

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA
CALIFORNIA**

UNIDAD ENSENADA

FACULTAD DE INGENIERÍA



**Desarrollo de un simulador, basado en un autómata celular,
para la generación de dinámica poblacional inducida por
gradientes de favorabilidad ambiental.**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el
grado de **MAESTRIA EN INGENIERIA** presenta:

Cecilia Leal Ramírez

Ensenada Baja California. Enero de 2004


TESIS DEFENDIDA POR
Cecilia Leal Ramírez

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



Dr. Hector A. Echavarría Heras

Director del Comité



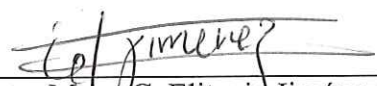
M. en C. Sergio Infante Prieto

Miembro del Comité



M. en C. Alfredo Cota Villavicencio

Miembro del Comité



M. en C. Elitania Jiménez García

Miembro del Comité

Enero de 2004.

RESUMEN de la tesis de **Cecilia Leal Ramírez**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA. Ensenada, Baja California. Enero de 2004.

DESARROLLO DE UN SIMULADOR, BASADO EN UN AUTÓMATA CELULAR, PARA LA GENERACIÓN DE DINÁMICA POBLACIONAL INDUCIDA POR GRADIENTES DE FAVORABILIDAD AMBIENTAL.

Resumen aprobado por:



Dr. Héctor A. Echavarría Heras.
Director de Tesis

En el presente trabajo ubicado dentro de la teoría de la biología de poblaciones se desarrolló un simulador de dinámica poblacional (GtkPDS). En éste se integró un modelo basado en la teoría de autómatas celulares para generar biomasa, el cual toma en cuenta la estructura de la población en diferentes clases de edad. Los cambios en el número de individuos, así como la distribución de individuos en el autómata son controlados por variables aleatorias que representan influencias ambientales. El GtkPDS incluye un módulo diseñado para la evaluación de hipótesis inherentes a sistemas de recursos pesqueros bajo explotación. El estudio de los resultados del GtkPDS en este contexto permitió validar el supuesto de que los métodos de estimación de biomasa capturable basados en la captura por unidad de esfuerzo son adecuados si se conoce la estrategia de explotación y se toma en cuenta la eficiencia de dicha estrategia relativa a la disponibilidad de biomasa.

Palabras clave: simulación, biomasa poblacional denso-independiente, manejo de pesquerías.

ABSTRACT of the thesis presented by **Cecilia Leal Ramírez** as a partial requirement to obtain the MASTER OF ENGINEERING degree. Ensenada, Baja California, Mexico. January 2004.

DEVELOPMENT OF A SIMULATOR, BASED ON A CELLULAR AUTOMATA, FOR THE GENERATION OF POPULATION DYNAMICS INDUCED BY GRADIENTS OF ENVIRONMENTAL FAVORABILITY.

In the present work, located within the theory of the biology of populations, a simulator of population dynamics was developed (GtkPDS). In this one, a model based on the cellular automata theory was integrated to generate biomass, which takes into account the structure of the population in different age classes. The changes in the number of individuals, as well as the distribution of individuals in the simulator are controlled by variates which represent environmental influences. The GtkPDS includes a module designed for the evaluation of inherent hypotheses to systems of fishing resources under operation. The study of the results of the GtkPDS in this context allowed to validate the assumption that the methods of estimation of captureable biomass, based on the capture by effort unit, are suitable if the operation strategy is known and the efficiency of this strategy relative to the biomass availability is taken into account.

Keywords: simulation, dense-independent population biomass, handling of pesquerías.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis:

Principalmente a mi esposo, Victor Manuel Torres Aguirre, por su infinito e incondicional apoyo, porque siempre estuvo a mi lado en las buenas, en las malas y en las muy malas, por alentarme y levantarme en los momentos difíciles y por sus consejos.

A mis padres, Gloria e Hipólito Leal, porque siempre han estado apoyándome incondicionalmente a lo largo de mi vida y de mi carrera, por sus sabios consejos y por su infinito amor.

A mis muy queridos hermanos y a sus respectivas parejas, Antonio-Ismenia, Silvia-Ernesto y Argelia-Salvador, porque siempre creyeron en mí, por hacerme sentir una hermana y cuñada muy querida y respetada, también un poco consentida, y porque siempre me contagiaron de sus buenos deseos y sobre todo de su alegría.

A mis sobrinitos, Ernesto, Alejandro, Salvador y Raymon, porque son lo más precioso de toda mi familia.

A Dios y a mi abuelita, Petra Heredia+, porque yo sé que desde donde ellos están me han bendecido y me han protegido, porque ellos están y siempre han estado en mi corazón y en mi pensamiento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco esta tesis:

A mi director de tesis, Hector Echavarría Heras, por su apoyo en muchos sentidos, pero sobre todo por su visión para orientarme y por su amistad.

A los miembros del comité de esta tesis, porque sé que les costó mucho trabajo leer la tesis pues contiene un gran número de páginas, por apoyo y sus consejos.

A Elia Montiel Arzate, por haberme ayudado en la interpretación de los datos de los ajustes.

La investigación realizada y el equipo de cómputo utilizado en el desarrollo de esta tesis fue apoyado económicamente por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con el proyecto número 28440-A.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
<i>I.1. Planteamiento del problema.....</i>	<i>5</i>
<i>I.2. Supuesto.....</i>	<i>7</i>
<i>I.3. Objetivos.....</i>	<i>7</i>
<i>I.4. Importancia del estudio.....</i>	<i>8</i>
II. ANTECEDENTES	10
III. MODELOS DE SIMULACIÓN.....	12
IV. METODOLOGÍA.....	15
<i>IV.1 Dinámica de una población uniespecífica generada mediante un autómata celular.....</i>	<i>18</i>
<i>IV.2 Ecuación de balance de la dinámica de una población uniespecífica.....</i>	<i>21</i>
<i>IV.3 Función de emigración basada en gradientes de favorabilidad ambiental.....</i>	<i>24</i>
<i>IV.4 Distribución inicial de biomasa.....</i>	<i>25</i>
<i>IV.5 Determinación del nivel de equilibrio y el umbral de viabilidad en la dinámica de la población.....</i>	<i>26</i>
<i>IV.6 Variables de control en el estudio de la dinámica de la población.....</i>	<i>27</i>
<i>IV.7 Sistema de explotación y generación de los datos de captura por unidad de esfuerzo.....</i>	<i>29</i>
<i>IV.8 Identificación del modelo de producción.....</i>	<i>31</i>
V. DISEÑO DEL SIMULADOR DE DINÁMICA POBLACIONAL.....	33
<i>V.1 Simbología de los diagramas de flujo de datos (DFD).....</i>	<i>33</i>
<i>V.2 Diseño de las funciones que integran el sistema del simulador de dinámica poblacional.....</i>	<i>34</i>
<i>V.3 Definición de variables globales y locales, registros globales y variables de entrada y de salida.....</i>	<i>70</i>
VI. IMPLEMENTACION DEL SIMULADOR DE DINÁMICA POBLACIONAL.....	81
<i>VI.1 Estructura de la interface.....</i>	<i>81</i>
<i>VI.2 Lenguaje de programación y equipo de cómputo</i>	<i>88</i>
<i>VI.3 Instalación del sistema.....</i>	<i>90</i>

CONTENIDO (continuación)

	Página
VII. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	91
<i>VII.1 Resultados.....</i>	91
<i>VII.2 Conclusiones.....</i>	135
APÉNDICE.....	140
DEFINICIÓN DE TERMINOS.....	185
BIBLIOGRAFÍA.....	187

LISTA DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
Ia	Declaración de registros globales.	72
Ib	Declaración de registros globales.	73
II	Declaración de variables globales.	74
III	Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras 5a y 5b .	75
IV	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 6 , tm significa toneladas métricas.	75
V	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 7 , tm significa toneladas métricas.	75
VI	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 8 .	76
VII	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 9 .	76
VIII	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 10 .	76
IX	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 11 .	76
X	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 12 .	77
XI	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 13 .	77
XII	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 14 .	77
XIII	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 15 .	77
XIV	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 16 .	78
XV	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 17 .	78
XVI	Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras 18a y 18b .	78
XVII	Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras 19 a la 23 .	78
XVIII	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 24 .	78

LISTA DE TABLAS. (continuación)

Tabla	Descripción	Página
XIX	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 25.	79
XX	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 26.	79
XXI	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 27.	79
XXII	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 28.	79
XXIII	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 29.	79
XXIV	Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras 30a y 30b.	79
XXV	Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras 31a y 31b.	80
XXVI	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 32.	80
XXVII	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 33.	80
XXVIII	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 34.	80
XXIX	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 35.	81
XXX	Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 36.	81
XXXI	Parámetros iniciales asociados con el estudio de la dinámica de la población correspondiente al caso uno. F.I. = Factor de iteración. F.O. = Factor de observación, D.I. = Distribución inicial de biomasa. S = Número de simulaciones que se realizaron para obtener una trayectoria promedio.	92
XXXII	Parámetros iniciales asociados con el estudio de la dinámica de la población correspondiente al caso dos. F.I. = Factor de iteración. F.O. = Factor de observación, D.I. = Distribución inicial de biomasa. S = Número de simulaciones que se realizaron para obtener una trayectoria promedio.	92
XXXIII	Valores de la media (μ), la varianza (σ^2) y la desviación estándar (σ) correspondientes a las trayectorias promedio de las gráficas de las figuras 40a - 48a. *	105

LISTA DE TABLAS. (continuación)

Tabla	Descripción	Página
XXXIV	Parámetros iniciales asociados con el estudio de la dinámica de la población. F.I. = Factor de iteración. F.O. = Factor de observación, D.I. = Distribución inicial de biomasa. S = Número de simulaciones.	110
XXXV	Parámetros iniciales asociados con el estudio de la dinámica de la población. F.I. = Factor de iteración. F.O. = Factor de observación, D.I. = Distribución inicial de biomasa. S = Número de simulaciones.	116
XXXVI	Estrategias de explotación.	117

LISTA DE TABLAS (apéndice).

