nuevas en términos de búsqueda y a proponer cambios o mejoras en sus conocimientos actuales.

II.1 Objetivos

Objetivo general:

Modelar el comportamiento del pescador enfocado a la dinámica del esfuerzo pesquero.

Objetivos particulares:

*Utilizar un simulador para el diseño y evaluación de estrategias de explotación pesquera (efecto de grupo y exploradores).

*Representar el comportamiento de búsqueda del pescador.

II.2 Hipótesis:

Los autómatas celulares son una herramienta adecuada para modelar las estrategias de pesca.

La pesca en grupo promueve la eficiencia de búsqueda del recurso.

La existencia de un explorador en un grupo de pescadores ayuda a tener éxito en la pesca.

II.3 Importancia del trabajo

Con este trabajo se pretende contribuir a proporcionar una herramienta de evaluación de la dinámica del esfuerzo pesquero, que pueda ser útil en el diseño de políticas de manejo de explotación y evaluación de estrategias de pesca, pues mediante su uso se podría definir el tamaño y la configuración optima de la flota que realiza la explotación del recurso.

Con esto se logrará obtener otras alternativas para el entendimiento de los sistemas pesqueros, mejorar las estrategias de manejo y ayudar a comprender mejor la relación del recurso y el pescador.

III. MODELO DE SIMULACIÓN

Los modelos de simulación pueden proveer valioso entendimiento en valorar la importancia de las interacciones que suceden en los sistemas reales, además de permitirnos ampliar nuestro nivel de conocimiento a la incertidumbre de nuevos métodos alternos, que nos da la oportunidad de experimentar y guiarnos a la búsqueda de nuevas opciones de manejo en estos sistemas complejos (Anganuzzi, 1994)

Un modelo es una representación de la realidad desarrollado con el propósito de estudiarla. En la mayoría de los análisis no es necesario considerar todos los detalles de la realidad, entonces, el modelo no solo es un sustituto de la realidad sino también una simplificación de ella (Reza y García, 1996).

La simulación es una herramienta computacional que se desarrolla de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo (Reza y García, 1996).

En general los términos “sistema” y “modelo”, son importantes para poder comprender mejor la definición: un sistema es una colección de variables que interactúan entre sí dentro de ciertos límites para lograr un objetivo, el modelo por su parte es una representación de los objetos del sistema y refleja de manera sencilla las actividades en las cuales esos objetos del sistema se encuentran involucrados (Reza y García, 1996).

Evaluar un modelo significa desarrollar un nivel aceptable de confianza de modo que las diferencias obtenidas del comportamiento del modelo sean correctas y aplicables al sistema del mundo real. La validación y verificación son una de las tareas más importantes y difíciles que enfrenta la persona que desarrolla un modelo de simulación.

La verificación se refiere a la comparación del modelo conceptual con el código computacional que se generó, para lo cual es necesario contestar preguntas como: ¿está correcta la codificación?, ¿son correctas las entradas de datos y la estructura lógica del programa?

La validación por su parte, es la demostración de que el modelo es realmente una representación fiel de la realidad. La validación se lleva a cabo, generalmente, a través de un proceso comparativo entre ambas partes (Reza y García, 1996).

III.1 Autómatas Celulares

Los Autómatas Celulares (AC), son una herramienta computacional ó un sistema dinámico discreto utilizado para la representación de comportamientos complejos de algunos sistemas físicos, biológicos y químicos (Wolfram, 1984), designados a estudiar comportamientos colectivos de muchos individuos (Bahr y Passerini, 1998b). Los AC son muy apropiados para imitar sistemas con fuertes interacciones locales (Phipps, 1992). Están formados de una red de sitios (celdas ó autómata) (Chen, *et al.*, 2002) (Fig. 1), que tiene la propiedad de modificar su estado en función de un conjunto de celdas vecinas llamadas vecindario y como consecuencia de un conjunto de una serie de reglas preestablecidas que define el comportamiento a lo largo del tiempo, realizadas en intervalos de tiempo cortos (Wolfram, 1984). De esta forma es posible observar la evolución de un AC a lo largo del tiempo, partiendo de una configuración inicial, y percibir como el sistema se transforma a cada ciclo de tiempo, adoptando distintas apariencias (Vázquez y Oliver, 1991).

III.1.1 Características de los AC:

- El AC está formado por un conjunto finito de subespacios homogéneos, llamadas celdas distribuidas en una rejilla regular. Si el autómata es unidimensional las celdas se distribuyen a lo largo de una línea, donde la celda central cambia de estado dependiendo de las situadas a su derecha e izquierda y se define a través de la tabla de reglas que describen su comportamiento; si es bidimensional a través de una rejilla plana, uno de los tipos de autómatas

celulares mas conocidos es el "Juego de la Vida", diseñado por el matemático John Conway en 1960, en el que cada celda puede adoptar uno de dos estados, a saber: vivo o muerto. En cada momento el estado de una celda viene determinado por el estado de las 8 celdas adyacentes; es este ultimo el que se utiliza para este trabajo (Fig. 1).

- En el autómata el estado de las celdas cambia de un instante a otro de acuerdo a un conjunto de reglas fijas comunes a todas las celdas. Define como debe de cambiar de estado dependiendo del estado presente de su vecindad. Con este conjunto de reglas podemos ver como evoluciona el sistema partiendo de una situación inicial y con sólo modificar levemente una de las reglas podemos observar cambios.
- Un reloj virtual de cómputo que indican cuando debe establecerse los cambios de estado de las células según las reglas de evolución, haciendo que todas las celdas cambien de estado al mismo tiempo.
- Cuando se definen condiciones de frontera, el espacio es de tamaño limitado y finito, es decir con bordes, en éste las celdas en el borde tienen menos celdas vecinas, por ejemplo la esquina en dos dimensiones tienen tres celdas vecinas. Otra opción es el espacio toroidal, en éste las ultimas celdas de la derecha están unidas (interactúan) con las primeras de la izquierda y viceversa, al igual que las de la línea inferior lo hacen con la primera y viceversa.
- Los vecindarios más comunes son el de Von Neuman que considera a los 4 vecinos ortogonales (vecino norte, sur, este y oeste) y el de Moore que toma además en cuenta los diagonales (vecino noroeste, noreste, suroeste y

sureste) en total tiene ocho vecinos. Este vecindario se considero en este trabajo (Fig. 1), con algunas modificaciones.

- El AC es un medio artificial de experimentación que permite realizar pruebas de gran escala de espacio y tiempo, que de forma natural son imposibles de realizar (Camino, 2000; Laxe, 2001; (Vázquez y Oliver, 1999).

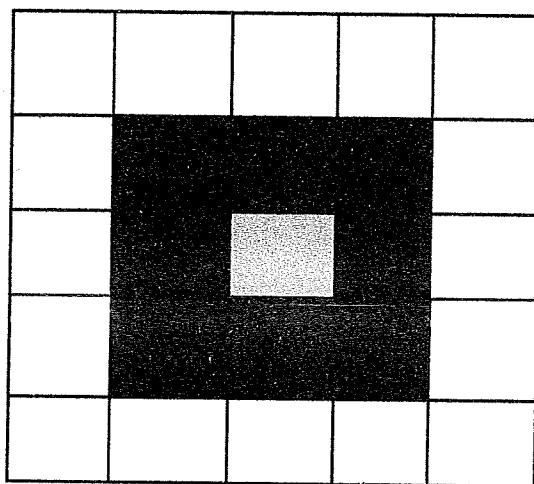


Figura 1. Vecindario bi-dimensional de Moore con 8 celdas vecinas. El estado de una celda se encuentra determinado por las inmediatamente adyacentes, que se representan sombreadas. (Wolfram, 1984).

Una pregunta que no puede dejar de hacerse es: ¿por que utilizar los AC?, es debido a que en general es más sencillo entenderlos y especificar las reglas de éste, que desarrollar una ecuación diferencial parcial para describir la dinámica de un sistema integrado por muchos componentes con gran cantidad de variables involucradas. Además todos los procesos de experimentación de un biólogo pueden ser realizados en el AC (Camino, 2000).

III.2 Supuesto

La razón del por que se trabajo con grupos de barcos y peces hipotéticos se debido a que es posible controlar el flujo de información, conocer la conformación del grupo de barcos y conocer y modificar la dinámica del recurso. Este modelo es general y no pretende representar a ninguna pesquería particular.

IV.METODOLOGÍA

IV.1 Características del modelo

El trabajo consiste en el desarrollo de un modelo de simulación en ambiente de programación MATLAB, usando la metodología de Autómatas Celulares (AC), para representar la dinámica espacial de las flotas y las unidades de recurso (UNIR)(Anexo 1).

El área de pesca o escenarios del AC, están representados como una matriz de celdas de 100x100 simulando un "océano" toroidal, en donde la asignación inicial de lugar de las UNIR y barcos dentro de la matriz se hace al azar.

Las UNIR, se distribuyen en la matriz 100x100, en parches hasta 3000 unidades en cada escenario. Un escenario comprende 1000 tiempos de pesca realizada por el barco. Cuando éste esta posicionado en la misma celda de una UNIR, ésta desaparece, considerándolo como captura en ese escenario.

Por su parte el barco realiza 10 movimientos de búsqueda local en un área determinada, antes de decidir si permanece o cambia a otro lado para seguir explorando. Esa decisión depende de las características de cada embarcación (pertenece o no a un grupo y es cartesiano o explorador). En ese momento entra en juego la agrupación de celdas (vecindario dinámico) para definir su área y las áreas vecinas. Cuando decide trasladarse a otra área, el movimiento es dirigido al centro de ese espacio escogido.

El número de barcos representa un parámetro de interés, y donde cada grupo realiza estrategias de comportamiento de búsqueda. Cada barco se localiza en el centro de su vecindario, cuenta con una percepción o conocimiento local del área de pesca, donde su cambio estará en función del éxito de captura.

El vecindario del autómatas que se usa para desarrollar la dinámica, tradicional, es el vecindario extendido de Moore (Fig.1, que se modificó tomando en cuenta el vecindario dinámico de Dreyfus, 2005 (Fig. 2). En el cual el barco se encuentra en el centro del vecindario (super celda de 10x10). Las celdas no son espacios fijos en el mundo simulado. La interacción entre los barcos del vecindario es la base dentro del AC. Esta interacción es considerada como un cambio de información al realizar la captura (Dreyfus, 2005). En cada celda (el centro y 8 vecinos), todas las embarcaciones participan para definir el estado o calidad de la celda en términos de abundancia del recurso. La opinión de la calidad de las celdas esta en función de la captura que hayan realizado los barcos.

IV.2 Reglas de movimiento

IV.2.1 Unidades de Recurso

Dentro del programa se definen reglas (Tabla 1), para generar la dinámica poblacional de las UNIR, representadas como unidad local por celda en la matriz. Las reglas para representar la dinámica del recurso, es el autómata conocido como: "Juego de la Vida", diseñado por el matemático John Conway en 1960, en el que cada celda puede adoptar dos estados en función del estado de las celdas adyacentes.

Tabla 1. Reglas de vida en el modelo:

Suma de vecinos	igual	Estado que seguirá en la siguiente generación.
	7	
	≤ 4	
	> 2 y esta 	

✓ por otro lado, de cualquier otra forma si esta vivo, muere por aislamiento.

De acuerdo a estas reglas los cambios poblacionales del recurso se representan de manera implícita; reclutamiento, mortalidad, agregaciones y movimientos en grupo, los cambios se realizan cada 10 unidades de tiempo.

IV.2.2 Estrategias de búsqueda de los barcos

Cuando el vecindario esta definido todas las condiciones de las celdas son siguen unas simples reglas de traslado (Dreyfus, 2005), puestas a la dinámica del AC:

Primero cada unidad de tiempo buscan en vecindario de Moore, comunes a peces y barcos.

Se mueven solo si tienen posibilidad de capturar (en sentido de manecillas de reloj hacen la búsqueda).

Cada 10 unidades de tiempo: entra en acción el vecindario extendido y dinámico que equivale a 10×10 celdas del autómata propuesto por Dreyfus, 2005, en el cual el barco se encuentra en el centro del vecindario. Las celdas no son espacios fijos en el mundo simulado. La interacción entre los barcos del vecindario es la base dentro del AC.

Si un barco es de grupo, evalúa su vecindario y su celda (10×10) en base a la comunicación con sus compañeros de grupo solamente.

Si su zona es muy mala, se mueve a zona vecina de mejor calidad y además es la mejor elección posible de acuerdo a la información recabada en forma de CPUE, de sus compañeros en celdas vecinas de 10×10 .

Una zona muy mala para los cartesianos es definida cuando la $CPUE=0$ y para los exploradores cuando de acuerdo a la información recabada, la $CPUE \leq 3$.

En caso de no tener conocimiento de zona mejor, si varias celdas tienen la misma categoría (hacen la búsqueda de la celda en sentido de las manecillas

del reloj). Se mueven a zona vecina vacía (en sentido de manecillas de reloj), solo en caso de considerar que su zona es muy mala y no hay conocimiento de nada mejor.

En el caso de los individuales, en lugar de intercambiar información del vecindario extendido con otros barcos, solo se fijan si hay barcos y cuantos en cada celda (vecindario extendido) y se van a donde hay mas barcos. si consideran que su zona es muy mala (de acuerdo a las reglas de cartesianos y exploradores),

Si no hay mas barcos, se mueven a zona vacía (realizan la búsqueda de la misma manera que las embarcaciones de grupo).