Tabla	Descripción	Página
AI	Archivos que el sistema GtkPDS crea para guardar los datos generados por la simulación en cuatro casos diferentes.	160
AII	Valores iniciales por omisión, correspondientes al grupo de parámetros asociados al estudio de la dinámica de la población.	169
AIII	Valores iniciales por omisión, correspondientes al grupo de parámetros asociados al estudio de la dinámica de una población hasta su extinción.	169
AIV	Valores iniciales por omisión, correspondientes al grupo de parámetros asociados con el estudio de la dinámica de la población con un sistema de explotación.	170

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Esquema de las vecindades habituales en los autómatas celulares.	18
2	El ente $\omega_{ij}(x, y)$ como un conjunto cartesiano de puntos en el plano.	20
3	Simbología utilizada en los diagramas de flujo.	34
4	Modelo funcional del simulador de la dinámica poblacional.	36
5a	Diagrama de flujo que representa la función de la dinámica de la población.	37
5b	Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 1 en la figura 5a . La etiqueta número 2 de este diagrama es la unión de la etiqueta número 2 del diagrama de la figura 5a .	38
6	Diagrama de flujo que representa la función que realiza la distribución de la biomasa inicial uniformemente en las celdas del autómata celular, la cual esta etiquetada con la letra A en el diagrama de flujo de la figura 5a .	39
7	Diagrama de flujo que representa la función que realiza la distribución de la biomasa inicial aleatoriamente en las celdas del autómata celular, la cual esta etiquetada con la letra B en el diagrama de la figura 5a .	40
8	Diagrama de flujo que representa la función que registra la biomasa por clase al tiempo t en cada celda del autómata celular, la cual esta etiquetada con la letra C en diagrama de flujo de la figura 5a .	41
9	Diagrama de flujo que representa la función que registra la biomasa total por clase en la lista, la cual esta etiquetada con la letra D en el diagrama de flujo de la figura 5a .	42
10	Diagrama de flujo que representa la función que registra la biomasa total por clase acumulada por simulación, la cual esta etiquetada con la letra E en el diagrama de flujo de la figura 5a .	43

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
11	Diagrama de flujo que representa la función que realiza la natalidad y mortalidad por clase, la cual esta etiqueta con la letra F en el diagrama de flujo de la figura 5b .	44
12	Diagrama de flujo que representa la función que realiza la emigración e inmigración de biomasa hacia celdas vecinas con mayor favorabilidad ambiental, la cual esta etiquetada con la letra G en el diagrama de flujo de la figura 5b .	45
13	Diagrama de flujo que representa la función etiquetada con el número 1 en el diagrama de flujo de la figura 12 . Esta función suma las favorabilidades absolutas de las celdas vecinas a la celda i, j .	46
14	Diagrama de flujo que representa la función etiquetada con el número 3 en el diagrama de flujo de la figura 12 . Esta función mueve una proporción de la población contenida en la celda i, j a la celda l, s .	47
15	Diagrama de flujo que representa la función que guarda en una archivo <code>.txt</code> la biomasa total por clase registrada en la lista, la cual esta etiquetada con la letra H en el diagrama de flujo de la figura 5b .	48
16	Diagrama de flujo que representa la función que guarda en un archivo <code>.pmd</code> la biomasa total promedio por clase registrada en la variable lista, la cual esta etiquetada con la letra I en el diagrama de flujo de la figura 5a .	49
17	Diagrama de flujo que representa la función libera la memoria de la variable lista, la cual esta etiquetada con la letra J en los diagramas de flujo de las figuras 5a y 5b .	50
18a	Diagrama de flujo que representa la función de la dinámica de la población hasta la extinción. Los cuadros con una franja de color azul son funciones que complementan el estudio de la dinámica de la población para el análisis hasta su extinción.	51

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
18b	Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 1 en el diagrama de la figura 18a . La etiqueta número 2 en este diagrama es la unión de la etiqueta número 2 de la figura 18a . Los cuadros con una franja de color azul son funciones que complementan el estudio de la dinámica de la población para el análisis hasta su extinción.	52
19	Diagrama de flujo que representa la función que crea intervalos, la cual esta etiquetada con la letra L en los diagramas de flujo de las figuras 18a y 18b .	53
20	Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 0 en el diagrama de flujo de la figura 19 .	54
21	Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 1 en el diagrama de flujo de la figura 19 .	55
22	Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 2 en el diagrama de flujo de la figura 19 .	56
23	Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 3 en el diagrama de flujo de la figura 19 .	57
24	Diagrama de flujo que representa la función que calcula el nivel de equilibrio y umbral de viabilidad, la cual esta etiquetada con la letra M en el diagrama de flujo de la figura 18b .	58
25	Diagrama de flujo que representa la función que crea el archivo <code>.niv</code> , la cual esta etiquetada con la letra N en el diagrama de flujo de la figura 18b .	59
26	Diagrama de flujo que representa la función que crea el archivo <code>.int</code> , la cual esta etiquetada con la letra O en el diagrama de flujo de la figura 18b .	60
27	Diagrama de flujo que representa la función que crea el archivo <code>.inf</code> , la cual esta etiquetada con la letra P en el diagrama de flujo de la figura 18b .	61
28	Diagrama de flujo que representa la función que libera la lista de intervalos, la cual esta etiquetada con la letra Z en el diagrama de flujo de la figura 18a .	62

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
29	Diagrama de flujo que representa la función que libera la lista de intervalos, la cual esta etiquetada con la letra K en el diagrama de flujo de la figura 18b .	62
30a	Diagrama de flujo que representa la dinámica de la población con un sistema de explotación. Los cuadros con una franja de color rojo son funciones que integran el sistema de explotación.	63
30b	Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número dos del diagrama de flujo de la figura 30 .	64
31a	Diagrama de flujo que representa el sistema de explotación, el cual esta etiquetado con la letra Q en el diagrama de flujo de la figura 30 .	65
31b	Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número dos en el diagrama de flujo de la figura 31 .	66
32	Diagrama de flujo que representa la función que asigna celdas con mayor abundancia de biomasa a los barcos, la cual esta etiquetada con la letra T en el diagrama de flujo de la figura 31a . Los cuadros con una franja de color rojo son funciones que integran el sistema de explotación.	67
33	Diagrama de flujo que representa la función que asigna celdas aleatorias a los barcos, la cual esta etiquetada con la letra U en el diagrama de flujo de la figura 31a .	68
34	Diagrama de flujo que representa la función que registra la captura al tiempo t , la cual esta etiquetada con la letra V en el diagrama de flujo de la figura 31a .	69
35	Diagrama de flujo que representa la función que guarda en un archivo, con formato texto y extensión <code>.txt</code> , la captura registrada en la lista pesca, la cual esta etiquetada con la letra R en el diagrama de flujo de la figura 30a .	70
36	Diagrama de flujo que representa la función que libera la lista en donde se registraron las capturas durante toda la simulación, la cual esta etiquetada con la letra S en el diagrama de flujo de la figura 30a .	71

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
37a	Estructura principal de la interface.	81
37b	Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Archivo. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.	82
37c	Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Opciones. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.	83
37d	Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Parámetros. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.	84
37e	Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Simulación. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.	85
37f	Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Resultados. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.	86
37g	Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Ayuda. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.	87
38	Ventana principal del sistema GtkPDS	90
39	Peso en gramos de la anchoveta <i>Engraulix mordax</i> según González Dávila (1988).	93
40a	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.	95
40b	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.	95

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
41a	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 5,000,000 toneladas métricas.	96
41b	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 5,000,000 toneladas métricas.	96
42a	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.	97
42b	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.	97
43a	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es de 1,000,000 de toneladas métricas.	98
43b	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.	98
44a	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 5,000,000 de toneladas métricas.	99
44b	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 5,000,000 de toneladas métricas.	99

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
45a	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.	100
45b	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.	100
46a	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.	101
46b	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.	101
47a	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 5,000,000 de toneladas métricas.	102
47b	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 5,000,000 de toneladas métricas.	102
48a	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.	103
48b	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor e iteración es igual a 1 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.	103

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
49	Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el segundo caso de estudio, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es de 1,000,000 de toneladas. En ésta gráfica se puede observar un proceso de extinción de la población por efectos de Allee (Allee, 1931).	109
50	Gráficas comparativas de las trayectorias promedio obtenidas por la dinámica de la población durante un tiempo de iteración igual a 1000. a) población inicial = 1,000,000 tm., b) población inicial = 5,000,000 tm., c) población inicial = 10,000,000 tm.	111
51	Gráficas comparativas de las trayectorias promedio obtenidas por la dinámica de la población durante un tiempo de iteración igual a 5000. a) población inicial = 1,000,000 tm., b) población inicial = 5,000,000 tm., c) población inicial = 10,000,000 tm.	112
52	Tiempos de extinción promedio.	113
53	Trayectorias de extinción de la población con estructura de edades. Simulación realizada con un factor de iteración igual a 1 y un factor de observación de 100.	114
54	Trayectorias de extinción de la población de la tercera clase de edad, misma que se presenta en la figura 53. Simulación realizada con un factor de iteración igual a 1 y un factor de observación de 100.	115
55	Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomاسas estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.	118
56	Capturas y el número de barcos por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.	119
57	Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomاسas estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.	120

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
58	Capturas y el número de barcos por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.	121
59	a) CPUE obtenidas por un sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población (figura 55). b) CPUE obtenidas por un sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población (figura 57).	122
60	Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomاسas estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.	123
61	a) Capturas obtenidas por un sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población. b) Capturas obtenidas por un sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población (figura 56).	124
62	Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomاسas estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.	125
63	Capturas y el número de barcos por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.	126
64	a) Capturas obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población. b) capturas obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.	126
65	Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomاسas estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.	127

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
66	a) CPUE obtenidas por el sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1. b) CPUE obtenidas por el sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 1.	128
67	Capturas y el número de barcos por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.	128
68	CPUE y la biomasa estimada por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-4, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.	130
69	Las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomasa estimada por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.	131
70	Las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomasa generada por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-4, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.	131
71	CPUE obtenidas por diferentes sistemas de explotación. a) estrategia E-3, factor de iteración igual a 1 (figura). d) estrategia E-4, factor de iteración igual a 1 (figura). c) estrategia E-3, factor de iteración igual a 0.5 (figura 69). d) estrategia E-4, factor de iteración igual a 0.5 (figura 70).	132
72	a) CPUE obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 0.5 (figura). b) CPUE obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-4, con un factor de iteración igual a 0.5 (figura).	133
73	a) CPUE obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 1 (figura). b) CPUE obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-4, con un factor de iteración igual a 1 (figura).	134

LISTA DE FIGURAS. (continuación)

Figura		Página
74	Valores predichos contra valores observados. Regresión lineal realizado con los datos de la CPUE y la biomasa capturable correspondientes a la figura 55.	137
75	Valores predichos contra valores residuales. Regresión lineal realizada con los datos de la CPUE y la biomasa capturable correspondientes a la figura 55.	137

LISTA DE FIGURAS (apéndice).

Figura		Página
A1	Ventana principal del sistema GtkPDS.	140
A2	Comandos del menú A rchivo.	142
A3	Ventana de selección de archivos y directorios.	143
A4	Diálogos correspondientes a las opciones de la ventana de la figura A3 para el manejo de archivos y directorios: a) crear un directorio, b) borrar un archivo, c) renombrar un archivo, y d) cambiar de directorio.	143
A5	Submenú de opciones del comando G uardar del menú de A rchivo.	145
A6	Ventana de selección de archivos y directorios configurada para guardar los valores de los parámetros de un proceso.	145
A7	Comandos del menú O pciones.	146
A8	Ventana flotante a través de la cual el usuario escribe los nombres de los archivos que el sistema GtkPDS crea para guardar los datos de salida generados por la simulación de cada uno de los procesos.	147
A9	Archivo “trydin0.txt” de datos generados por la simulación del proceso de la dinámica.	148
A10	Archivo “tryext0.txt” de datos de salida generados por la simulación del proceso de extinción.	149
A11	Archivo “tryext0.inf” de datos generados por la simulación del proceso de extinción.	150
A12	Archivo “tryext0.int” de datos generados por la simulación del proceso de extinción.	150
A13	Archivo “tryext0.niv” de datos generados por la simulación del proceso de la extinción.	152
A14	Recursos de hardware y software de la computadora.	152
A15	Comandos del menú P arámetros.	153

LISTA DE FIGURAS (apéndice). (continuación)

Figura		Página
A16	Lista de opciones del comando <u>Asignar</u> del menú Parámetros .	154
A17	Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica.	155
A18	Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica. Se muestra el contenido de la sección Biomasa .	156
A19	Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica. Se muestra el contenido de la sección Tiempo .	156
A20	Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica. Se muestra el contenido de la sección Región .	157
A21	Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica. Se muestra el contenido de la sección Distribución .	158
A22	Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica de una población. Muestra el contenido de la sección Simulaciones .	159
A23	Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica de una población. Muestra el contenido de la sección Población .	161
A24	Grupo de parámetros que controlan al proceso de la dinámica de la población hasta su extinción.	162
A25	Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica de una población hasta su extinción. Muestra el contenido de la sección Intervalo .	162
A26	Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica de una población hasta su extinción. Muestra el contenido de la sección Análisis .	163
A27	Grupo de parámetros que controlan al proceso de explotación.	164
A28	Ventanas flotantes a través de las cuales el usuario selecciona y asigna la capacidad de arrastre a los barcos de la flota pesquera. a) Si la capacidad de la flota es <i>homogénea</i> , b) si es <i>heterogénea</i> .	166
A29	Capacidad de arrastre asignada a los barcos de la flota pesquera.	167
A30	Lista de opciones del comando <u>Default</u> del menú Parámetros .	168

LISTA DE FIGURAS (apéndice). (continuación)

Figura		Página
A31	Valores iniciales asignados por default a los parámetros que controlan el proceso de la dinámica.	170
A32	Lista de opciones del comando <u>D</u> esplegar del menú P arámetros.	171
A33	Comandos del menú S imulación.	172
A34	Lista de opciones del comando <u>I</u> nciar del menú S imulación.	172
A35	Comandos del menú R esultados.	175
A36	Ventana flotante, a través de la cual el usuario puede graficar los datos de cualquier serie.	176
A37	Archivo “trydin20.txt” de datos generado por la simulación del proceso de la dinámica. En esta gráfica se muestran las cuatro series de datos que describen las trayectorias de la dinámica de cada una de las clases y la de la suma de todas éstas.	177
A38	Archivo “trydin20.txt” de datos generado por la simulación del proceso de la dinámica. En esta gráfica se muestra la serie de datos que describen la trayectoria de la dinámica de la población de la suma de todas las clases.	178
A39	Archivo “trydin20.txt” de datos generado por la simulación del proceso de la dinámica. En esta gráfica se muestra la serie de datos que describen la trayectoria de la dinámica de la población de la clase uno.	178
A40	Archivo “tryext0.txt” de datos generado por la simulación del proceso de extinción. En esta gráfica se muestran las cuatro series de datos que describen las trayectorias de la dinámica de cada una de las clases y la de la suma de todas éstas.	179
A41	Archivo “tryext0.txt” de datos generado por la simulación del proceso de extinción. En esta gráfica se muestran las cuatro series de datos que describen las trayectorias de la dinámica de cada una de las clases y la de la suma de todas éstas.	180

LISTA DE FIGURAS (apéndice). (continuación)

Figura		Página
A42	Archivo “tryext0.txt” de datos generado por la simulación del proceso de extinción. En esta gráfica se muestra la serie de datos que describen la trayectoria de la dinámica de la suma de todas las clases.	180
A43	Ventana flotante, a través de la cual el usuario puede seleccionar graficar los datos de cualquier opción.	181
A44	Archivo “trycpu.txt” de datos generado por la simulación del proceso de explotación. En esta gráfica se muestran la biomasa capturada por toda la flota en cada unidad de tiempo.	182
A45	Archivo “trycpu.txt” de datos generado por la simulación del proceso de explotación. En esta gráfica se muestra el número de barcos que salió a pescar en cada unidad de tiempo. En este ejemplo el número de barcos que salió a pescar fue constante.	182
A46	Archivo “trycpu.txt” de datos generado por la simulación del proceso de explotación. En esta gráfica se muestra las capturas por unidad de esfuerzo.	183
A47	Comandos del menú Ayuda .	184
A48	Ventana informativa acerca del sistema GtkPDS.	184

I. INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales constituyen la fuente principal de riqueza de nuestro planeta. Estos recursos son los elementos y fuerzas de la naturaleza que el hombre puede utilizar. Los recursos naturales son de dos tipos: renovables y no renovables.

Los recursos naturales renovables, animales, suelo, agua, vegetación, se definen como los elementos naturales capaces de renovarse tanto en espacio como en tiempo, debido a que en lo general se rigen por leyes naturales independientes de la actividad humana. Sin embargo una inadecuada explotación humana puede evitar su regeneración natural. Por otro lado, los recursos no renovables tienen una serie de propiedades, por ejemplo las características que se precisan para su formación, que los convierte en materias de difícil reemplazo. Esto implica que al ser utilizados, su renovación se daría en escalas de tiempo muy grandes que los hacen prácticamente no regenerables.

El presente trabajo se ubica en el contexto de los recursos naturales renovables, en donde mantenerlos como patrimonio intergeneracional requiere del manejo racional de dicho recurso a través de la instrumentación de un conjunto de estrategias tendientes a establecer el mayor beneficio social de la explotación.

Esta actividad debe de ser necesariamente auxiliada por metodologías tanto analíticas como de estimación directa. Las metodologías analíticas permiten diseñar estrategias de

explotación óptima y se basan en el uso de modelos matemáticos o de simulación. Estos permiten predecir la dinámica del recurso explotado dentro de un determinado rango de incertidumbre.

Como un ejemplo del uso de las metodologías antes señaladas puede citarse el manejo racional de una pesquería, donde se necesita estimar con la mayor precisión posible el tamaño de la población bajo explotación. Se requiere en particular estimar el tamaño del segmento de la población que puede ser capturado. La conservación intergeneracional del recurso explotado requiere que la remoción de la población se concentre sobre los individuos de mayor edad. Teóricamente es de esperarse que dicha estrategia permita obtener el mayor rendimiento en la biomasa capturada ya que dichos individuos poseen también las mayores tallas y pesos. Dicha biomasa se define como el peso total de individuos que componen una población.

La biología pesquera ha contribuido con diversos métodos para la estimación de la biomasa explotada. Dichos métodos de estimación pueden ser directos o indirectos. Entre los métodos directos pueden mencionarse el conteo visual aéreo, el hidroacústico mediante sonar entre otros.

Los métodos indirectos para la estimación de biomasa en biología pesquera se basan en el uso de los llamados modelos de producción excedente (Schaefer, 1954 y 1957; Pella y Tomlinson, 1969, Fox, 1970 y 1975; Schnute, 1977). Estos modelos permiten el uso de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) como índice de variación de la biomasa. CPUE se

define como la biomasa que se captura durante la acción de cada unidad de esfuerzo pesquero. Algunos biólogos pesqueros han expresado escepticismo sobre la utilidad de los modelos de producción como herramientas de manejo. Su principal objeción se sustenta en el hecho de que estos modelos consideran la biomasa agregada, esto significa que no toman en cuenta la estructura de edades de la población, a diferencia de aquellos que si la toman en cuenta y que se conocen como modelos estructurales.

En un nivel teórico, Ludwig y Walters (1985), han señalado que los modelos de producción poseen grandes ventajas, pues en un gran número de situaciones proporcionan mejores estimaciones de los parámetros importantes para el manejo, como por ejemplo el coeficiente de capturabilidad, la tasa intrínseca de crecimiento, la capacidad de carga del sistema, etc.

En el presente trabajo ubicado dentro de la teoría de la biología de poblaciones se desarrolló un simulador de dinámica poblacional. En éste se integró un modelo basado en la teoría de autómatas celulares para generar biomasa, el cual toma en cuenta la estructura de la población en diferentes clases de edad. También se integró un sistema de explotación para diseñar estrategias de manejo óptimo, las cuales producen una sucesión de valores de la tasa de captura por unidad de esfuerzo.

El trabajo se ubica en el marco teórico general del estudio de la fluctuación espacio temporal de la biomasa de una población uniespecífica. Dicho marco conceptual señala que el tamaño de la biomasa poblacional se determina por una serie de factores ecológicos.

Consecuentemente toda población se ubica en una compleja red de interacciones con otros seres vivos, influenciadas por la variabilidad estocástica del medio ambiente. Necesariamente la determinación de la variación espacio temporal del nivel de la biomasa total o bien de la biomasa poblacional susceptible de ser explotada, resulta ser en la práctica una tarea sumamente compleja.

El simulador puede, en lo general, utilizarse como una herramienta para la evaluación de hipótesis en el campo de la dinámica de poblaciones uniespecíficas. Entre ellas podemos citar la hipótesis de control denso-independiente, la cual supone que la dinámica en cuestión es controlada fundamentalmente por el medio ambiente. Otro ejemplo sería la hipótesis de dependencia de la estabilidad del sistema con respecto tanto a condiciones iniciales como de heterogeneidad espacial.

En el ámbito de la utilización del simulador para estudios en pesquería se utilizaron criterios de optimalidad para simular el comportamiento de una flota pesquera, la cual trabaja sobre la biomasa susceptible de ser capturada producida por el simulador. El conocimiento de la población a un determinado tiempo, la intensidad del proceso de explotación caracterizado por el nivel de esfuerzo pesquero y los volúmenes de captura, hacen posible la evaluación del desempeño de los métodos de estimación de biomasa basados en los modelos de producción y en la captura por unidad de esfuerzo como índice de variación de biomasa. En ese contexto se presenta un estudio de los efectos que ejerce un sistema de explotación, basado en diferentes estrategias de explotación, sobre un recurso.

Por otro lado, el simulador desarrollado puede utilizarse como auxiliar didáctico en procesos de formación de recursos humanos, particularmente en cursos de dinámica poblacional o bien en cursos de biología pesquera y de análisis bioeconómico de sistemas de explotación.

I.1 Planteamiento del problema.

Para la construcción del modelo bajo estudio se toma como válida la definición que considera a una población como un sistema de individuos de la misma especie que interactúan y que coexisten dentro de fronteras geográficas particulares (Berriman, 1981). En este estudio se utiliza el concepto de metapoblación el cual se define como el conjunto de poblaciones locales o bien subpoblaciones que interactúan por medio de la dispersión de los individuos entre las subregiones del hábitat que ocupan, donde ocurren los eventos de inmigración y emigración, extinciones locales y colonizaciones (Levins, 1970; Taylor, 1990; Hanski y Gilpin, 1991; Verboom et al., 1991b).

A partir de una distribución de biomasa sobre un autómata celular se permite que la dinámica metapoblacional sea controlada por factores aleatorios asociados con la favorabilidad ambiental. De este modo, se genera la dinámica poblacional agregada o estructurada en clases de edad que se obtiene mediante la suma de los niveles de biomasa que corresponden a las subregiones que constituyen el hábitat. Por lo tanto se obtiene una caracterización numérica de la distribución espacio temporal de la biomasa que permite realizar los estudios antes señalados tanto en el nivel conceptual de la evaluación de

hipótesis generales sobre dinámica poblacional como en el asociado con los procedimientos de utilización de recursos pesqueros.

A partir de la simulación de la dinámica poblacional antes señalada se determinan las regiones con mayor contenido de biomasa las cuales corresponden a regiones potenciales de pesca. En este contexto, cada unidad de explotación se identifica con un viaje diario de un barco con una capacidad de carga. El número de unidades de explotación que participan en un determinado periodo, es definido como esfuerzo pesquero sobre el periodo. Las unidades de explotación son dirigidas a las regiones potenciales de pesca en donde se les permite capturar una cantidad aleatoria de biomasa, acotada superiormente por la capacidad de arrastre del barco pesquero que lleva a cabo la unidad de explotación (Reed, 1986). Este procedimiento se repite durante los intervalos de tiempo que conforman una temporada de pesca y al final de la misma se obtiene el valor acumulado de la captura. Por lo tanto, esto determina la captura por unidad de esfuerzo asociada con dicha temporada.

La repetición del procedimiento anterior, un número adecuado de temporadas de pesca, permite disponer de la información necesaria para el ajuste de un modelo de producción a los datos obtenidos de captura por unidad de esfuerzo. Esto a su vez posibilita la estimación de la biomasa total del recurso mediante el uso de la captura por unidad de esfuerzo como índice de abundancia.

Dado que en cualquier tiempo los datos de biomasa generados por el simulador son conocidos se puede comparar esta biomasa con la estimada por el modelo de producción,

de ésta manera se cumple con el objetivo de estudiar la idoneidad de la captura por unidad de esfuerzo como un índice de abundancia y también la capacidad predictiva de los modelos de producción y la idoneidad de estos como herramientas de manejo.

I.2 Supuesto.