De acuerdo a estas simples reglas de decisión, el movimiento del pescador es instantáneo al centro del vecindario de la nueva celda.

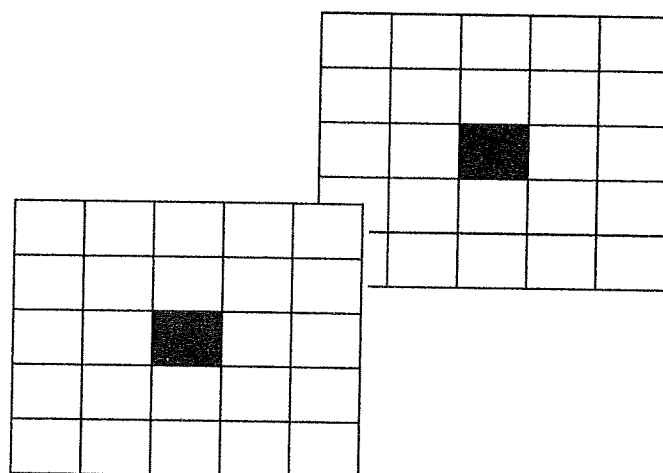


Figura 2. Vecindario dinámico. El barco (cuadro negro) está en el centro del vecindario de 10x10 celdas del AC. (Dreyfus, 2005).

IV.3 Escenarios

Se realizaron dos simulaciones, para analizar el efecto de grupo y la presencia de exploradores.

En la primera simulación (S-1) hay 10 barcos formando un grupo donde en todos los escenarios solo hay un explorador y 10 barcos individuales con numero variado de exploradores (de 0 a 7 exploradores). Esto con la finalidad de saber si incluso, aumentando el número de exploradores en los barcos individuales sacan ventaja en conjunto, al observar a los demás.

En la segunda simulación (S-2) hay dos grupos de 10 embarcaciones. Se, varia la cantidad de exploradores del primer grupo, (de 1 a 7) y el segundo grupo esta compuesto por cartesianos solamente con la finalidad de ver diferencias en el desempeño de captura debido a la incorporación de exploradores.

V. PRUEBAS ESTADISTICAS

Con el objeto de analizar si existen diferencias de eficiencia debido a pertenecer o no a un grupo que intercambia información o debido a la presencia de exploradores, se realizan pruebas estadísticas.

VI. RESULTADOS

VI.1 Distribución de los peces

Se presentan algunos ejemplos de la distribución de las unidades de recurso (UNIR) (verdes) en diferentes tiempos de acuerdo a las "reglas de la vida" definidas previamente (figura 3), sin pesca y partiendo de valores de abundancia baja.

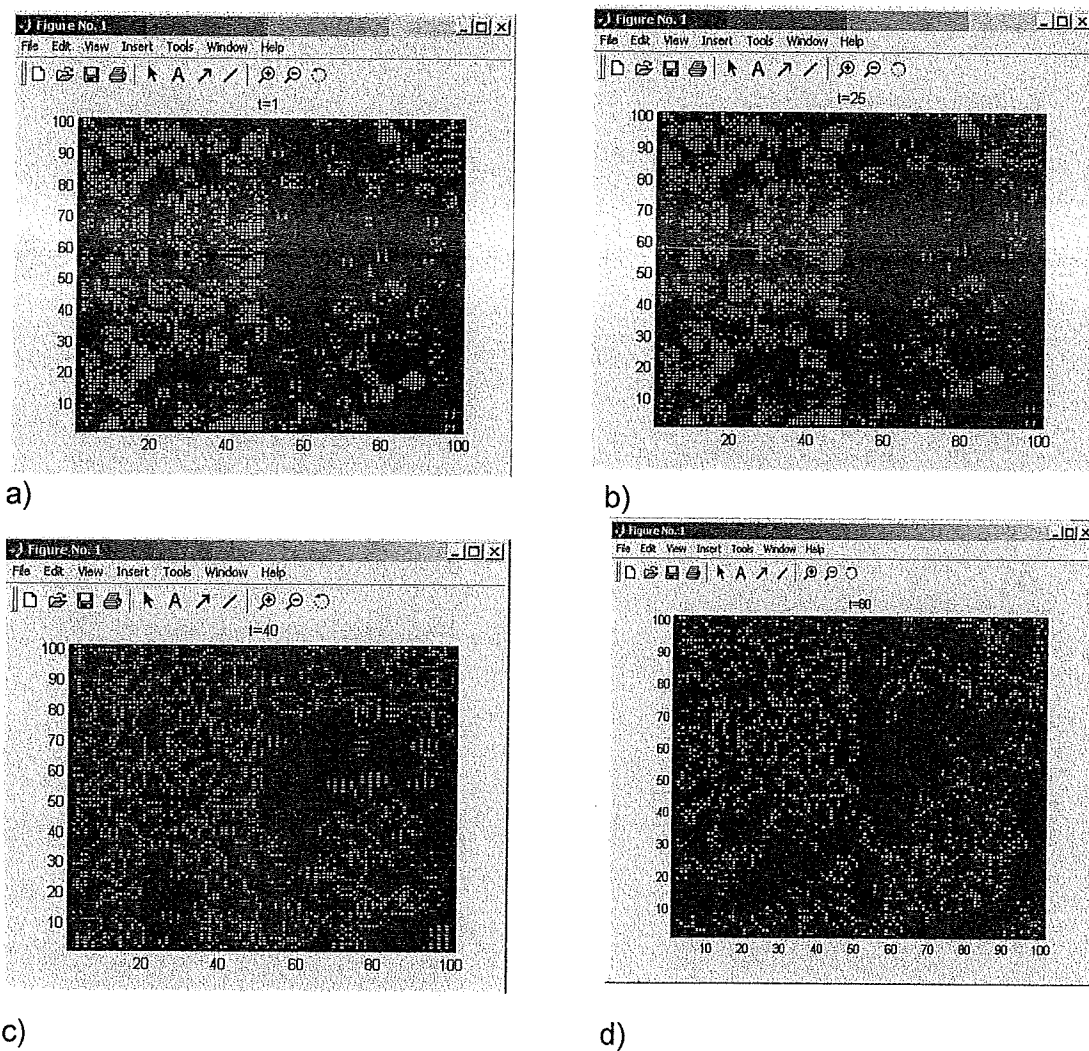


Figura 3. Distribución de las UNIR, en a) $t=1$ sin pesca, b) $t=25$, c) $t=40$, d) $t=80$.

Respecto a los barcos, se presentan en este trabajo dos simulaciones, S-1 variando el número de exploradores individuales (de uno a siete exploradores, es decir 7 escenarios) y en S-2 variando los exploradores de grupo (de uno a siete exploradores, es decir 7 escenarios).

VI.2 Simulación 1

En la figura 4, se muestra la variabilidad en la captura realizada por barcos en grupo e Individuales a lo largo del tiempo, en uno de los 7 escenarios. Se observa valores altos de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) en los primeros tiempos para los barcos en Grupo, también se observa oscilaciones de los valores de la CPUE con respecto al tiempo, tendiendo a disminuir y llegar a cero en los últimos periodos de tiempo, para ambos grupos de barcos (Individuales y de Grupo).

En las figuras 5 y 6 muestran la eficiencia en términos de captura mediana de barcos en Grupo e Individuales. De igual forma y como ejemplo, se presenta solo la grafica de uno de los escenarios. Se observa la tendencia a valores altos en función de la abundancia de UNIR. Se observa claramente en ambas figuras fluctuaciones en la CPUE, llegando a presentar cero en algunos periodos de tiempo y al final. En los barcos en grupo presentan capturas mayores en más periodos de tiempo en comparación a los barcos individuales.

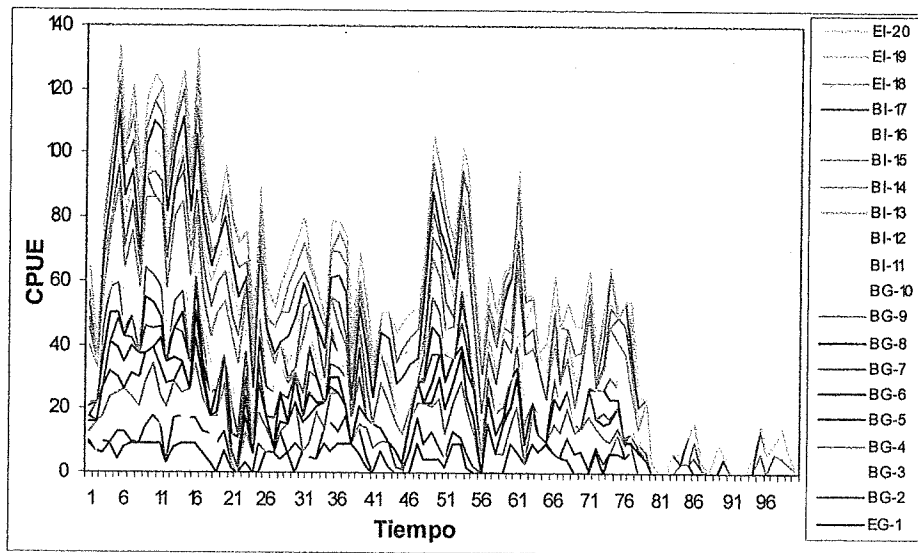


Figura 4. Captura por unidad de tiempo de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos).

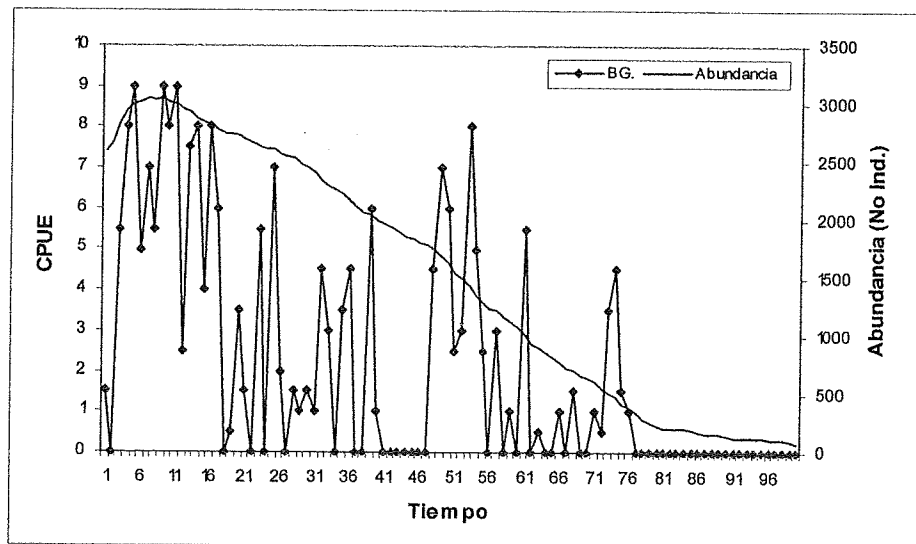


Figura 5. Captura de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos). Valor de tendencia central (mediana).

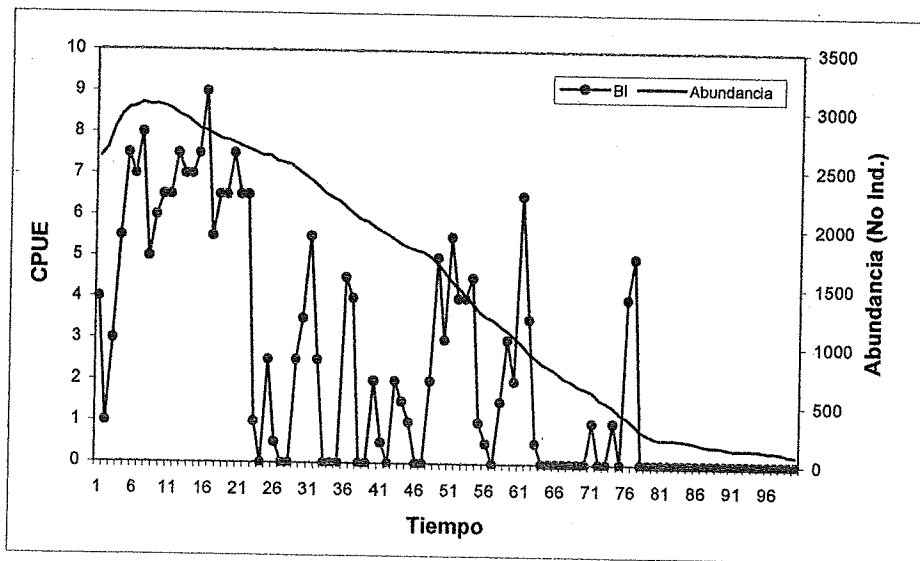


Figura 6. Captura de barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos). Valor de tendencia central (mediana).

Las figuras 7 a la 13 muestran las capturas totales por número de barcos, para los siete escenarios de la S-1. En los primeros tres escenarios los valores de las capturas de los exploradores individuales presentan valores menores de captura en comparación al explorador de grupo, en contraste en los escenarios 4 a 6 el explorador en grupo tiende a disminuir en comparación a los exploradores individuales, presentando valores mayores del explorador individuales en el escenario 5. En los barcos cartesianos de grupo de casi todos los escenarios mantienen capturas mayores en comparación a los cartesianos individuales.