Los métodos de estimación del nivel de la biomasa explotada, basados en la captura por unidad de esfuerzo como índice de abundancia, son adecuados cuando el esfuerzo pesquero se distribuye en función de la disponibilidad de abundancias del recurso. En este caso, los modelos de producción son capaces de predecir la dinámica del sistema explotado dentro de límites razonables de incertidumbre.

I.3 Objetivos

Objetivo general.

Crear un simulador de dinámica poblacional a escala metapoblacional donde los cambios en los niveles de biomasa sean inducidos por la variación estocástica del medio ambiente y los patrones de migración sean controlados por gradientes de favorabilidad ambiental, considerando a la población estructurada en diferentes clases de edad. Estudiar, a nivel observacional, las propiedades más representativas de las trayectorias generadas, estas incluyen oscilaciones alrededor de niveles de equilibrio, tendencias a la explosión o extinción.

Objetivos particulares.

1. Utilizar el simulador para el diseño de estrategias de explotación óptima basadas en una adecuada caracterización, tanto del nivel de esfuerzo pesquero como de su distribución espacial para obtener el mayor beneficio social derivado de la explotación y la conservación del recurso.
2. Evaluar la capacidad predictiva de los modelos de producción utilizando los datos generados por el simulador.

I.4 Importancia del estudio.

La contribución del presente trabajo se ubica en tres niveles. En el primero, se proporciona una herramienta de evaluación de hipótesis sobre estudios de dinámica poblacional a nivel metapoblacional.

En el segundo nivel, ubicado en el campo de las aplicaciones contribuye con el diseño de políticas de explotación racional, pues mediante su uso se puede proyectar el tamaño y la configuración óptima de la flota que realiza la explotación de un recurso. Además permite estudiar el efecto agregado de variables biológicas y económicas en la obtención del máximo beneficio social y en la conservación intergeneracional del recurso pesquero.

Por último, en el tercer nivel de utilidad es el didáctico, ya que el proyecto posee relevancia desde el punto de vista de la formación de recursos humanos, pues permite que un

estudiante en cursos de dinámica poblacional y de biología pesquera pueda explorar los efectos que un sistema de explotación pueda ejercer sobre un recurso afectado por el hombre.

II. ANTECEDENTES

El presente trabajo se ha desarrollado principalmente a partir del concepto de crecimiento poblacional denso-independiente propuesto por Piña (1997), al cual se le agregó como elemento innovador la estructura poblacional por edades, pues en un nivel teórico diversos autores señalan que los modelos de crecimiento poblacional basados en la estructura de edades poseen grandes ventajas que permiten la caracterización de los estratos poblacionales para ser explotados de un modo más eficiente.

Los métodos de simulación de dinámica poblacional que se abordan, son justificados ampliamente por su importancia para la conservación de especies (Jetschke (1992)). En particular, la importancia de la inclusión de la estructura de edades en modelos de simulación en pesquerías se discute en Bax (1986) quien indica que esta debe de ser incluida pues cambios en la misma pueden afectar seriamente el rendimiento asociado con el sistema de explotación. Otra importante vertiente en los estudios de simulación en pesquerías, es la que se relaciona con el estudio de los efectos que producen fluctuaciones aleatorias en los volúmenes de biomasa. Sissenwine (1977) ha inspirado la proliferación de un gran número de estudios afines. El objetivo de dichas investigaciones ha sido la determinación del efecto de la variación antes aludida en los rendimientos óptimos esperados. Este trabajo se ubica de un modo natural dentro de esa vertiente y sus resultados podrían aplicarse para determinar el tamaño de la flota que, en un contexto de variación aleatoria de los volúmenes de captura, permitirá obtener los rendimientos máximos de la explotación.

Sin embargo el marco conceptual de variación estocástica de los niveles de captura es un enfoque distinto a la variación considerada por Sissenwine (1977) quien aborda fundamentalmente el problema de estimar el efecto de la variación aleatoria de parámetros poblacionales en la captura. A diferencia de este último planteamiento Reed (1986) considera que la función de producción que determina la tasa de remoción de biomasa en función del esfuerzo pesquero varía estocásticamente, es decir, se supone que dado un nivel de esfuerzo la captura que le corresponde puede tomar valores distintos determinados por una distribución de probabilidad susceptible de ser identificada empíricamente. La investigación aquí planeada invoca esta última hipótesis abundando sobre los mecanismos que generan dicha estocasticidad. En ella los niveles de captura son determinados aleatoriamente en función de la distribución espacial de abundancias. Estas últimas son generadas por el simulador de dinámica poblacional inducida por gradientes de favorabilidad ambiental y por la variación aleatoria de los parámetros poblacionales considerada por Sissenwine (1977). En este sentido el simulador unifica las dos grandes conceptualizaciones de las influencias aleatorias sobre un recurso pesquero explotado.

En lo que corresponde a la determinación del grado de idoneidad de los modelos de producción es necesario señalar que dicho tema de investigación es un punto importante en la literatura. Ludwig y Walters (1985) han destacado que los modelos de producción pueden contribuir eficazmente en la toma de decisiones de manejo, sus conclusiones se derivan de estudios comparativos del desempeño de tales modelos con relación a los estructurales. Una amplia discusión sobre el tema puede encontrarse en Hilborn y Walters (1992).

III. MODELOS DE SIMULACIÓN

La transformación de la naturaleza por el hombre requiere concebir representaciones de los sistemas o procesos con los que interacciona. Una representación es la presentación formal de las ideas que describen a dichos sistemas o procesos. La idoneidad de las representaciones como herramientas de interpretación intelectual debe de lograrse utilizando criterios empíricos

La simulación es una herramienta computacional para la representación de la operación de un proceso o sistema del mundo real. Se utiliza para describir y analizar el comportamiento del proceso o sistema con el objetivo de mejorar su funcionamiento o bien su diseño. Las representaciones basadas en simulaciones reciben el nombre de modelos de simulación.

En lo general, los modelos son usados como una herramienta intelectual que ayuda a definir adecuadamente problemas reales, a organizar ideas, a entender las variaciones asociadas y a hacer predicciones sobre el comportamiento del sistema o proceso que representan.

La representación de las propiedades de un sistema real en términos de un lenguaje formal corresponde a la construcción de su modelo matemático. La manipulación de los parámetros o de las funciones que definen al modelo matemático, permite estudiar los efectos que se esperarían observar en el sistema real. Se dice que un modelo matemático ha

sido concebido adecuadamente si empíricamente puede verificarse que las predicciones del mismo son cercanas al comportamiento del sistema real.

Los modelos matemáticos pueden ser continuos o discretos, continuos cuando hacen predicciones a cualquier instante de tiempo. Discretos cuando estas solo se hacen sobre una sucesión particular de valores temporales.

Por su carácter predictivo, los modelos pueden ser determinísticos o estocásticos. Los primeros permiten conocer sin ambigüedad el valor que a un determinado tiempo tomaran las funciones que lo definen; mientras que los segundos sólo podemos conocer la probabilidad asociada al evento que se predice.

Por su complejidad los modelos pueden concebirse bajo dos criterios esenciales: el holístico y el reduccionista. Los modelos holísticos, integran una gran cantidad de variables que definen a detalle el sistema particular bajo estudio y que permiten, en términos relativos, obtener predicciones sujetas a un menor grado de incertidumbre. En los modelos reduccionistas, bajo unas pocas variables se agregan los principales atributos y mediante el estudio formal de sus propiedades se intenta responder a las interrogantes de carácter general que se plantean sobre el sistema que representan. Por lo general, los modelos de simulación integran varios submodelos matemáticos reduccionistas, determinísticos o estocásticos, por lo que pueden ser considerado como modelos holísticos.

En el presente trabajo hemos considerado la representación de un sistema poblacional uniespecífico en términos de un modelo de simulación basado en un autómata celular. Esto se traduce en un arreglo metapoblacional constituido por un número variable de subregiones del hábitat. En cada una de ellas se desarrollan procesos estocásticos de cambio poblacional normado por nacimientos, muertes, y migraciones. Dichos efectos estocásticos asociados con lo que llamamos favorabilidad ambiental (Piña, 1997) determinan tanto la dinámica poblacional global, como la de sus clases de edad.

IV. METODOLOGÍA

Los modelos matemáticos que interpretan sistemas naturales están basados usualmente en ecuaciones diferenciales las cuales describen el cambio de una variable en función de otras. Sin embargo, los modelos basados en ecuaciones diferenciales no son los únicos que pueden describir a los sistemas naturales. Los autómatas celulares son modelos matemáticos que se usan para describir sistemas en los cuales muchos componentes simples actúan unidos para producir patrones complejos de variación. Estos modelos se usan para describir una variedad amplia de sistemas biológicos e incluso sugerir mecanismos para la formación de patrones biológicos. Este tipo de modelos son usados generalmente para describir sistemas dinámicos discretos y sistemas de procesamiento de información.

La metodología utilizada para representar la dinámica de una población uniespecífica se estructura con base en la teoría de los autómatas celulares (AC). Esta establece que un autómata celular es un modelo formal compuesto por un conjunto de entes elementales, cada uno de ellos susceptible de encontrarse en un cierto estado y de ser alterado de un instante al siguiente, suponiendo que el tiempo transcurre de forma discreta (von Neumann, 1966). La regla que gobierna la transición de los estados de los entes es sensible a los estados de los demás entes en su vecindad, siendo por tanto una regla de transición local. El aspecto más importante que caracteriza a los AC es su capacidad para dotar al conjunto del sistema, visto como un todo, de una serie de propiedades emergentes inducidas por la

propia dinámica local, esto es la aparición de propiedades ajenas a la definición inicial del sistema y que son producto del comportamiento del mismo. En general no es fácil obtener las propiedades globales de un sistema complejo por naturaleza, por lo que se recurre a la simulación, la cual parte de un estado inicial de la población de objetos y cambia en cada instante los estados de todos ellos en forma sincrónica.

En ocasiones es importante situar al autómata celular sobre una región geográfica, para que de esta manera se puedan identificar los entes del autómata celular con sus respectivas coordenadas geográficas. En principio no hay restricción a su número de entes, por lo que pueden ser desde unos pocos hasta un gran número de ellos, aunque sí es necesario saber cuántos entes van a formar la población del sistema.

Para cada ente del sistema es necesario establecer su vecindad, esto es, aquellos otros entes que serán considerados como sus vecinos. En caso de asociar objetos con coordenadas de un sistema de referencia, el criterio suele ser construir la vecindad de un ente dado con todos aquellos otros entes que se encuentran a menos de una cierta distancia o radio, de tal forma que se considere que los entes más alejados no ejerzan influencia directa sobre él. Las vecindades habituales en los autómatas celulares se ilustran en la figura 1, donde se describen las vecindades del ente con referencia (i, j) , situado en la i -ésima fila y j -ésima columna :

*	$(i-1, j)$	*	$(i-1, j-1)$	$(i-1, j)$	$(i-1, j+1)$
$(i, j-1)$	(i, j)	$(i, j+1)$	$(i, j-1)$	(i, j)	$(i, j+1)$
*	$(i+1, j)$	*	$(i+1, j-1)$	$(i+1, j)$	$(i+1, j+1)$
a) vecindad de von Neumann,			b) vecindad de Moore		

Figura 1. Esquema de las vecindades habituales en los autómatas celulares.

Las vecindades en los bordes de la región dependen de las condiciones que se impongan en los límites. Se suelen considerar dos casos: el primer caso es en donde los entes opuestos se consideran vecinos, este caso es llamado "*vecindad con bordes periódicos*". El segundo caso es llamado "*vecindad con bordes absorbentes*" en el cual se considera que los entes de los bordes no tienen vecinos más allá de los límites de la retícula.