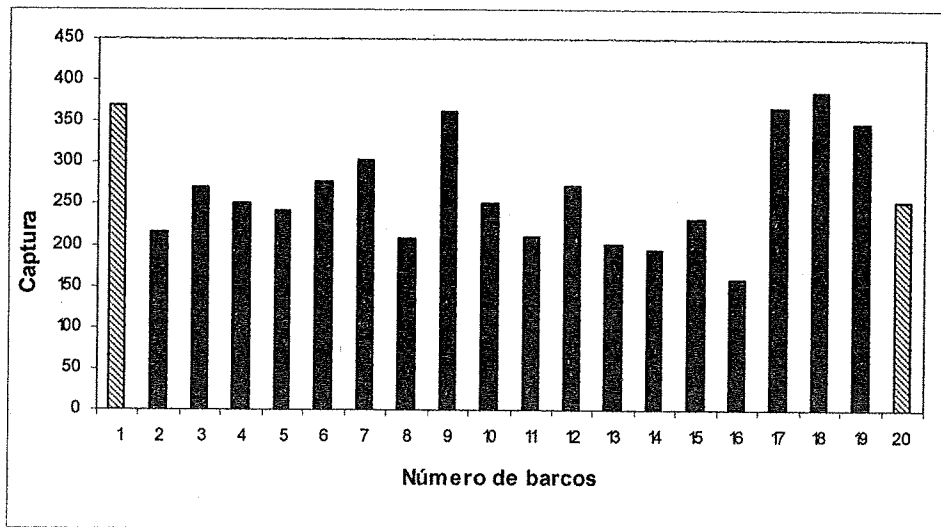


Figura 7. Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-20) **Escenario 1.**

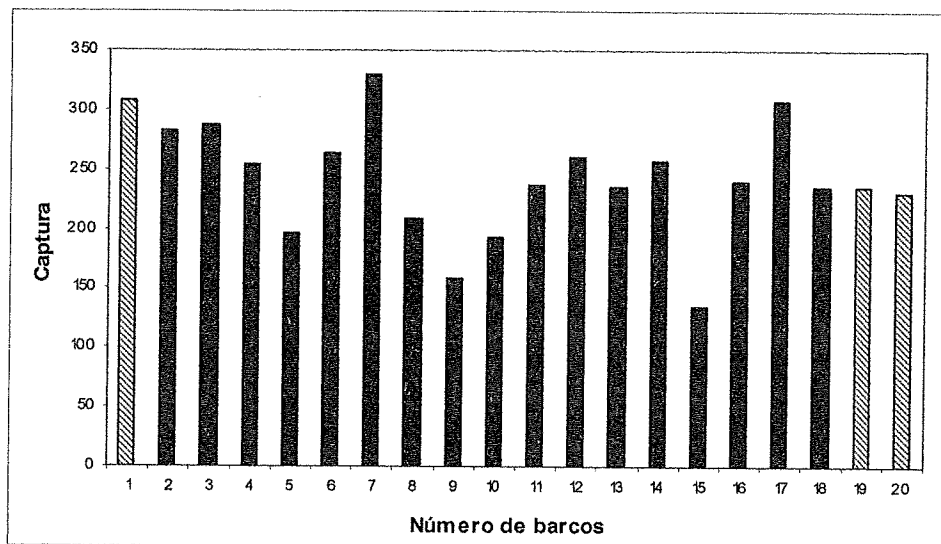


Figura 8. Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-19 y 20) **Escenario 2.**

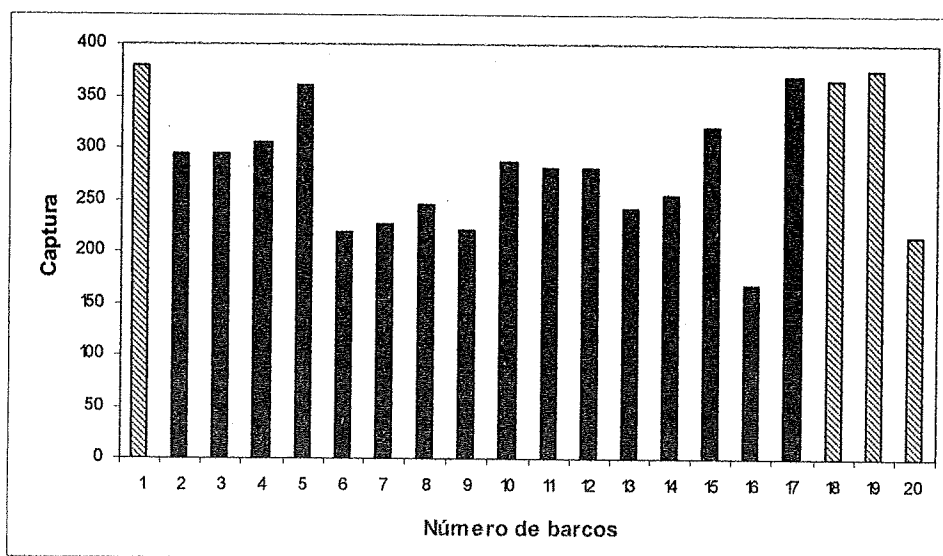


Figura 9. Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-18-20) **Escenario 3.**

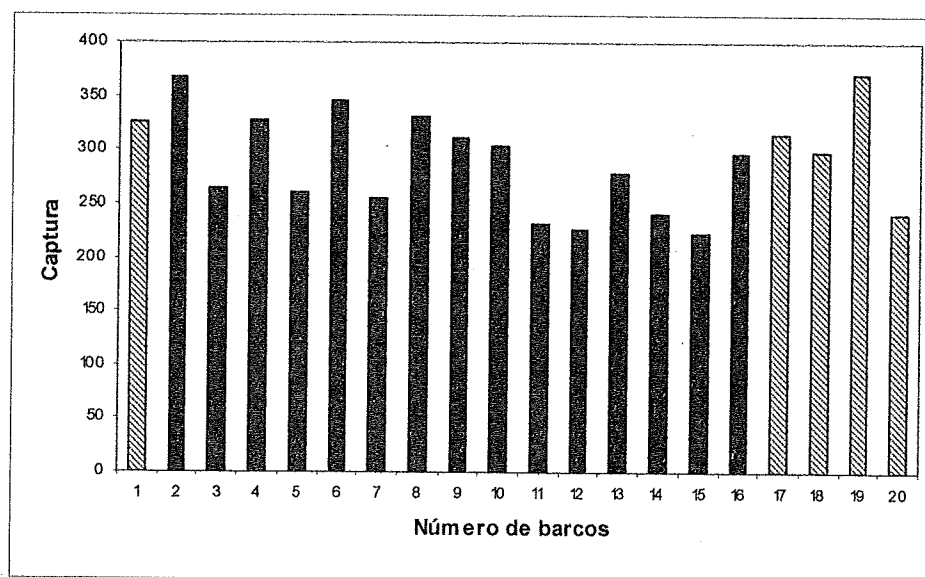


Figura 10. Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-17-20) **Escenario 4.**

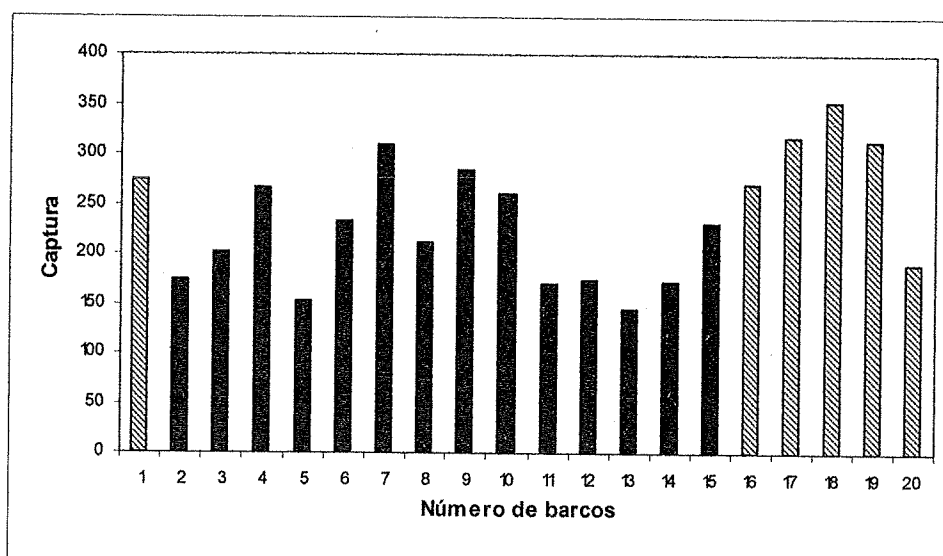


Figura 11. Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-16-20) **Escenario 5.**

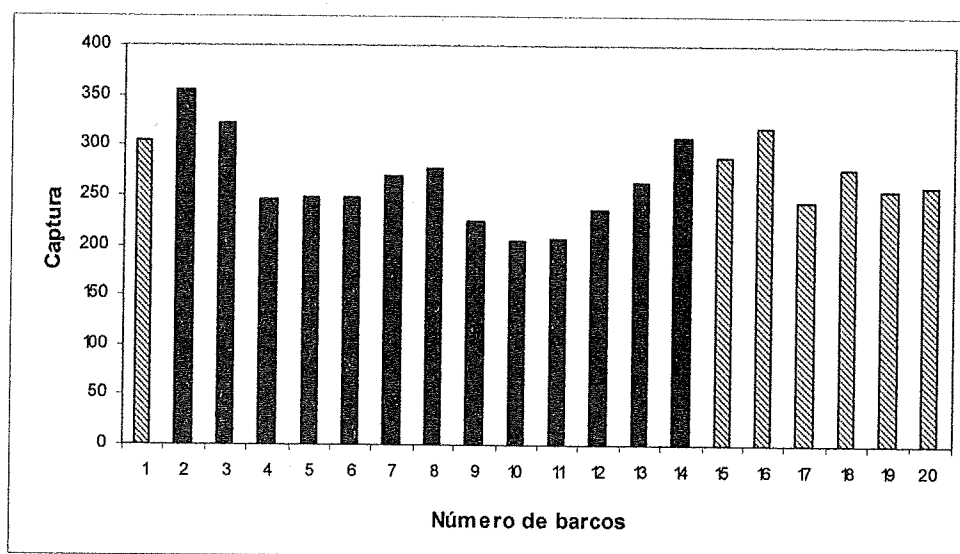


Figura 12. Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-15-20). **Escenario 6.**

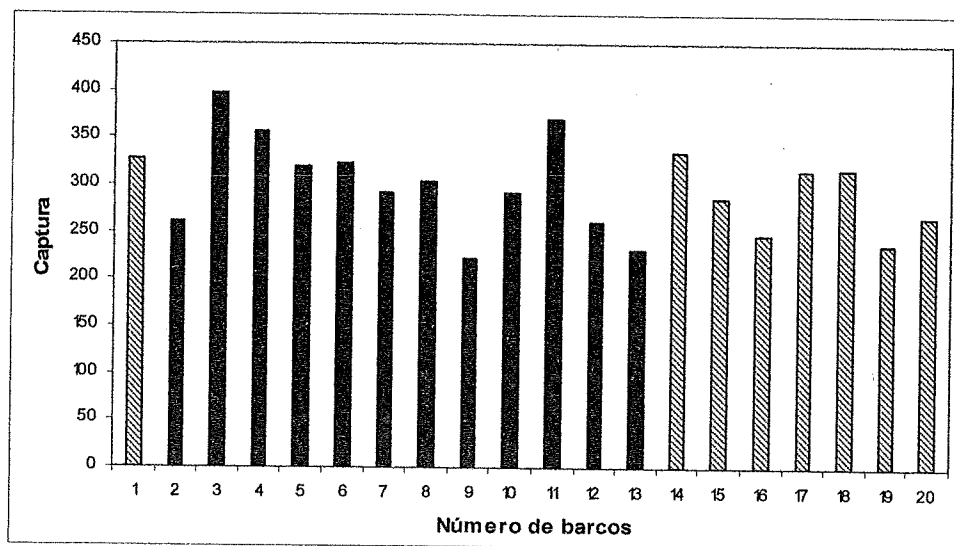


Figura 13. Captura total por barco. Para barcos en Grupo (BGE-1), barcos Individuales (BIE-14-20) **Escenario 7.**

Las figuras 14 a la 20 representan la captura acumulada por unidad de tiempo de barcos en Grupo (BG) y barcos Individuales (BI), para los siete escenarios. Se observa claramente que la acumulativa de los barcos en grupo es mayor en los escenarios 1,2 ,4 y 7 pero en los escenarios 3,5 y 6 presenta una baja en su captura. En los barcos individuales se observa que en los escenarios 3,5 y 6 tienden a estar igualando a los barcos en grupo,

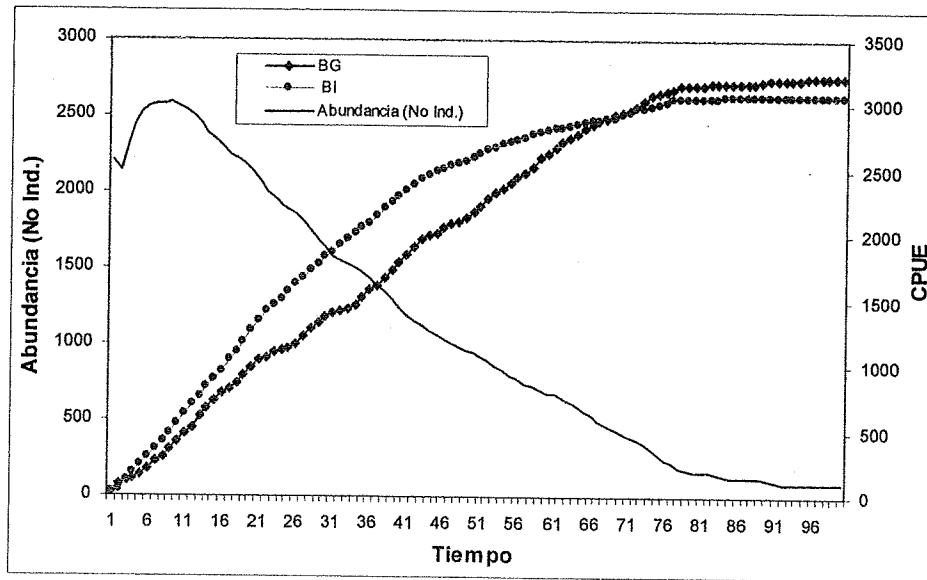


Figura 14. Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) **Escenario 1.**

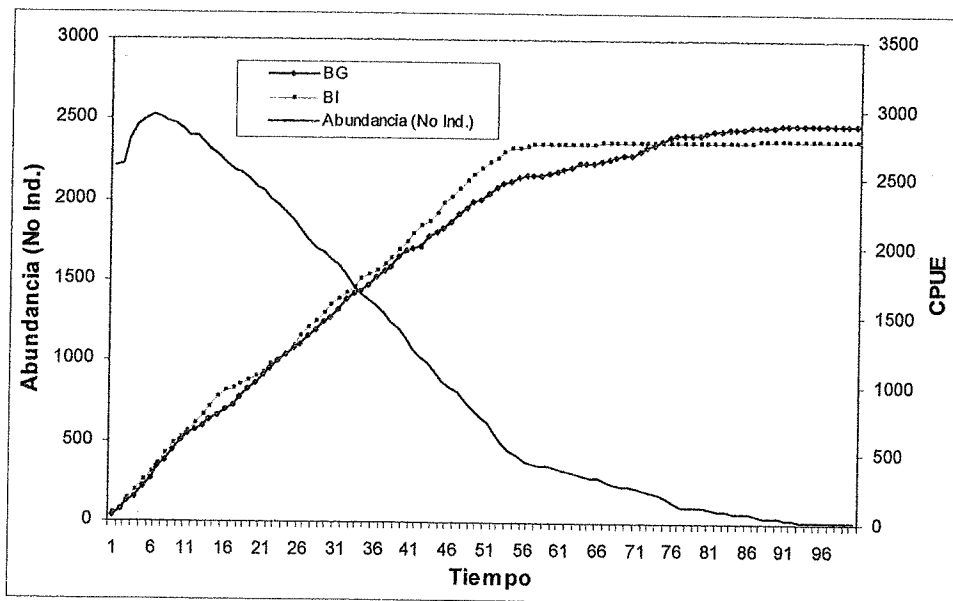


Figura 15. Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) **Escenario 2.**

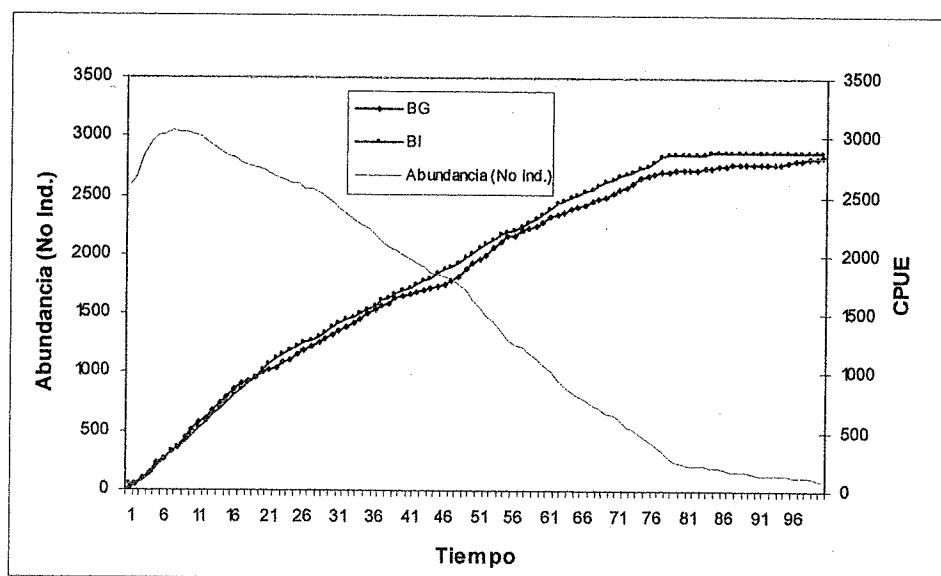


Figura 16. Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) **Escenario 3.**

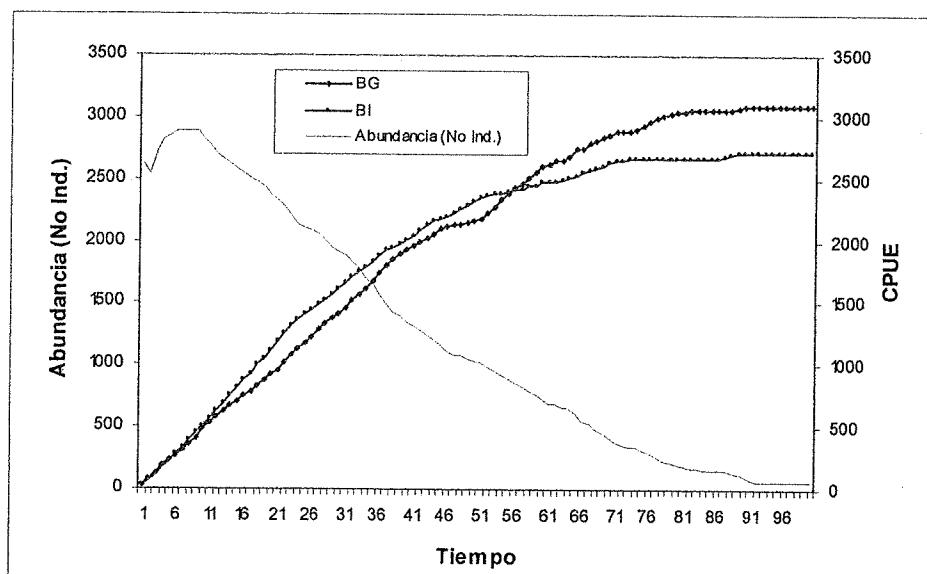


Figura 17. Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) **Escenario 4.**

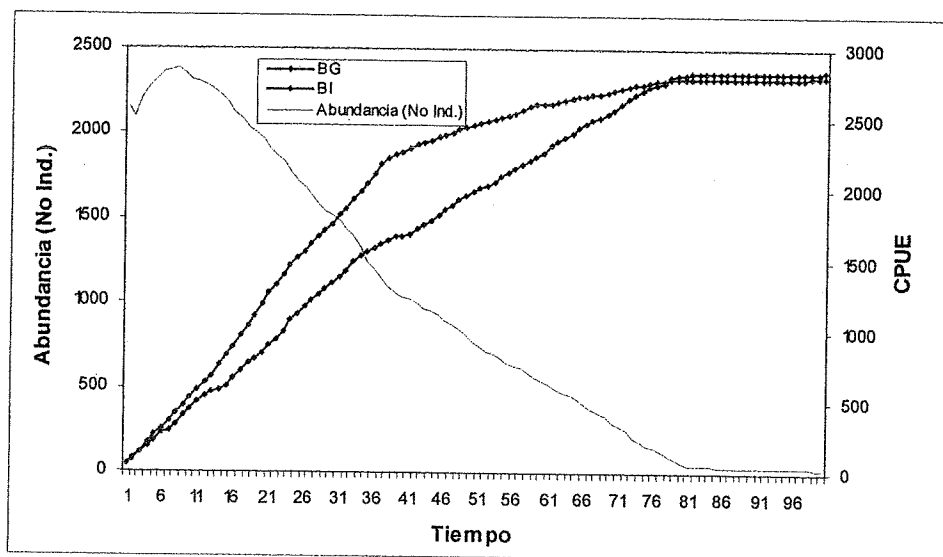


Figura 18. Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) **Escenario 5.**

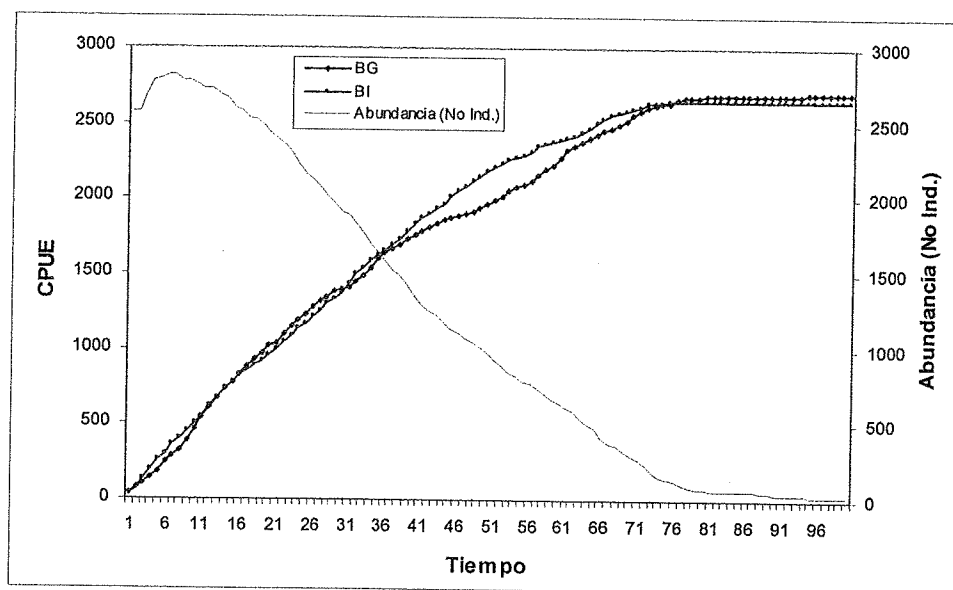


Figura 19. Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) **Escenario 6.**

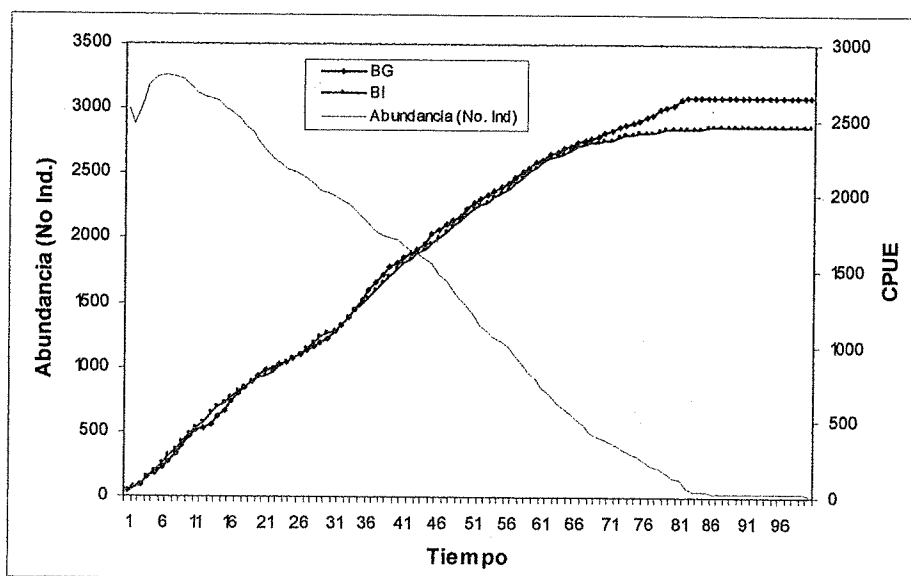


Figura 20. Captura acumulada por unidad de tiempo y abundancia de barcos en Grupo (BG) (exploradores y cartesianos) y barcos Individuales (BI) (exploradores y cartesianos) **Escenario 7.**

La Tasa de Explotación (captura en función de la abundancia) se muestra en las figuras 21 a 27. Se observa que en todos los escenarios la tasa de explotación de ambos barcos es similar hasta la mitad del periodo de tiempo, donde los barcos en grupo muestran una mayor capturabilidad en todos los escenarios. También se observa capturas de cero casi al final del periodo de tiempo para ambos tipos de barcos, pero los barcos de grupo en general consiguen esporádicamente tasas de explotación altas al final del periodo.