En cada instante de tiempo, cada ente debe encontrarse en un cierto estado. El caso más sencillo corresponde a los entes biestables, los cuales pueden encontrarse en sólo uno de dos estados posibles, 0 y 1, por ejemplo. Pero también el estado puede estar representado por un vector de componentes reales o por una cadena de un lenguaje formal. La dinámica del sistema está definida por la regla de transición. Dado un ente y un instante determinado, la regla determina el siguiente estado del ente. Para ello, es necesario tener como argumentos los estados actuales, tanto del ente considerado como de aquellos entes que

conforman su vecindad. Las reglas de transición pueden ser determinísticas o probabilísticas. Además, no todos los entes necesitan obedecer a la misma regla. Sin embargo la regla de transición de muchos AC es igual para todos los entes por lo que se considera a estos como sistemas homogéneos.

IV.1 Dinámica de una población uniespecífica generada mediante un autómata celular.

En el presente trabajo se implementó la metodología de los Autómatas Celulares (AC) para representar la dinámica de una población uniespecífica. Bajo este esquema es posible determinar las regiones con mayor contenido de biomasa las cuales representan regiones de explotación potencial.

El autómata celular implementado considera la vecindad de Moore con bordes absorbentes. Los entes del autómata celular están dispuestos sobre los nodos de una región rectangular de $N \times M$ entes. Cada ente es representado simbólicamente por $w_{ij}(x, y)$ y se encuentra centrado en el punto de coordenadas (i, j) donde $1 \leq i \leq M$ y $1 \leq j \leq N$, esto se ilustra en la figura 2.

La dinámica poblacional se lleva a cabo en los entes, los cuales, como universos de pares ordenados de números reales, se definen mediante el producto cartesiano de los intervalos $[i-1, i+1]$ y $[j-1, j+1]$, es decir

$$\omega_{ij}(x, y) = \{(x, y) \mid i-1 \leq x \leq i+1, j-1 \leq y \leq j+1\} \quad (1)$$

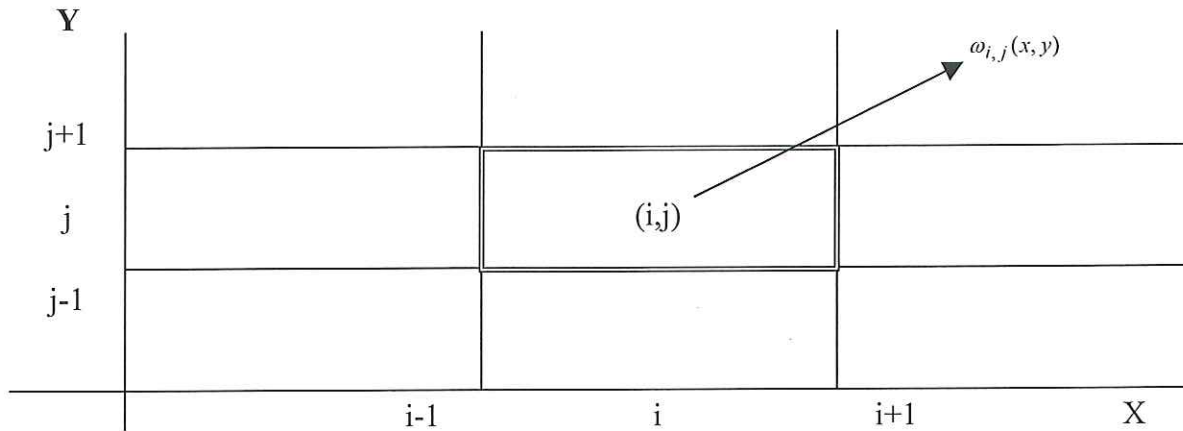


Figura 2. El ente $\omega_{ij}(x, y)$ como un conjunto cartesiano de puntos en el plano.

La región rectangular $\Omega(x, y) \subset R^2$ que forma al autómata se representa mediante la unión de los entes, esto es

$$\Omega(x, y) = \bigcup_{ij} \{\omega_{ij}(x, y)\} . \quad (2)$$

En cada ente existe una población de individuos, los cuales se reproducen, mueren y emigran hacia entes vecinos con mejor favorabilidad ambiental. Además mueren al ser capturados. En este sentido cada ente es un elemento fundamental del cambio poblacional y la contribución de todos los entes que constituyen la región rectangular $\Omega(x, y)$ dan como resultado la dinámica global de la población.

Mediante $x(i, j, t)$ denotamos la cantidad total de biomasa que ocupa el ente $\omega_{ij}(x, y)$ al tiempo t . Por lo tanto al tiempo t la biomasa total de la metapoblación $x(t)$ se obtiene mediante:

$$x(t) = \sum_i \sum_j x(i, j, t) \quad (3)$$

La población de individuos esta estructurada en diferentes clases de edad. Con el fin de obtener sus dinámicas, y consecuentemente la de la población en su conjunto, es conveniente introducir las siguientes funciones

$N(t)$: número total de individuos en $\Omega(x, y)$

$n_1(t)$: número de individuos con edades en el intervalo (0,1) años.

$n_2(t)$: número de individuos con edades en el intervalo (1,2) años

$n_3(t)$: número de individuos con edades mayores que 2 años.

Por lo tanto el número total de individuos se obtiene mediante

$$N(t) = \sum_k n_k(t). \quad (4)$$

Para cada ente sea $n_k(\omega_{i,j}(x, y), t)$ el número de individuos de la k-ésima clase de edad que a un tiempo t se encuentran ocupando el ente $\omega_{ij}(x, y)$. Entonces al tiempo t el número

total $n_k(t)$ de individuos de la k -ésima clase de edad distribuida en toda la región $\Omega(x, y)$ es determinado por

$$n_k(t) = \sum_i \sum_j n_k(\omega_{ij}(x, y), t). \quad (5)$$

Suponemos que existen funciones $\theta_k(n_k(t))$ concebidas como factores de escala que nos permiten expresar la equivalencia entre el número de individuos y la biomasa de los mismos, es decir, en general

$$x(t) = \sum_k \theta_k(n_k(t)) n_k(t). \quad (6)$$

En una interpretación directa, $\theta_k(n_k(t))$ puede concebirse como el peso promedio de cada individuo de la k -ésima clase de edad. Por lo tanto la biomasa poblacional total en cada ente $\omega_{ij}(x, y)$ a un tiempo t está dada por

$$x(i, j, t) = \sum_k \theta_k(n_k(t)) n_k(\omega_{ij}(x, y), t). \quad (7)$$

IV.2 Ecuación de balance de la dinámica de una población uniespecífica.

Sea $n(i, j, t)$ el número de individuos que se encuentran distribuidos en la celda (i, j) al tiempo t . Entonces $n(i, j, t)$ se obtiene mediante

$$n(i, j, t) = \sum_k n_k(\omega_{ij}(x, y), t). \quad (8)$$

La ecuación de balance que determina la dinámica de la población para cada clase de individuos esta expresada en términos de los procesos de mortalidad, natalidad, inmigración y emigración.

Sea μ_1 la tasa de mortalidad de los individuos de la clase uno, μ_2 la tasa que corresponde a la clase dos y μ_3 la tasa asociada con la tercera clase. Entonces, el número de sobrevivientes de la primera clase al tiempo t esta dada por la cantidad

$$n_1(\omega_{ij}(x, y), t) - \mu_1(n_1(\omega_{ij}(x, y), t)) \quad (9)$$

Los sobrevivientes de las clases dos y tres tienen expresiones similares. Por otro lado los individuos de la primera clase se reproducen con tasa b_1 siendo b_2 y b_3 las tasas que corresponden a las clases dos y tres respectivamente. Por lo tanto de la ecuación (9) se deduce que la clase uno producirá al tiempo t un número de nacimientos dado por la cantidad

$$b_1[(1 - \mu_1)(n_1(\omega_{ij}(x, y), t))] \quad (10)$$

Los nacimientos asociados con las clases dos y tres admiten también ecuaciones equivalentes. Como todos los nacimientos generan individuos de la primera clase de edad a un tiempo $t + 1$ tendremos la ecuación de balance

$$n_1(\omega_{ij}(x, y), t + 1) = b_1[(1 - \mu_1)(n_1(\omega_{ij}(x, y), t))] + \\ b_2[(1 - \mu_2)(n_2(\omega_{ij}(x, y), t))] + b_3[(1 - \mu_3)(n_3(\omega_{ij}(x, y), t))] \quad (11)$$

Los individuos que al tiempo t sobreviven en la primera clase se transfieren al tiempo $t + 1$ a la segunda clase. De la misma manera ocurre con los individuos de la segunda clase, los sobrevivientes al tiempo t pasan al tiempo $t + 1$ a la tercera clase. Los sobrevivientes en la tercera clase de edad al tiempo t permanecen en ella al tiempo $t + 1$.

Entonces las ecuaciones de balance para la primera, segunda y tercera clase de edad al tiempo $t + 1$ son

$$n_1(\omega_{ij}(x, y), t + 1) = b_1[(1 - \mu_1)(n_1(\omega_{ij}(x, y), t))] + b_2[(1 - \mu_2)(n_2(\omega_{ij}(x, y), t))] + \\ b_3[(1 - \mu_3)(n_3(\omega_{ij}(x, y), t))] + E_1[\phi(\omega_{ij}(x, y)), t] \quad (12)$$

$$n_2(\omega_{ij}(x, y), t + 1) = (1 - \mu_1)(n_1(\omega_{ij}(x, y), t)) + E_2[\phi(\omega_{ij}(x, y)), t] \quad (13)$$

$$n_3(\omega_{ij}(x, y), t + 1) = (1 - \mu_2)(n_2(\omega_{ij}(x, y), t)) + (1 - \mu_3)(n_3(\omega_{ij}(x, y), t)) + E_3[\phi(\omega_{ij}(x, y)), t] \quad (14)$$

donde $\phi(\omega_{ij}(x, y))$ es el conjunto de celdas que rodean la celda $\omega_{ij}(x, y)$ y donde

$E_i[\phi(\omega_{ij}(x, y)), t] \forall i = 1, 2, 3$ representan el valor que al tiempo t toma la función que mide

la intensidad del proceso migracional del conjunto $\phi(\omega_{ij}(x, y))$ hacia cada una de las clase

de edad en la celda centrada.

IV.3 Función de emigración basada en gradientes de favorabilidad ambiental.

Con base en la hipótesis planteada por Adrewartha y Birch (1954), la cual dice que las condiciones ambientales determinan en gran medida la distribución, abundancia y disponibilidad de recursos bióticos, definimos la función de emigración basada en gradientes de favorabilidad ambiental.

Sea:

$f_{ij}(t)$: la favorabilidad ambiental absoluta de la celda $\omega_{ij}(x, y)$

y

$F_{ij}(t)$: la favorabilidad ambiental relativa de la celda $\omega_{ij}(x, y)$.

Entonces se tiene

$$F_{ij}(t) = \frac{f_{ij}(t)}{\sum_{\phi} f_{ij}(t)}. \quad (15)$$

Donde $\sum_{\phi} f_{ij}(t)$ es la suma de las favorabilidades absolutas de la envolvente $\phi(\omega_{ij}(x, y))$ de

la celda $\omega_{ij}(x, y)$. (Piña, 1997).

Se considera que a un tiempo t la emigración de la celda $\omega_{ls}(x, y)$, que pertenece a la envolvente $\phi(\omega_{ij}(x, y))$, hacia la celda $\omega_{ij}(x, y)$ se presenta solamente si $F_{ls}(t) < F_{ij}(t)$.