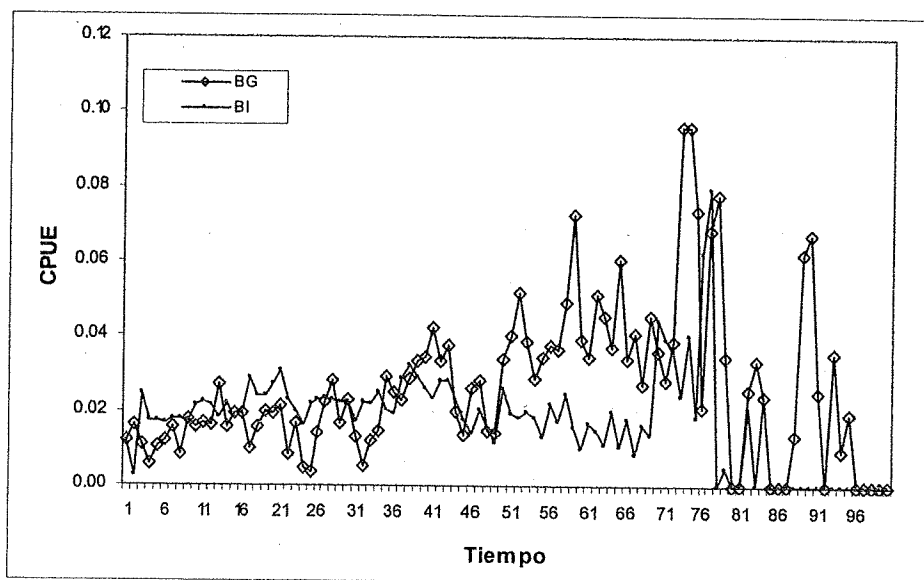


Figura 21. Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) **Escenario 1.**

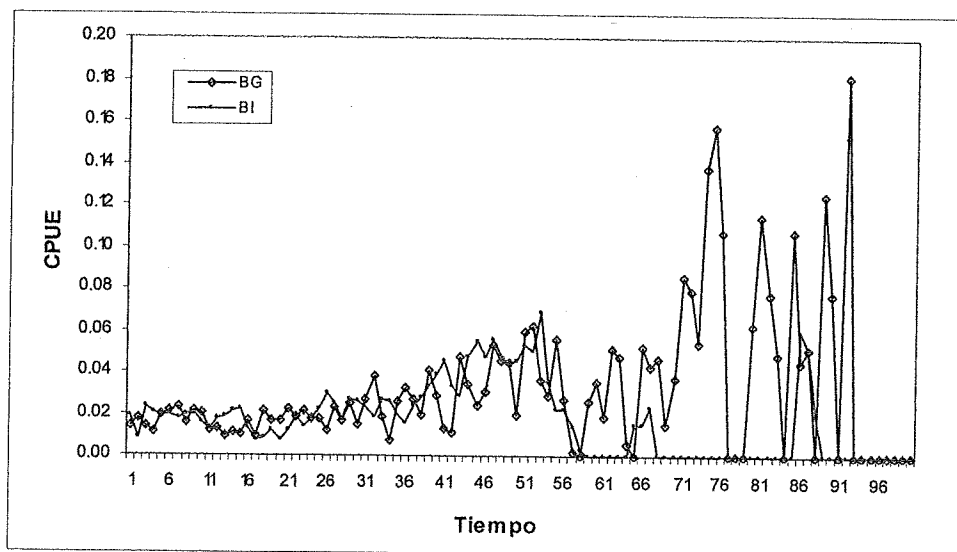


Figura 22. Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) **Escenario 2.**

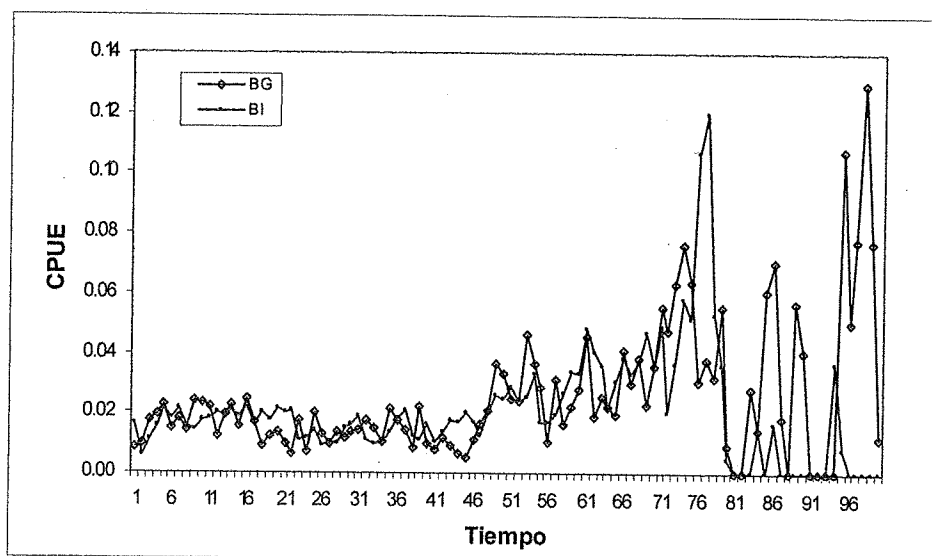


Figura 23. Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) **Escenario 3.**

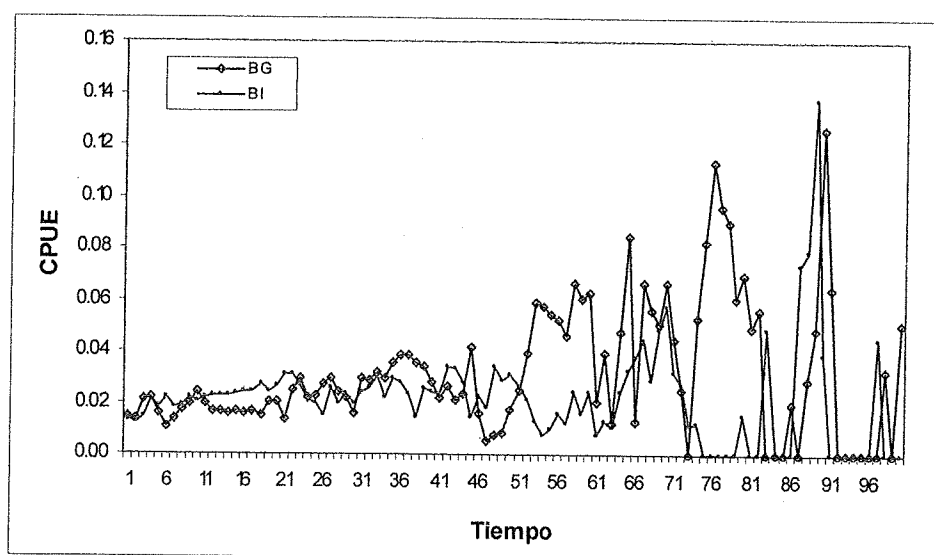


Figura 24. Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) **Escenario 4.**

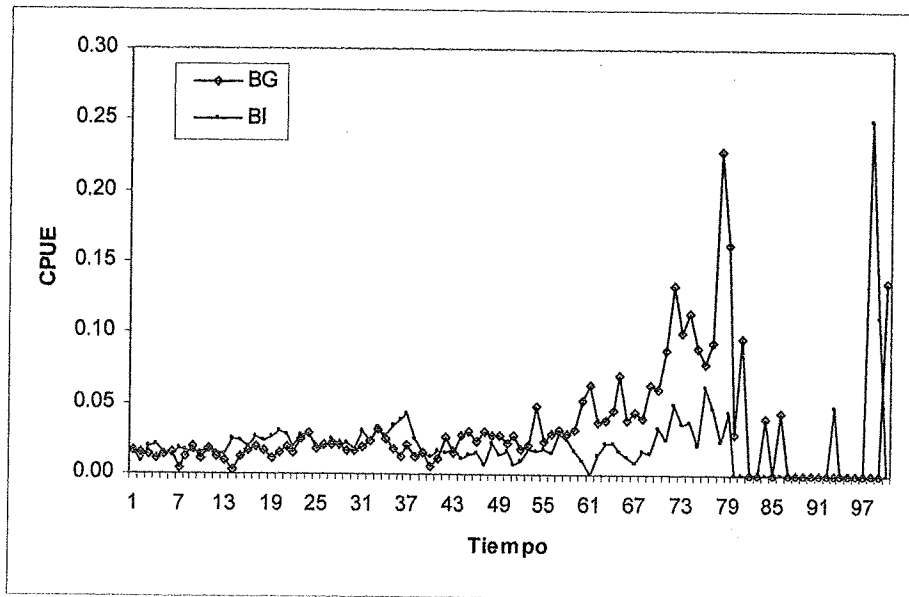


Figura 25. Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) **Escenario 5.**

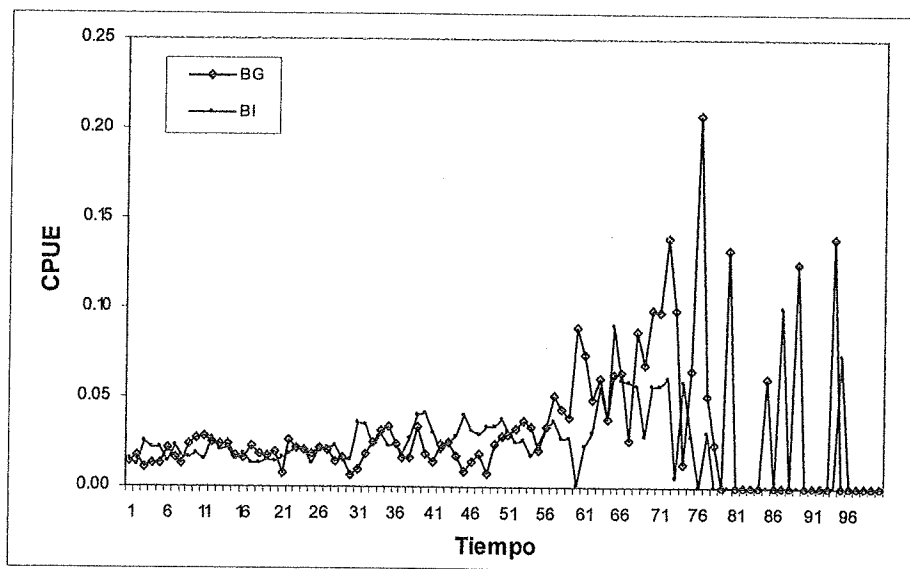


Figura 26. Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) **Escenario 6.**

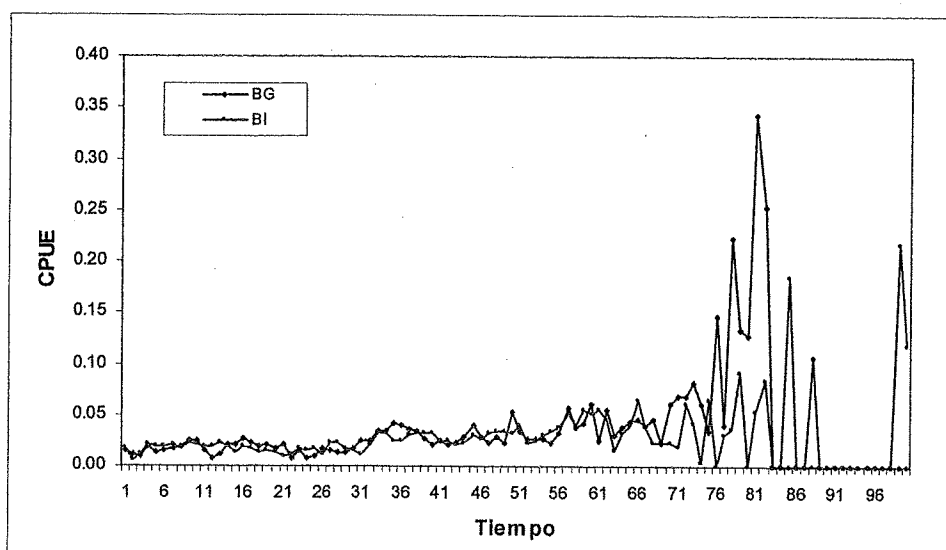


Figura 27. Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) y barcos Individuales (exploradores y cartesianos) **Escenario 7**.

VI. 3 Simulación 2

En las figuras 28 a 34 se observa la captura total por barcos en Grupo, exploradores y cartesianos. En el escenario 1, los cartesianos 7 y 8 muestra valores por arriba del explorador, siendo que a partir del escenario 2 cambian los valores de captura de los exploradores, teniendo valores mas altos en comparación a los cartesianos de su mismo escenario. Cabe destacar que el explorador 3 en los escenarios 3,4 y 6 muestra valores más altos que los cartesianos de esos mismos escenarios.

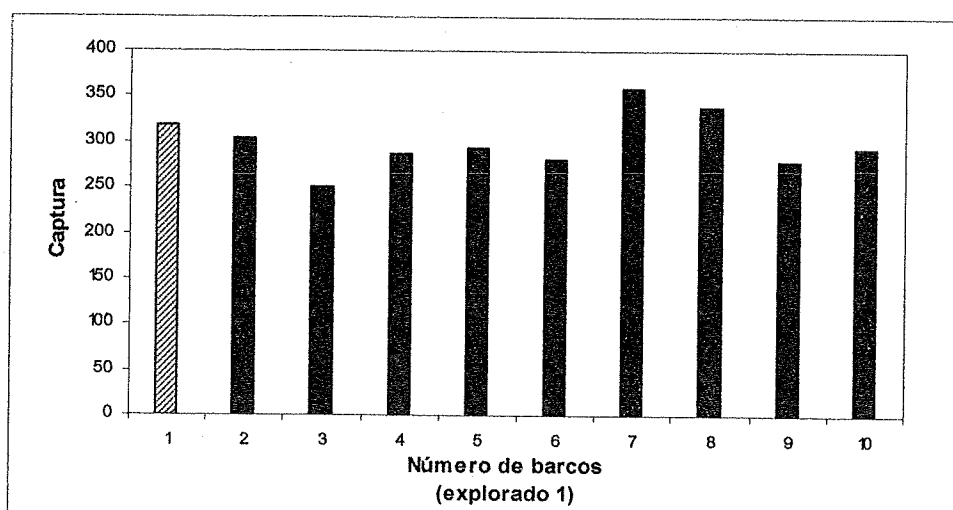


Figura 28. Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) **Escenario 1.**

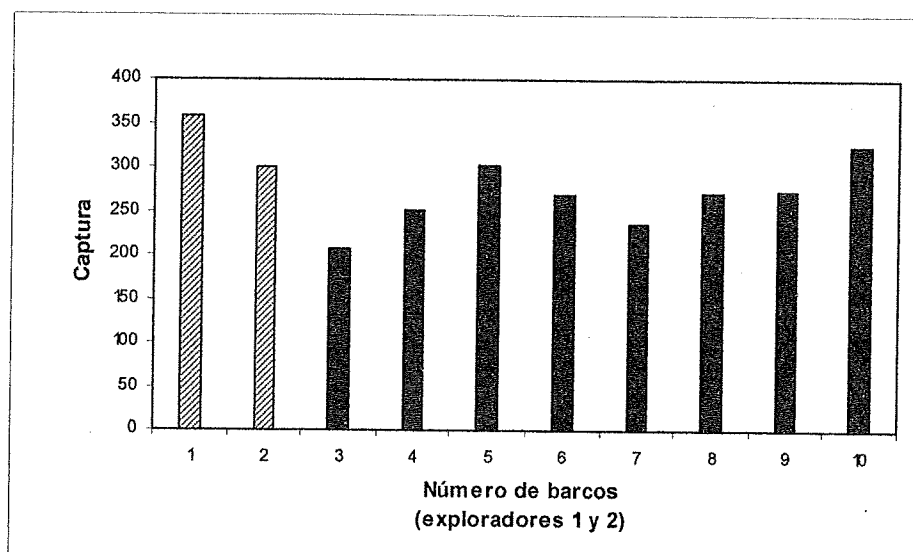


Figura 29. Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) **Escenario 2.**

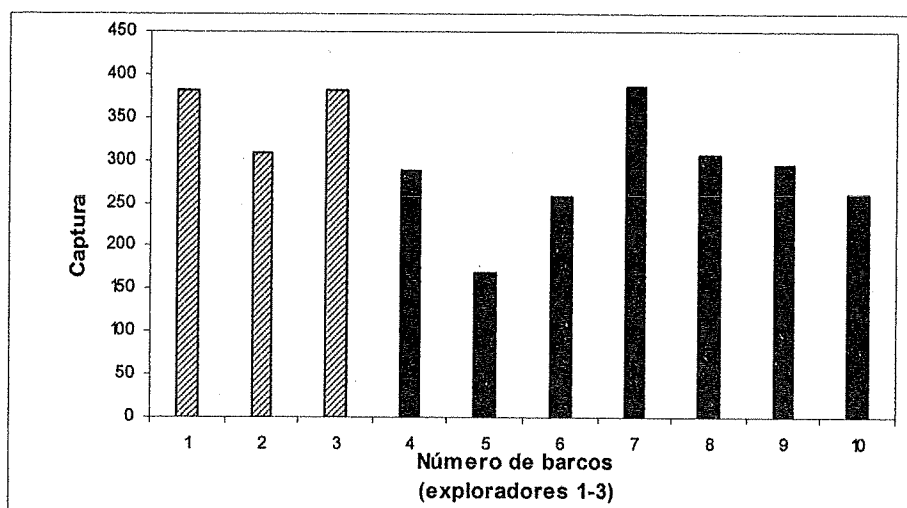


Figura 30. Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) **Escenario 3**.

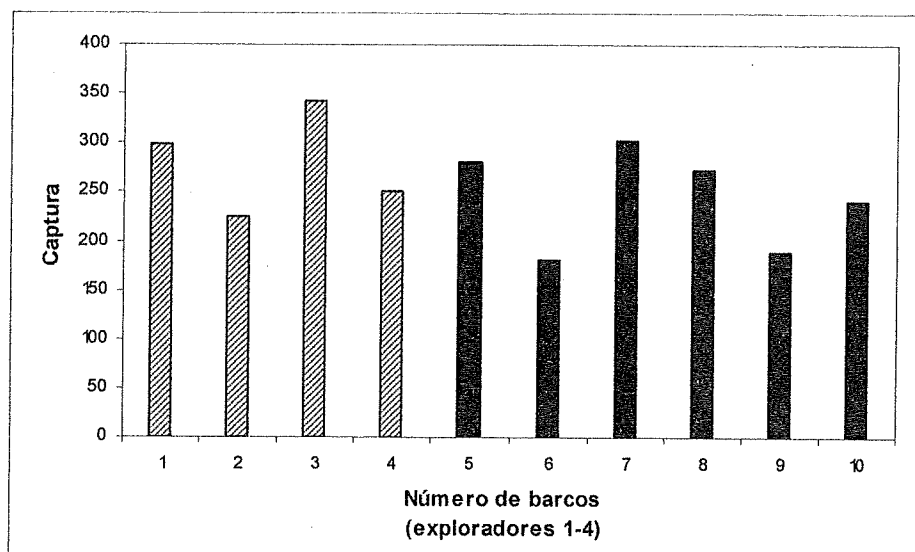


Figura 31. Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) **Escenario 4**.

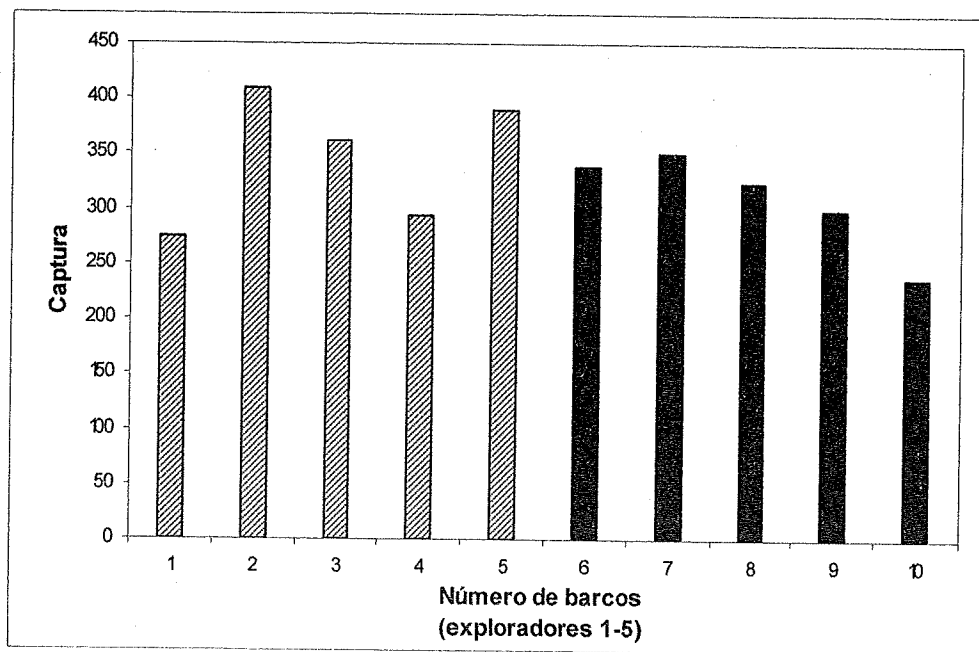


Figura 32. Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) **Escenario 5**.

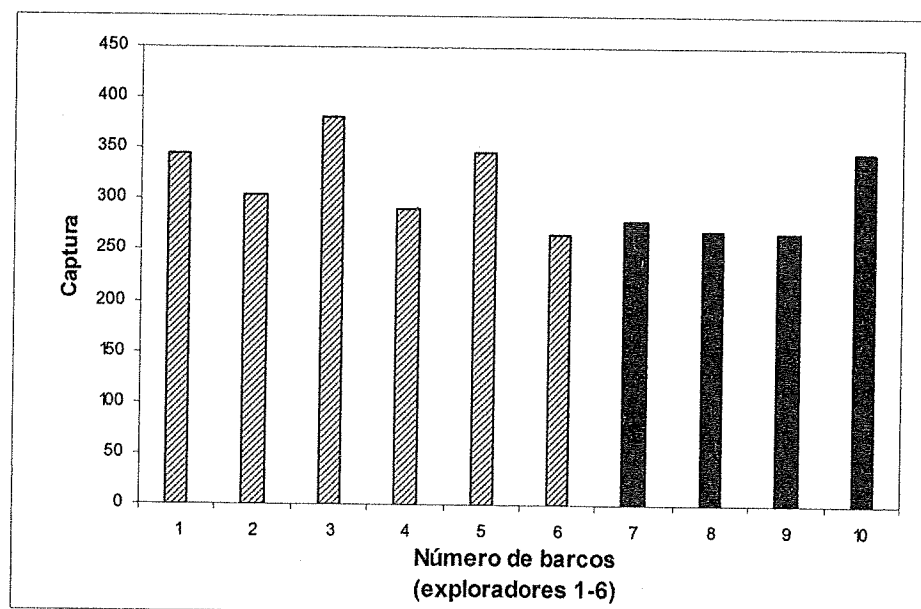


Figura 33. Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) **Escenario 6**.

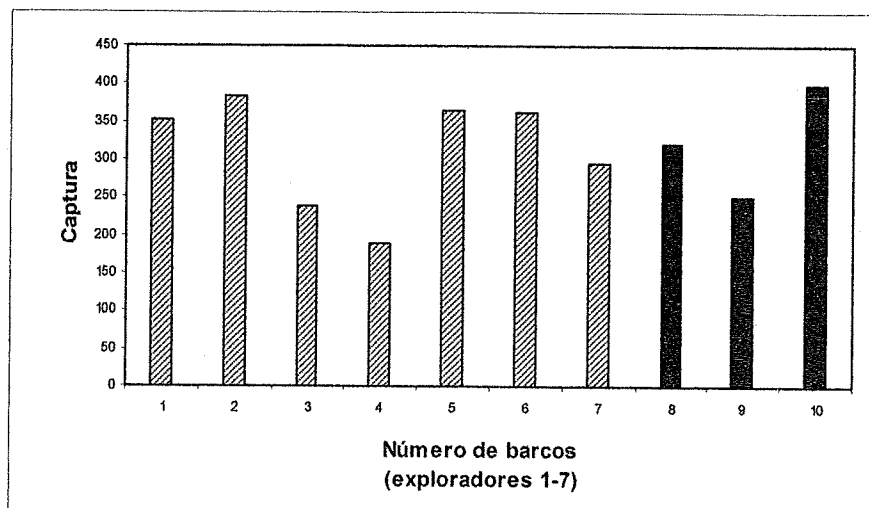


Figura 34. Captura total por unidad de tiempo de barcos en Grupo (exploradores y cartesianos) **Escenario 7**.

La figura 35, muestra la captura acumulada de los siete escenarios de barcos en Grupo, variando el número de exploradores. Se observa que todos los escenarios mantienen una captura similar, diferenciándose el escenario 5 el cual a partir de la mitad del periodo de tiempo aumenta hasta mantenerse al final del periodo de tiempo.

La figura 36 muestra la Tasa de Explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo, de los siete escenarios. Se observa una capturabilidad mayor conforme aumenta el periodo de tiempo, presentándose oscilaciones en la captura para todos los escenarios, tendiendo a presentar mayor valor el escenario 5.

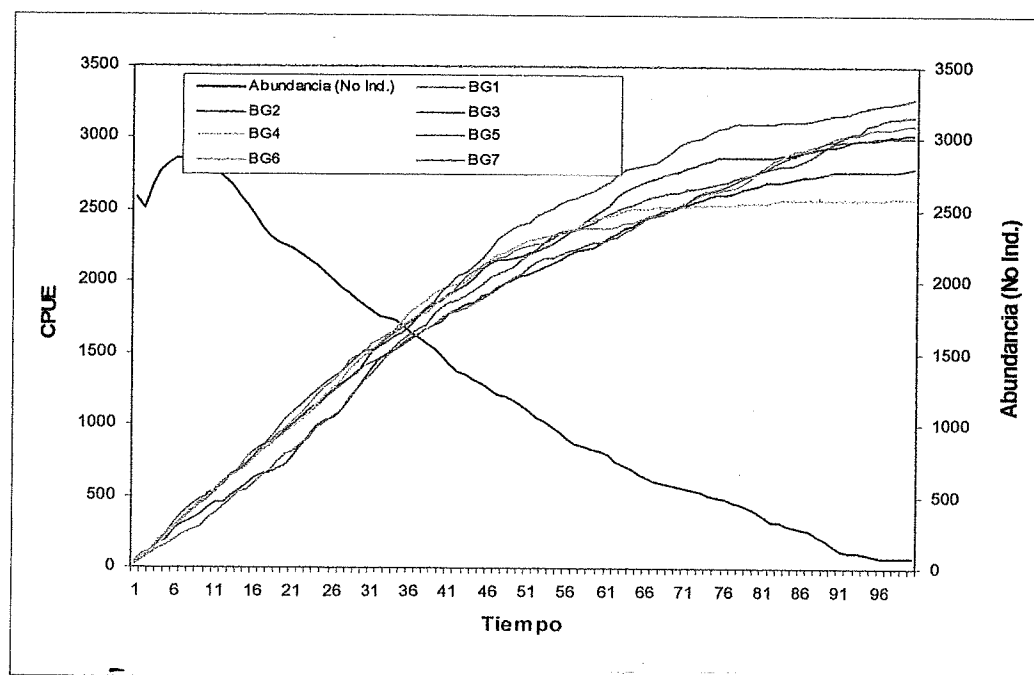


Figura 35. Captura acumulada por unidad de tiempo de barcos en Grupo de los siete escenarios