Entonces, se supone que la cantidad de individuos $e_{ls \rightarrow ij}^k(t)$ de la k -ésima clase de edad

que se transfieren de la celda $\omega_{ls}(x, y)$, al tiempo t , hacia la celda $\omega_{ij}(x, y)$ esta dada por la ecuación

$$e_{ls \rightarrow ij}^k(t) = \varepsilon_{ls}^{ij}(t) n_k(\omega_{ls}(x, y), t), \quad (16)$$

donde $\varepsilon_{ls}^{ij}(t)$ es una función del gradiente de favorabilidades relativas entre las celdas $\omega_{ij}(x, y)$ y $\omega_{ls}(x, y)$, es decir

$$\varepsilon_{ls}^{ij}(t) = \begin{cases} \alpha_{ls}^{ij}(t) |F_{ls}(t) - F_{ij}(t)| & \text{si } F_{ls}(t) < F_{ij}(t) \\ 0 & \text{si } F_{ls}(t) > F_{ij}(t) \end{cases} \quad (17)$$

siendo $\alpha_{ls}^{ij}(t)$ un número aleatorio distribuido uniformemente entre 0 y 1.

IV.4 Distribución inicial de biomasa.

La dinámica poblacional se simula, de acuerdo con las ecuaciones (12)-(14), a partir de un número inicial de individuos determinado aleatoriamente entre 0 y K siendo K la capacidad de carga del medio. La biomasa inicial se distribuye en la región $\Omega(x, y)$ de acuerdo a distribuciones espaciales particulares, para este trabajo se considera la distribución uniforme y la aleatoria. En relación a las clases de edad, la distribución inicial de biomasa se determina de la misma manera en toda la región $\Omega(x, y)$.

IV.5 Determinación del nivel de equilibrio y el umbral de viabilidad en la dinámica de la población.

El nivel de equilibrio estable K representa la biomasa sobre la cual, en ausencia de perturbaciones de gran magnitud, oscila y se mantiene una población en un periodo de tiempo razonablemente largo. El umbral de viabilidad representa una fracción del nivel de equilibrio estable K , se menciona que este umbral debe ser un 10% de dicho nivel (Getz y Haight, 1989). Cuando la población atraviesa hacia abajo el umbral de viabilidad ésta se va a la extinción. La determinación del umbral de viabilidad es importante para el desarrollo del sistema de explotación, pues por arriba de él se debe explotar el recurso para no colapsar la pesquería.

Para la estimación del nivel de equilibrio estable K se introduce el siguiente procedimiento: se genera una partición dinámica que aun tiempo dado, divide el espacio comprendido entre 0 y el máximo valor que toma la biomasa en intervalos con una longitud uniforme. La longitud de los intervalos se determina arbitrariamente y representa x biomasa generada por el simulador de dinámica poblacional. El equilibrio K representa el valor medio del intervalo en el cual una población se mantuvo el mayor tiempo. Después de obtener el nivel de equilibrio estable K se calcula el umbral de viabilidad y la misma dinámica determina cuando una población se extingue.

IV.6 Variables de control en el estudio de la dinámica de la población.

Las variables de control son aquellas que permiten cambiar las condiciones de la dinámica poblacional de modo tal que es posible estudiar las variaciones que la población presenta bajo distintas situaciones:

- **Región de estudio en el autómata celular.** Contiene dos valores: el número de columnas (numcolumnas) y el de renglones (numrenglones). El valor mínimo que puede tomar la variable es 10 y el máximo es 100, esto es por la limitante del recurso de memoria del equipo de cómputo (ver capítulo VI).
- **Biomasa inicial.** El valor de esta variable representa toneladas métricas, dicho valor puede ser tan grande como el máximo valor que puede tomar el tipo de dato con el cual se declaró la variable.
- **Factor de iteración.** Representa la frecuencia con la cual ocurren cambios en el nivel de la población. El factor de iteración multiplica las tasas de la natalidad y la mortalidad en la ecuación de balance de la dinámica poblacional.
- **Factor de observación.** Representa la frecuencia con la cual se toma una muestra de la población a un tiempo dado.
- **Tiempo de iteración.** Contiene el número de unidades de tiempo que iterará la simulación de la dinámica poblacional. Si la dinámica de la población llega a su extinción antes de llegar al último instante de tiempo de iteración, entonces esta es interrumpida. Cuando se trata de estudiar la dinámica de la población hasta su extinción, esta variable no es tomada en cuenta como variable de control, ya que el objetivo de

este estudio es determinar el tiempo en el cual la población de cierta clase de edad llaga a su extinción.

- **Peso.** Contiene tres valores, cada uno de ellos representa el peso de una de las clases de edad de individuos, en toneladas métricas.
- **Sumulaciones.** La variable contiene el número de veces que la dinámica de la población se simulará con los mismos valores que contienen las variables de control.
- **Promedio.** Cuando se trata de estudiar la dinámica de la población en un intervalo de tiempo de iteración, el promedio significa obtener una trayectoria promedio de las trayectorias generadas por cada una de las simulaciones realizadas. Cuando se trata de estudiar la dinámica de la población hasta su extinción, el promedio significa el tiempo promedio de extinción de la suma de los tiempos de extinción obtenidos por cada una de las simulaciones realizadas.
- **Clase.** Solo cuando se trate de estudiar la dinámica de la población hasta su extinción hay que indicar cual de las tres clases de edad se analizará hasta su extinción. También puede analizarse la población en conjunto.

IV.7 Sistema de explotación y generación de los datos de captura por unidad de esfuerzo.

Una población de peces puede ser influenciada por un gran número de factores dentro del complejo sistema ecológico del cual forma parte. De todos estos factores, solamente uno, la predación por el hombre, puede ser controlada o modificada considerablemente por la acción del mismo hombre.

La administración de la pesca, por el hombre, de una población de peces tiene como propósito modificar o limitar las actividades de quienes explotan la población, con el objetivo de modular cambios en dicha población, en la pesca o en ambas para lograr conservar el sistema de explotación el mayor tiempo posible. El análisis de las relaciones fundamentales entre el tamaño de la población, la intensidad de la pesca y su producto, constituye una base valiosa para mantener las poblaciones de peces a niveles que permitan las máximas capturas sostenidas año tras año. Por lo tanto, manejar racionalmente un recurso pesquero requiere de estimar con la mayor precisión posible el tamaño de la población bajo explotación.

En el sistema de explotación integrado en el simulador de la dinámica poblacional permite diseñar estrategias de control óptimo, a través de la manipulación de las siguientes variables:

- El número de barcos de la flota pesquera.
- Salida de los barcos. Esta variable indica si el número de barcos que salen a pescar es

uniforme o aleatorio. Si la salida de los barcos es uniforme, entonces el número de barcos que salen a pescar es igual al número de barcos que tiene la flota. Si la salida de los barcos es aleatoria, entonces el número de barcos que salen a pescar es un número entre 1 y el número de barcos que tiene la flota.

- La manera de dirigir a los barcos sobre la región del autómata celular. Una forma puede ser dirigir los barcos hacia las zonas con mayor abundancia y otra puede ser dirigir los barcos hacia zonas aleatorias. En ambas los barcos deben capturar un número aleatorio de biomasa durante una temporada de pesca.
- La capacidad de la flota debe determinarse entre homogénea o heterogénea. En ambas, se debe asignar la capacidad de carga a cada uno de los barcos.
- El porcentaje mínimo sobre la capacidad de carga de los barcos que puede ser considerado como pesca rentable.
- El periodo de pesca que el sistema de explotación tendrá sobre el recurso.
- El umbral de viabilidad. Esta variable contiene el nivel de biomasa que el sistema de explotación debe mantener durante su periodo de pesca. Arriba del nivel, la explotación se realiza mientras no acabe su periodo de pesca. Abajo del nivel, la explotación se realiza aunque no haya terminado con su periodo de pesca.
- La clase de edad de la población sobre la cual se realiza la explotación.

El simulador de dinámica poblacional permite conocer en cada instante de tiempo las distribuciones y abundancias a un nivel espacial de la metapoblación considerada.

Entonces, en este contexto, es posible que el sistema de explotación pueda darse.

IV.8 Identificación del modelo de producción.

Un modelo de producción tiene la forma general

$$\frac{dx}{dt} = rxF(x, K) - qE(t)x \quad (18)$$

La ecuación (18) expresa el comportamiento dinámico de la biomasa explotada en términos de la tasa del esfuerzo pesquero $E(t)$, la biomasa misma $x(t)$ y los parámetros r , q y K conocidos como factor de escala de la tasa de crecimiento per cápita $F(x, K)$, coeficiente de capturabilidad y capacidad de carga respectivamente.

El uso de un modelo de producción, como herramienta de manejo, requiere la identificación de los parámetros antes mencionados. Para ello, se necesita el conocimiento de la forma explícita de la tasa de crecimiento natural $rxF(x, K)$, dado un tamaño de población $x(t)$. Así, se utilizan métodos adecuados de regresión, los cuales necesitan datos de captura por unidad de esfuerzo para ser manejados.

Mediante el procedimiento de la mortalidad por pesca conocemos los datos de captura por unidad de esfuerzo los cuales son representados mediante la función $U(t)$ definida por la transformación (Schnutes (1977))

$$U(t) = f(x(t)) \quad (19)$$

Siendo $f(x(t))$ una función diferenciable. En particular suele considerarse la expresión lineal para $f(x(t))$ en la forma (Schnutes (1977):




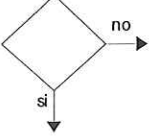
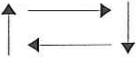


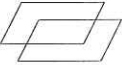
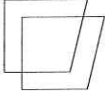

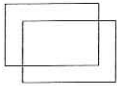
$$U(t) = qx(t) \quad (20)$$

Utilizando la ecuación (1) o (20) se expresa la ecuación (18) en términos de $U(t)$ para obtener los parámetros asociados mediante ajuste por regresión.

V. DISEÑO DEL SIMULADOR DE DINAMICA POBLACIONAL.

V.1 Simbología de los diagramas de flujo de datos (DFD).

Los diagramas de flujo son una representación gráfica de un algoritmo. Los símbolos más comúnmente utilizados son:

SIMBOLO	NOMBRE	FUNCION
	Terminador	Se usa para marcar el inicio y el fin del diagrama de flujo
	Operación	Se refiere a un cálculo o a una asignación
	Proceso predefinido	Representa un módulo de un subproblema. Se utiliza cuando se definen funciones, subrutinas, o procedimientos
	Decisión	Se usa para representar una decisión. Este símbolo se emplea en la estructura selectiva si entonces / sino, y en las estructuras de ciclo repetir y mientras
	Flechas de flujo	Representa la dirección del flujo del diagrama
	Conector	Representa una conexión dentro de la misma página
	Conector fuera de página	Representa una conexión a una subrutina o función en otra página
	Lectura	Se usa para introducir datos de entrada
	Impresión	Representa la impresión de un resultado. Expresa escritura.
	Despliegue	Representa la impresión en la pantalla.
	Proceso	Representa un proceso independiente al sistema o función.

V.2 Diseño de las funciones que integran el sistema del simulador de dinámica poblacional.

De acuerdo al planteamiento del problema, los objetivos y el supuesto del capítulo I, se hizo una representación, a través de un modelo funcional, del sistema que simula la dinámica poblacional de un recurso en una región hipotética de pesca (ver figura 4). Este modelo describe de manera general el proceso de la dinámica poblacional de un recurso pesquero, el cual es sometido a un sistema de explotación. Este sistema de explotación genera las capturas por unidad de esfuerzo, realizadas sobre una distribución espacial de la biomasa. Los datos generados por la dinámica poblacional y por el sistema de explotación permiten graficar las trayectorias de biomasa durante la simulación. Estas trayectorias permiten realizar un análisis de la estabilidad relativa del sistema. Además, los datos pueden utilizarse para evaluar diferentes hipótesis mediante la realización de regresiones.