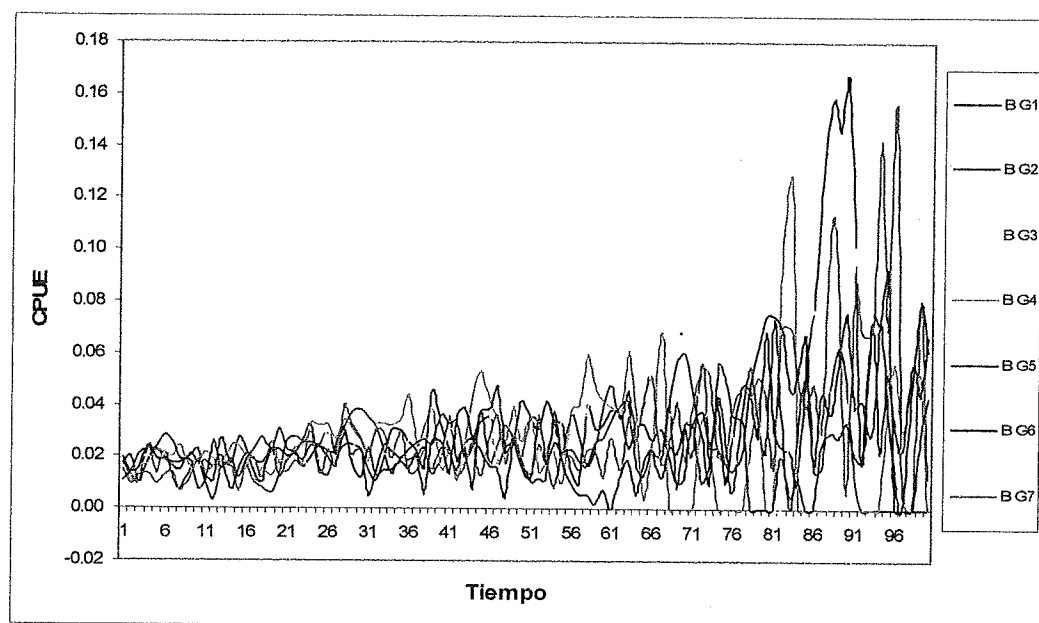


Figura 36. Tasa de explotación por unidad de tiempo de barcos en Grupo de los siete escenarios.

VI. 4 ANALISIS ESTADISTICO

A nivel estadístico, se obtuvieron la desviación estándar de los promedios de los barcos de cada Simulación, para cada uno de los escenarios, también se realizó un análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis, ya que los datos no se ajustaron a una distribución normal.

Los datos con lo que se trabajó para el análisis fueron los promedios de capturas de barcos exploradores y promedios de barcos cartesianos para cada escenario, ya que la prueba estadística empleada, fue en Matlab elaborada por el Dr. Antonio Trujillo y solo se requería ese tipo de datos. Se trabajó con un nivel de confianza de 0.05 y 0.1.

VI.4.1 Simulación 1

Las figuras 37 y 38 muestran la desviación estándar del escenario 1 para los barcos Individuales (exploradores y cartesianos) y barcos en Grupo (explorador y cartesianos) respectivamente.

En la tabla II se observa que las diferencias muy significativas se encuentran dentro de los barcos en grupo y barcos individuales para el escenario 1, 4 a 6 y en los cartesianos de los mismos escenarios a diferencia del escenario 2. En ninguno de los escenarios hay una diferencia significativa entre los exploradores y cartesianos de grupo. Solo se observa en el escenario 1 una diferencia significativa entre exploradores de grupo e individuales. Hay diferencia muy significativa entre los dos tipos de cartesianos en cuatro de los siete escenarios.

Barcos Individuales

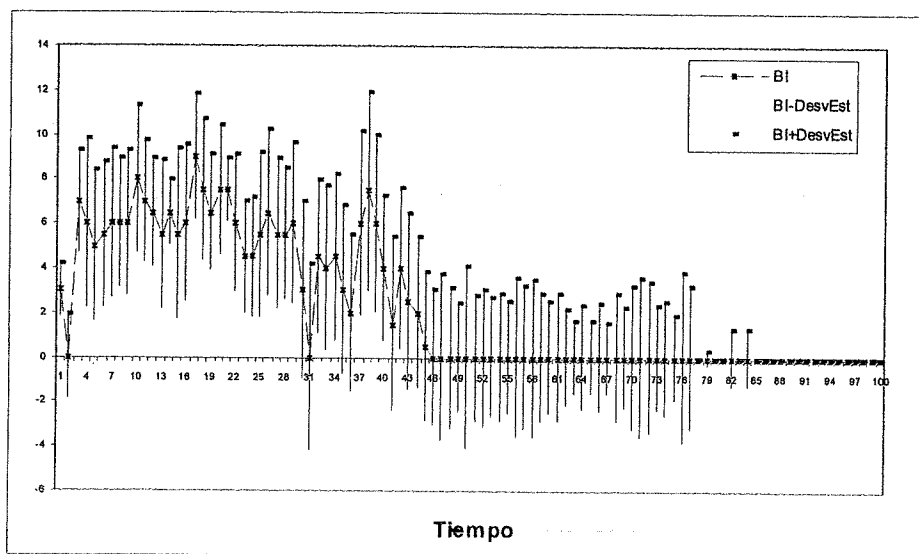


Figura 37. Desviación estándar por unidad de tiempo de barcos Individuales del Escenario 1.

Barcos en Grupo

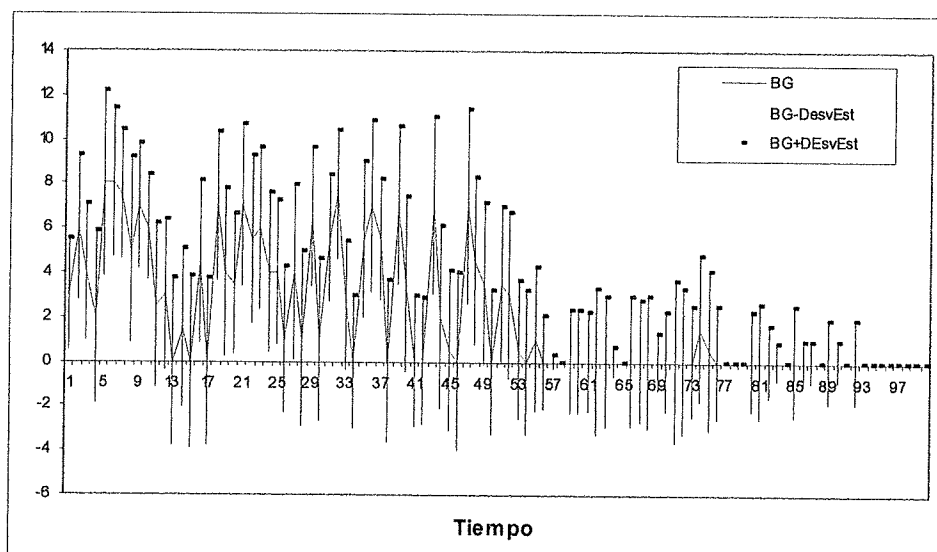


Figura 38. Desviación estándar por unidad de tiempo de barcos en Grupo del Escenario 1.

VI. 4.2 Simulación 2

La figura 39 muestra la desviación estándar de un escenario.

En la tabla III se marcan las diferencias muy significativas de captura entre grupos en función del número de exploradores (escenarios 1 a 7). No se observa ninguna tendencia particular.

Barcos en Grupo

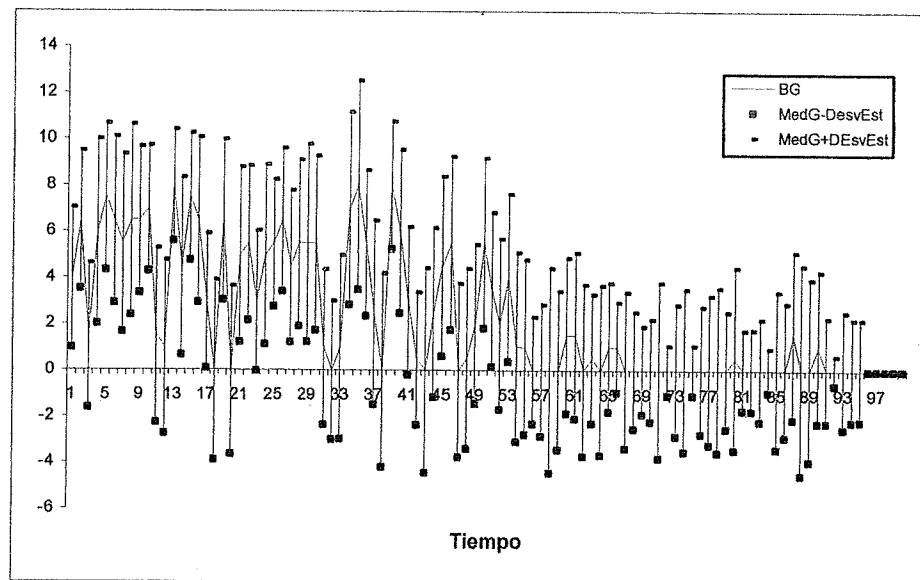


Figura 39. Desviación estándar por unidad de tiempo de barcos en Grupo (explorador y cartesianos) **Escenario 1**.

Tabla II. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis.

De barcos de Grupo de cada escenario (G1-I1 hasta G1-I7) en donde se realizó la prueba entre Barcos en Grupo con Barcos Individuales (BG-BI), Explorador de Grupo con Cartesianos de Grupo (EG-CG), Explorador Individual (EI) contra Cartesiano Individual (CI), Cartesiano de Grupo (CG) contra Cartesiano Individual (CI), Explorador de Grupo (EG) contra Explorador Individual (EI).

	G1-I1	G1-I2	G1-I3	G1-I4	G1-I5	G1-I6	G1-I7
BG-BI							
EG-CG							
EI-CI							
CG-CI							
EG-EI							

* No $\neq$		* Significativo ≤ 0.05		*Muy significativo 0.01	
-------------	--	-----------------------------	--	-------------------------	--

Tabla III. Análisis de varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Escenario-1							
Escenario-2							
Escenario-3							
Escenario-4							
Escenario-5							
Escenario-6							
Escenario-7							
	Escenario-1	Escenario-2	Escenario-3	Escenario-4	Escenario-5	Escenario-6	Escenario-7

* No ≠		* Significativo ≤ 0.05		*Muy significativo 0.01	
--------	--	-----------------------------	--	-------------------------	--

VII. DISCUSION

Los barcos fueron diseñados permitiéndoles obtener alguna información de su entorno y de su desempeño, el tipo de información que se incorporó en el modelo fue puntual para el procesamiento del autómeta celular en la simulación.

El medio ambiente es representado de manera muy sencilla, sin embargo se logró responder a las necesidades y objetivos del trabajo, pudiendo generar la dinámica espacio temporal de un recurso (por ej. mortalidad natural, reclutamiento, y agrupación), además no se pretendió representar una pesquería en particular. El objetivo fue el de desarrollar un modelo general que permita estudiar y analizar algunos comportamientos de los actores (pescadores) y sus efectos en la eficiencia de pesca.

Toda la dinámica del esfuerzo que se genera es en base a un conocimiento local, definido como vecindario en dos niveles, pero no se permite la comunicación o visualización de agentes alejados. Es decir que ese aspecto no es considerado en este trabajo. El trabajo se enfoca a analizar algunos comportamientos específicos y excluye conocimiento de áreas de pesca (memoria, experiencia, aprendizaje). Se puede plantear un modelo de AC que involucre algunos de estos aspectos, además de considerar aspectos económicos que son los que impulsan las pesquerías.

Todo el conocimiento que se utiliza es "instantáneo" referente al momento presente en dos niveles del Autómeta Celular.

Se trató de hacer comparables a las embarcaciones que trabajan en grupo con las que no lo hacen, intentando no diseñar un barco individual que desde su diseño estuviera limitado con respecto a los barcos de grupo. Por eso se consideró la posibilidad de que una embarcación o pescador de ese tipo pudiera tener algún tipo de señal de la presencia de otros barcos aunque no se comunicara con ellos. Esto así se hizo independientemente de que las embarcaciones detectadas fueran de grupo o no.

Se ajustaron las reglas de los pescadores para que el sistema se comportara como un Autómata Celular, que como características esenciales esta el ser discreto, que los cambios se realicen en paralelo y de acuerdo a la información de un vecindario.

En la primera simulación (S-1) se comparó a un grupo de embarcaciones con respecto a barcos individuales. Se fue modificando la cantidad de exploradores individuales, con la finalidad de analizar si el ser explorador podría compensar el no comunicar información de la pesca y si las embarcaciones individuales podían sacar alguna ventaja de esto.