El modelo de la figura 4 se derivan tres diagramas de flujo, los cuales representan la dinámica de la población sin un sistema de explotación (figuras 5a y 5b), la dinámica de la población hasta la extinción sin un sistema explotación (figuras 18a y 18b) y la dinámica de la población con un sistema de explotación (figuras 30a y 30b). Estos diagramas describen la secuencia de funciones y de instrucciones que componen lo que cada uno de estos representa de acuerdo con la metodología descrita en el capítulo IV del presenta trabajo. Las funciones correspondientes a estos diagramas también son representadas a través de diagramas de flujo, los cuales describen de manera detallada la secuencia de instrucciones y el flujo de los datos de entrada y de salida entre estas de acuerdo a la metodología descrita en dicho capítulo.

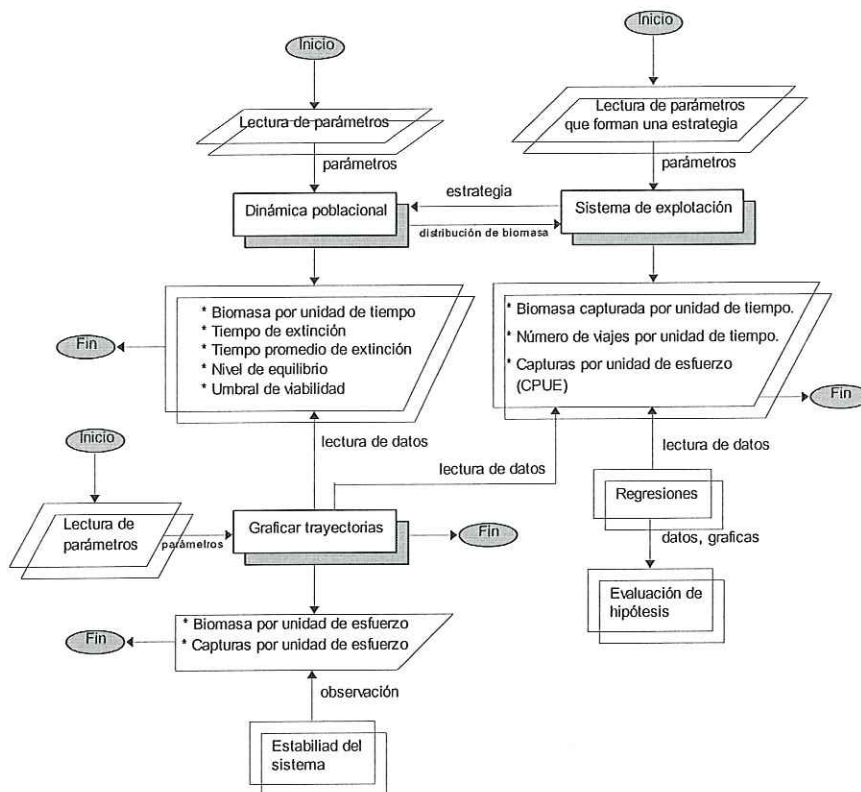


Figura 4. Modelo funcional del simulador de dinámica de poblacional.

Los diagramas de flujo de las figuras 5a y 5b muestran la secuencia de funciones e instrucciones para realizar la dinámica de la población. Este diagrama es la parte principal del sistema, internamente, ya que a este mismo se pueden adherir otras funciones con algún objetivo bajo estudio, como por ejemplo la extinción de la población y el sistema de explotación que en este trabajo se han implementado. El conjunto de funciones que integran a cada uno de estos tres diagramas de flujo se presenta enseguida del diagrama de flujo que las contiene. Dichas funciones, están etiquetadas con una letra mayúscula dentro del diagrama correspondiente y son vistos en orden alfabético en el que aparecen. En los diagramas de flujo, los símbolos '=' y '==' significan: asignación e igualdad respectivamente.

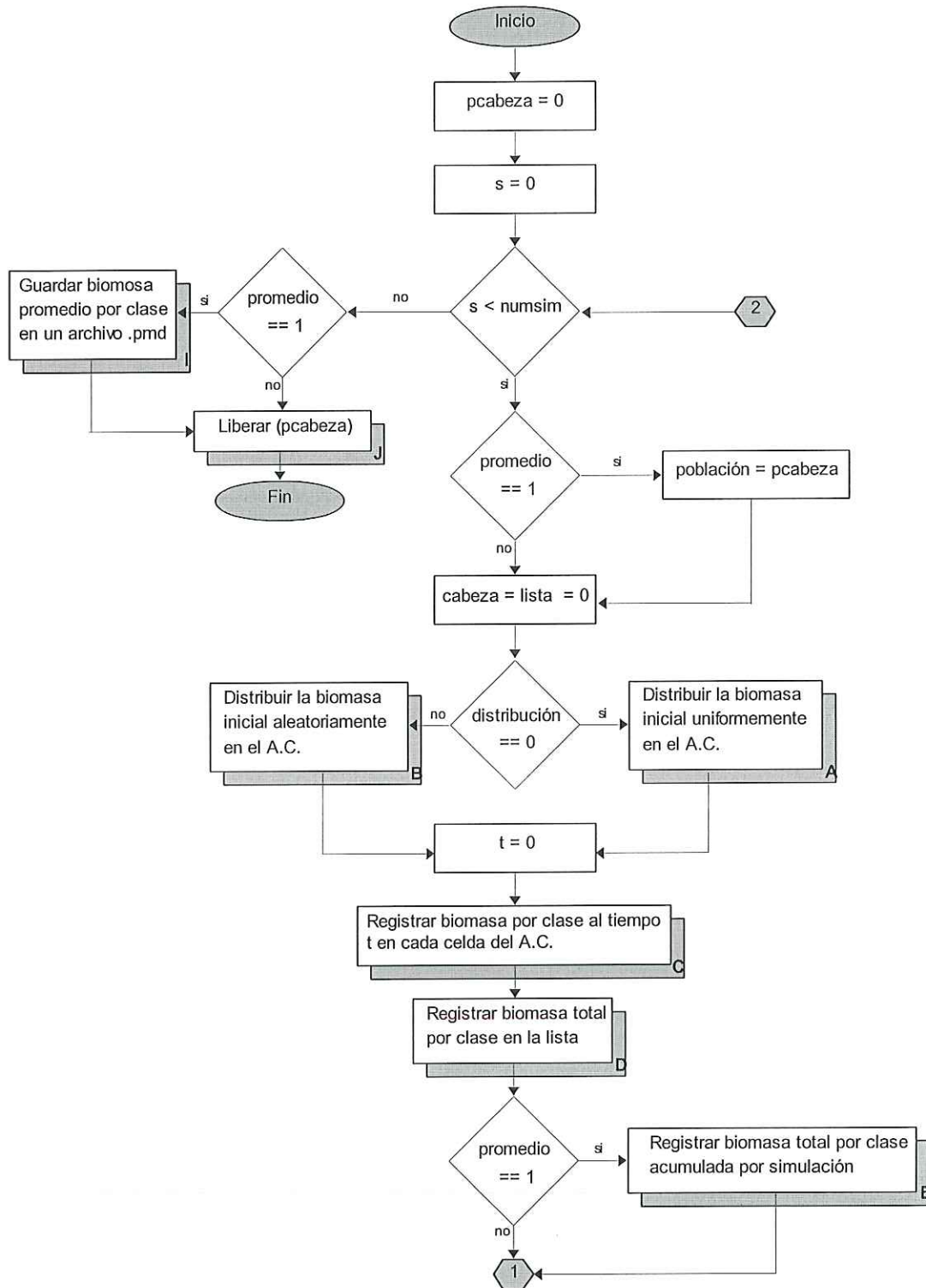


Figura 5a. Diagrama de flujo que representa la función de la dinámica de la población.

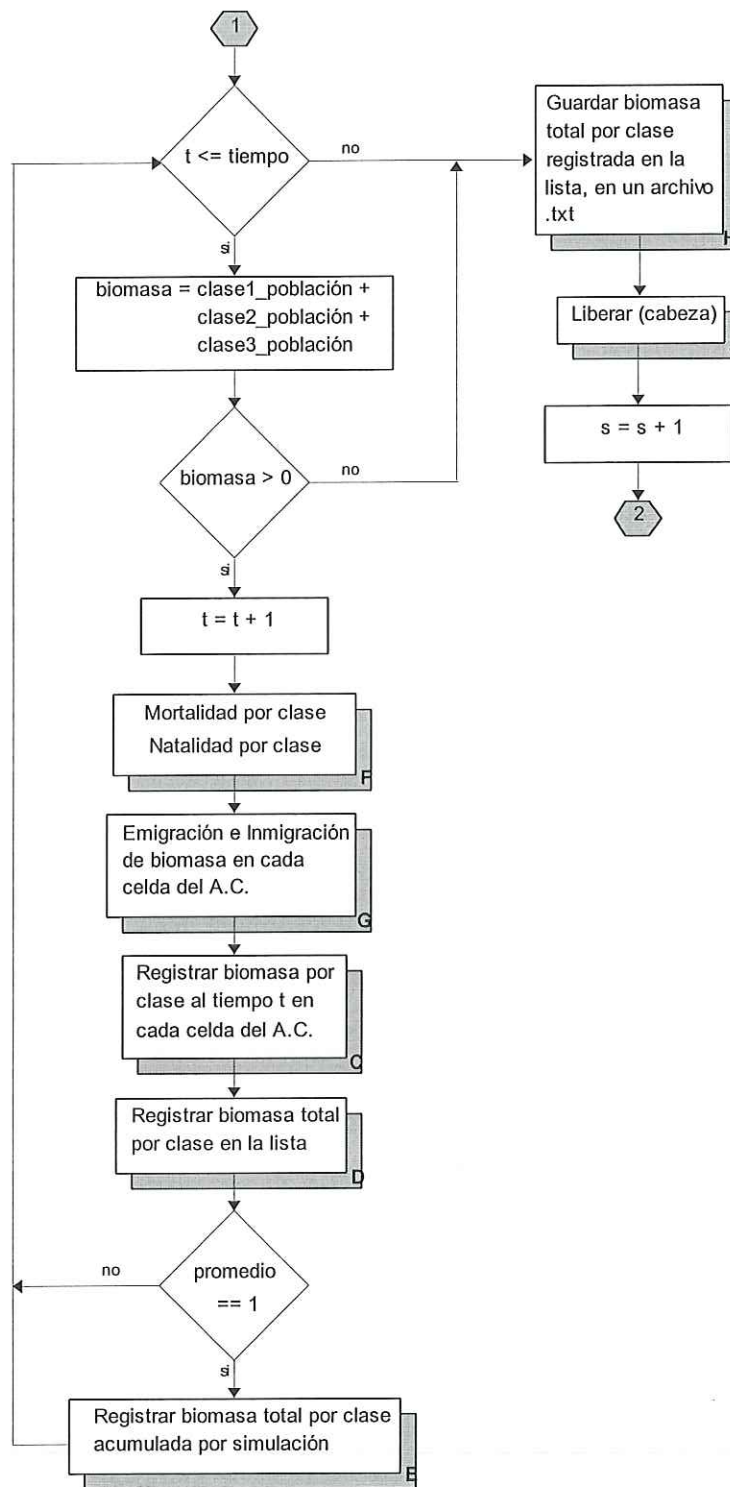


Figura 5b. Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 1 en la figura 5a. La etiqueta número 2 de este diagrama es la unión de la etiqueta número 2 del diagrama de la figura 5a.