En general se observa que las embarcaciones de grupo obtienen capturas más altas pero que la diferencia se marca cuando la abundancia de UNIR es baja. Es decir que la ventaja de pertenecer a un grupo se da dependiendo de las condiciones del recurso o del medio ambiente. Esto se aprecia tanto en las graficas de captura acumulativa, en que en algunas ocasiones los individuales tienen un desempeño mayor que los de grupo, pero estos últimos mantienen una tasa de captura relativamente estable cuando en

los individuales la tasa se desacelera. Lo mismo se aprecia en la tasa de explotación, la ventaja de pertenecer a un grupo se da con un recurso que no es fácil de localizar. De hecho el comportamiento de formar grupos esta descrito en pesquerías oceánicas de gran extensión. De acuerdo a la estadística realizada podemos ver que los cartesianos de grupo si sacan provecho de la presencia de un explorador, se aprecia al no haber diferencias significativas entre la captura de unos y otros. No ocurre lo mismo entre los dos tipos de comportamientos en pesca individual. El tipo de explorador que se diseño para grupo e individuales, demuestra que no se hizo el modelo ad hoc para demostrar que los de grupo son mejores que los individuales, pues entre los exploradores de ambos tipos no existen diferencias significativas.

El hecho de ser cartesiano no implica que sean este tipo de pescadores los que se benefician únicamente de la presencia de exploradores. En el grupo existe comunicación entre todos, es decir que todos se benefician. Entre pescadores individuales, la clave de presencia de pocas o muchas embarcaciones también es para ambos tipos de pescadores.

La segunda simulación (S-2) en donde solo se presentaron resultados de los 10 barcos en grupo pues la intención fue la de analizar el efecto del número de exploradores en el grupo no marco ninguna tendencia particular, es decir que los efectos debidos al azar predominaron sobre cualquier posible efecto de tamaño optimo de número de exploradores. Tampoco se observan diferencias entre cartesianos y exploradores, por las razones ya expuestas anteriormente.

Se trató de estandarizar la abundancia de peces colocando al principio de las simulaciones un número idéntico de UNIR's sin embargo la dinámica es diferente en cada escenario pues las embarcaciones se colocaron al azar, dando resultados buenos no necesariamente debido a una estrategia.

Modelar el comportamiento y distribución de los barcos puede servir de alternativa dentro de la investigación que puede ser útil como guía para estimar la eficiencia de las embarcaciones, sus efectos en las estimaciones de abundancia y para desarrollar un modelo que pueda ser útil para el administrador de pesquerías en términos de simular condiciones y efectos de una posible regulación pesquera.

El arreglo de este modelo se asemeja más a una pesquería pelágica, por que el ambiente es caracterizado como un "océano" abierto, y también las estrategias utilizadas en el modelo se asemejan más a este tipo de pesquería, ya que las estrategias de búsqueda tanto de grupo e individuales y la comunicación entre barcos se efectúa en ese tipo de pesquerías.

La información obtenida por este modelo bien puede ser comparada con otros trabajos, ejemplo el de Allen y McGlade, 1986 y Dreyfus, 2005, que muestran la importancia de la interacción e intercambio en la información de los barcos, así como también el valor de la cooperación que se presenta en muchas pesquerías. Y puede ser comparado con pesquerías reales, donde muestran este comportamiento en la formación de grupos, en donde definen reglas o estrategias entre ellos para llevar a cabo su objetivo "la pesca", ejemplo

de estas pesquerías esta la del atún y la pesquería en la Gran Barrera Arrecifal de Australia (Little, *et al.* 2004).

Por otra parte la abundancia sería otro aspecto que sería comparable con la real, pues sería necesario ajustar en cuanto a la dinámica espacio-temporal que se asemeje a una real, por que es completamente teórica. También se podría representar alguna pesquería bentónica, pero en ese caso las UNIR podrían representar individuos en lugar de cardúmenes, además de que el recurso fuese sésil.

La aplicabilidad de este modelo puede ser la base para otros modelos que sirvan para simular funciones de regulación y analizar las bondades de esas medidas en un mundo simulado. En cualquier caso, este modelo es genérico y requiere de adecuaciones a cualquier pesquería de interés y a los objetivos particulares de la modelación.

VIII. CONCLUSION

Los resultados obtenidos en la tesis demuestran que los autómatas celulares son una herramienta adecuada para modelar las estrategias de pesca. El pertenecer a un grupo de pesca, que comparte información de la misma, resulto de beneficio especialmente cuando la abundancia del recurso disminuyó.

No hubo diferencias marcadas entre grupos con diferente número de exploradores, lo que no significa que en una pesquería real esto sea cierto, mas bien este resultado es debido a las características de la simulación, que involucró un espacio relativamente pequeño.

Por el contrario las embarcaciones individuales si se beneficiaron del incremento de exploradores, logrando tasas de explotación superiores a las de grupo en algunos casos.

LITERATURA CITADA

- Anganuzzi, A. Alejandro., 1995. An aggregate model of effort distribution. *in*
 Secon FAO expert consultation in Interactions of Pacific Tuna Fisheries,
 Shimizu, Japan. paper no. 5-7: 12 p.
- Allen, P.M., and McGlade, J.M., 1986. Dynamics of discovery and exploitation:
 the case of the Scotian Shelf groundfish fisheries, *Can. J. Fish. Aquat.*
 Sci. 43: 187-1200.
- Bannerot, S. P., and Austin, C. B., 1983. Using frequency distributions of
 catch per unit effort to measure fish-stock abundance. *Transactions of the*
 American Fisheries Society, 112: 608-617.
- Bahr, D. B., and Passerini, E., 1998a. Statistical mechanics of opinion
 formation and collective behavior: micro-sociology. *Journal of*
 Mathematical Sociology. 23(1): 1-27.
- Bahr, D. B., and Passerini, E., 1998b. Statistical mechanics of collective
 behavior: macro-sociology. *Journal of Mathematical Sociology.* 23(1): 29-49.
- Botsford, L. W., R. D. Methot Jr., and E. Johnston. 1983. Effort dynamics of the
 Nortrn California Dungeness crab (*Cancer magister*) fishery. *Can. J.*
 Fish. Aquat. Sci. 40: 337-346.
- Bockstael, N. & J. Opaluch., 1983. Discrete modeling of supply response
 under uncertainty: the case of the fishery. *J. Environ. Econ. Manag.* 10:125-
 136.
- Cabrera, J. L. and O. Defeo., 2001. Daily bioeconomic analysis in a

ultispecific artisanal fishery in Yucatan, Mexico. *Aquat. Living Resour.*

14 : 19-28.

- Camino, B. T., 2000. Un Lenguaje para la especificación de autómatas celulares con aplicación en biología. Tesis de Magister Scientiae en Computación. Costa Rica. 154 p.
- Courtland, L. S. and McKelvey, R., 1986. Specialist and Generalist: roles for Copind with Variability. *Noth American Journal of Fisheries Management*. 6: 88-99.
- Clark, C. W., 1976. Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources. *J. Wiley & Sons, New York*.
- Chen, Q., Mynett, A. E. and Minns, A. W., 2002. Aplication of cellular automata to modelling competitive growths of two underwater species *Chara aspera* and *Potamogeton pectinatus* in Lake Veluwe. *Ecological Modeling*. 147: 253-265.
- Defeo, O., Seijo, J. C., Euan, J., Liceaga, M., 1991. Dinámica espacial del esfuerzo pesquero en una pesquería artesanal de la Costa Atlántica Uruguay. *Invest. Pesq. (Chile)* 36: 17-25.
- Dreyfus-León, M., 1999. Individual based-modelling of fishermen search behaviour with neural networks and reinforcement learning. *Ecological Modeling*. 120: 287-297.
- Dreyfus-León, M. and Kleiber, P., 2001. A spatial individual behaviour-based model approach of the yellowfin tuna fishery in the eastern Pacific Ocean. *Ecological Modeling*. 146: 47-56.

- Dreyfus-León, M. in press. Modelling cooperation between fishermen and cellular automaton. A framework for fishing effort spatial dynamics. *Ecological Informatics*.
- Dreyfus-León, M and Gaertner, D., in press. Modelling performance and information exchange between vessels with artificial neural networks. *Ecological Modeling*.
- Emerson, W. and J. Anderson., 1989. A spatial allocation model for the New England fisheries. *Mar. Res. Econ.* 6: 123-144.
- Ehrhardt, M. N., 1981. Métodos de análisis de las estadísticas de captura y esfuerzo de pesca y su aplicación en modelos globales de pesquerías. Curso de Evaluación de recursos y Dinámica de Poblaciones. La Paz, B.C. 40 p.
- Gaertner, D., and Dreyfus-León, M., 2004. Analysis of non-linear relationships between catch per unit effort and abundance in a tuna purse-seine fishery simulated with artificial neural networks. *ICES Journal of Marine Science*. 61: 812-820.
- Gallucci, V. F., Saito, S.B., Gustafson D. J. and Rothschild, B. J., 1996. Stock assessment: quantitative methods and applications for small-scale fisheries. *CRC Press, USA*. 527 p.
- Gillis, D. M., R. M. Peterman, and A. V. Tyler., 1993. Movement dynamics in fishery: application of the ideal free distribution to spatial allocation of effort. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 323-333.
- Gillis, D. M., and Peterman, R. M., 1998. Implications of interference among

- fishing vessels and the ideal free distribution to the interpretation of CPUE. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 55: 37e46.
- Gulland, J. A., 1964. Catch per unit effort as a measure of abundance. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions Conseil International pour l'Exploitation de la Mer*. 155: 8-14.
 - Grimm, V., Wyszoniński, T., Aikman, D., Uchmanski, J., 1999. Individual-based modeling and ecological theory : Synthesis of a workshop. *Ecol. Model.* 115 :275-282.
 - Hernández, A., 1995. Análisis bioeconómico especial y temporal de la pesquería de mero (*Ephinephelus morio*) en la plataforma continental de Yucatan. Tesis de Maestria, CINVESTAV-IPN, Unidad Merida, Yucatan. 139 p.
 - Hilborn, R. and M. Ledbetter., 1979. Analysis of the British Columbia salmon purse seine fleet: dynamics of movement. *J. Fish. Res. Bio. Can.* 36: 384-391.
 - Hilborn, R., 1985. Fleet dynamics and individual variation: why some people catch more fish than others. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 2-13.
 - Hilborn, R., Walters, C. J., 1987. A general model for simulation of stock and fleet dynamics in spatially heterogeneous fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 1366–1369.
 - Hilborn, R., and Walters, C. J., 1992. Quantitative fisheries stock assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty. *Chapman & Hall*, New York. 570 pp.
 - Little L. R., S. Kuikka, A. E. Punt, F. Pantus, C.R. Davies, B.D. Mapstone.,

2004. Information flow among fishing vessels modelled using a Bayesian network. *Environmental Modelling & Software* 19: 27–34.
- Laxe, G. F., 2001. Marcos estratégicos del sector pesquero. Boletín Económico de ICE, Universidad de Coruña.
 - Mangel, M., 1982. Search effort and catch rates in fisheries. *Eur. J. Operat. Res.* 11: 361-366.
 - Mangel, M., and Clark, C. W., 1983. Uncertainty, search and information in fisheries. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 41: 93–103.
 - Millisher, L., 2000. Modélisation individu centrée des comportements de recherche des navires de peche. Approche générique spatialement explicite par systèmes multi-agents. Intérêts pour l'analyse des stratégies et des puissances de peche. Doctoral thésis, ENSA Rennes, France. 246 pp.
 - McNamara, J. and Houston, A., 1985. A simple model of information use in the exploitation of patchily distributed food. *Animal Behaviour*. 33: 553-560.
 - Muetzelfeldt, R. I., 1979. Simulation Modelling for Fisheries Management. *Fish. Mgmt.* (10) 1: 33-43.
 - Palmer, C. T., 1991. Kin-selection, reciprocal altruism and information sharing among Maine lobstermen. *Ethol. Sociobiol.* 12: 221-235.
 - Paloheimo, J. E., and Dickie, L. M., 1964. Abundance and fishing success. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 155: 152-163.

- Pereiro, J. A., 1982. Modelos al uso en dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación. Instituto Español de Oceanografía, Madrid España. 250 p.
- Phipps, M. J., 1992. From local to global: the lesson of cellular automata. In: DeAngelis, D. L., Gross, L. J. (Eds.), Individual-Based Models and Approaches in Ecology. Populations, Communities and Ecosystems. Chapman and Hall, New York.
- Restrepo, V., 1999. Glosario de términos pesqueros. ICCAT, Madrid, España. 25 p.
- Reza, A. E. M. y García, D. E., 1996. Simulación y Análisis de Modelos Estocásticos. McGraw-Hill Interamericana, Editores, S. A. de C.V. Mexico, D.F. 1-3 a 63-65.
- Seijo, J. C. and Defeo, O., 1994. Dynamics of resource and fishermen behaviour in coastal invertebrate fisheries. In: Antona, E., Catanzano, J., Sutinen, J. (Eds.), Proceedings 6th International Institute of Fisheries Economics and Trade Conference. 209-222. p.
- Smith, V. L. 1969. On models of commercial fishing. *J. Polit. Econ.* 77:181-198.
- Tanaka, E. S. and A. Hasegawa., 1991. Simulation of fishermen's selection of fishing areas for stock management. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 57(8): 1417-1426.
- Vázquez, J. J. and Oliver, J., 1999. Evolución de autómatas celulares utilizando algoritmos genéticos. Informe Técnico de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Deusto, Bilbao, España. 9 p.

- Wolfram, S., 1984. Cellular automata as models of complexity. *Nature*. 311: 419-424.
- Wakida, T. A. y R. Solana, S., 1997. Modelación del esfuerzo pesquero de la flota camaronera de Ciudad del Carmen Campeche, México. *Oceanides*. 12(2): 107-116.

ANEXO 1

DIAGRAMA DEL MODELO