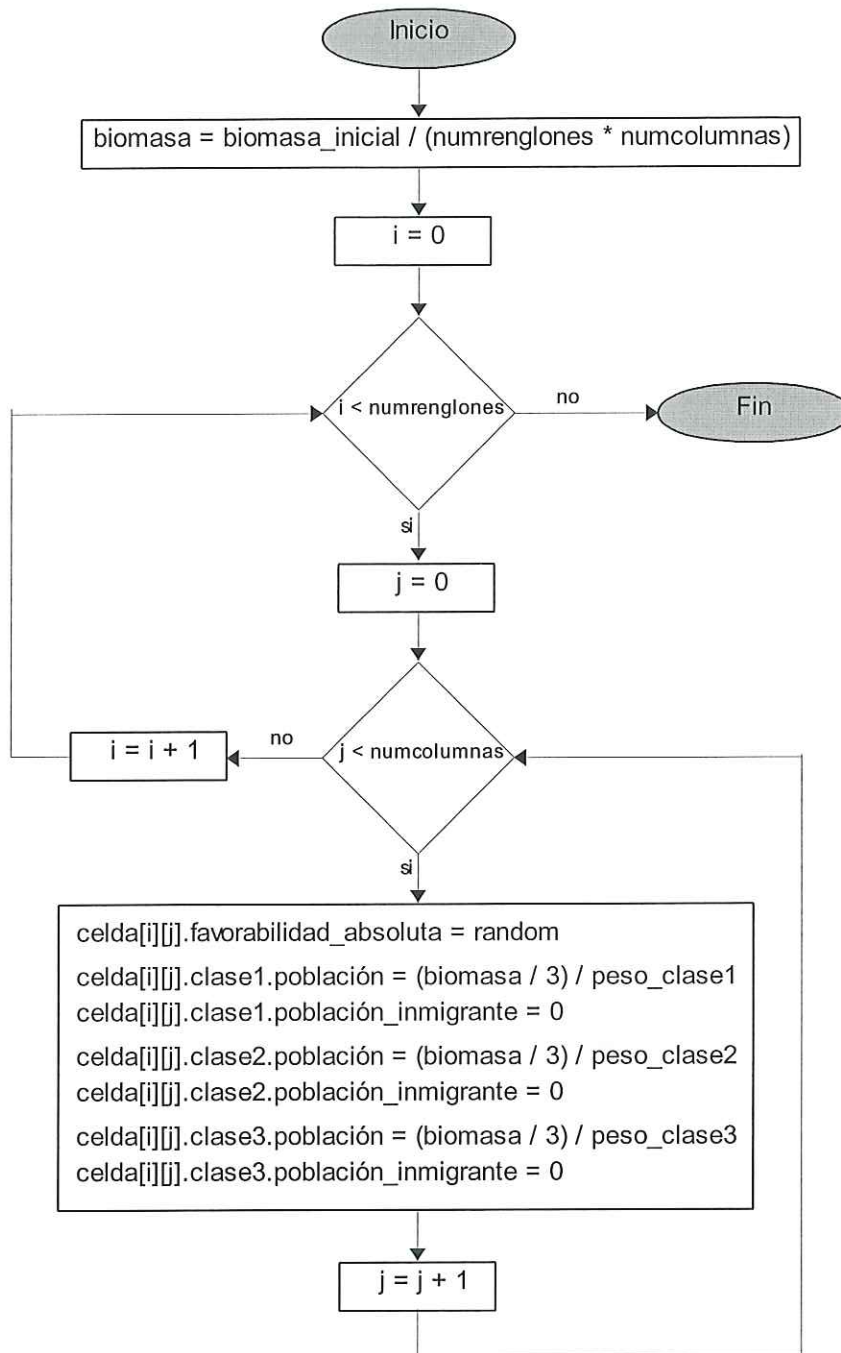


Figura 6. Diagrama de flujo que representa la función que realiza la distribución de la biomasa inicial uniformemente en las celdas del autómata celular, la cual está etiquetada con la letra **A** en el diagrama de flujo de la figura 5a.

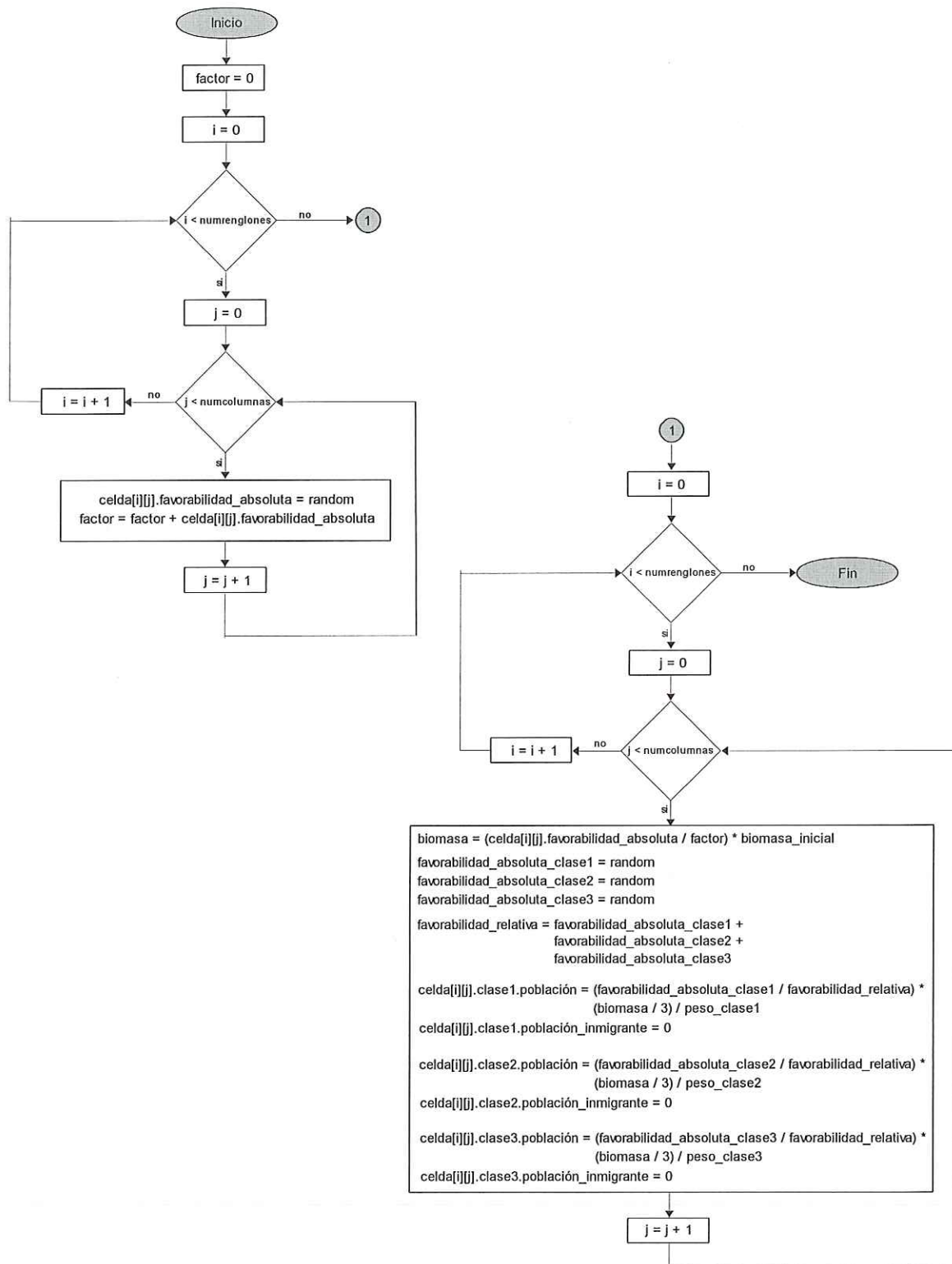


Figura 7. Diagrama de flujo que representa la función que realiza la distribución de la biomasa inicial aleatoriamente en las celdas del autómata celular, la cual está etiquetada con la letra **B** en el diagrama de la figura 5a.

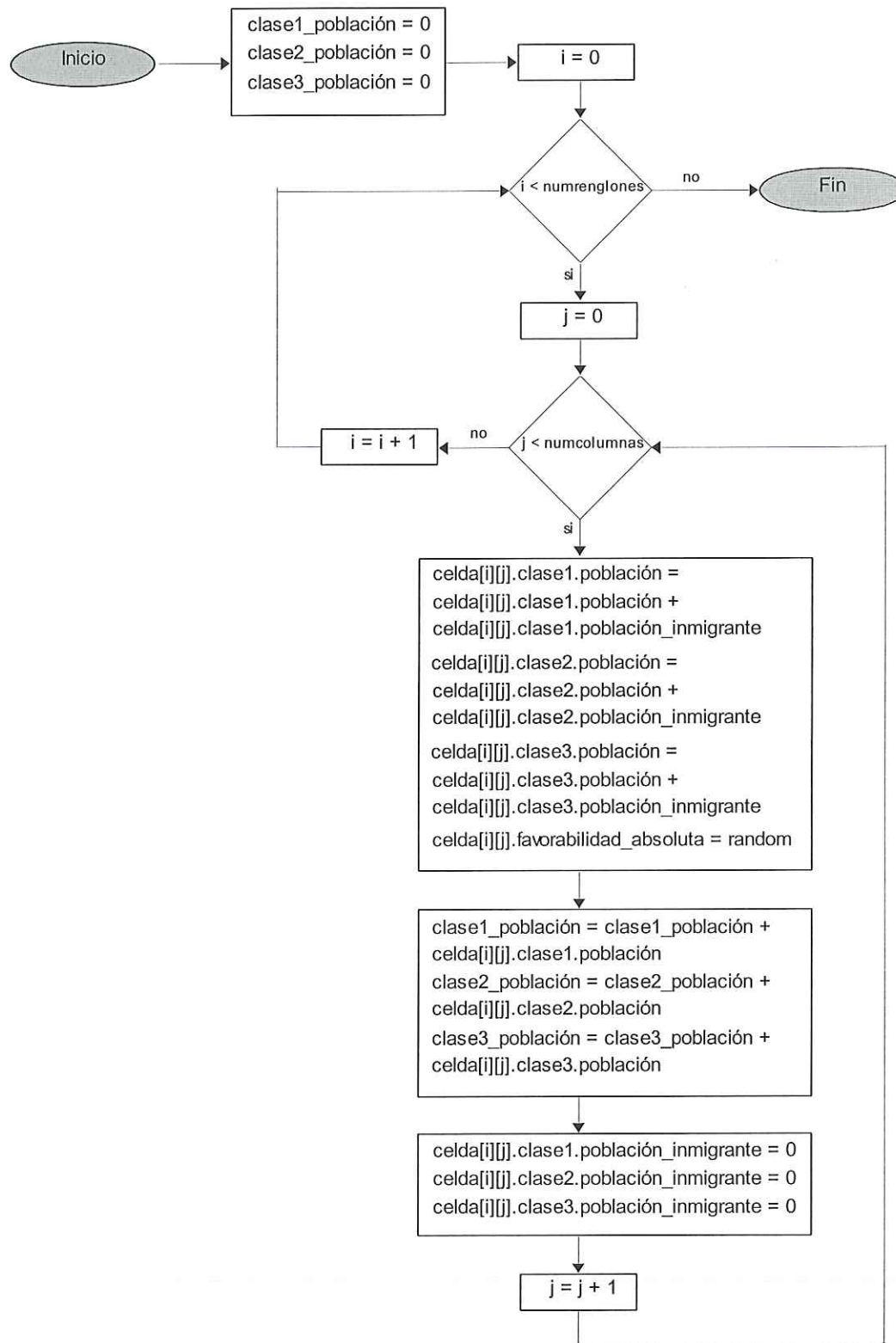


Figura 8. Diagrama de flujo que representa la función que registra la biomasa por clase al tiempo t en cada celda del autómata celular, la cual está etiquetada con la letra **C** en diagrama de flujo de la figura 5a.

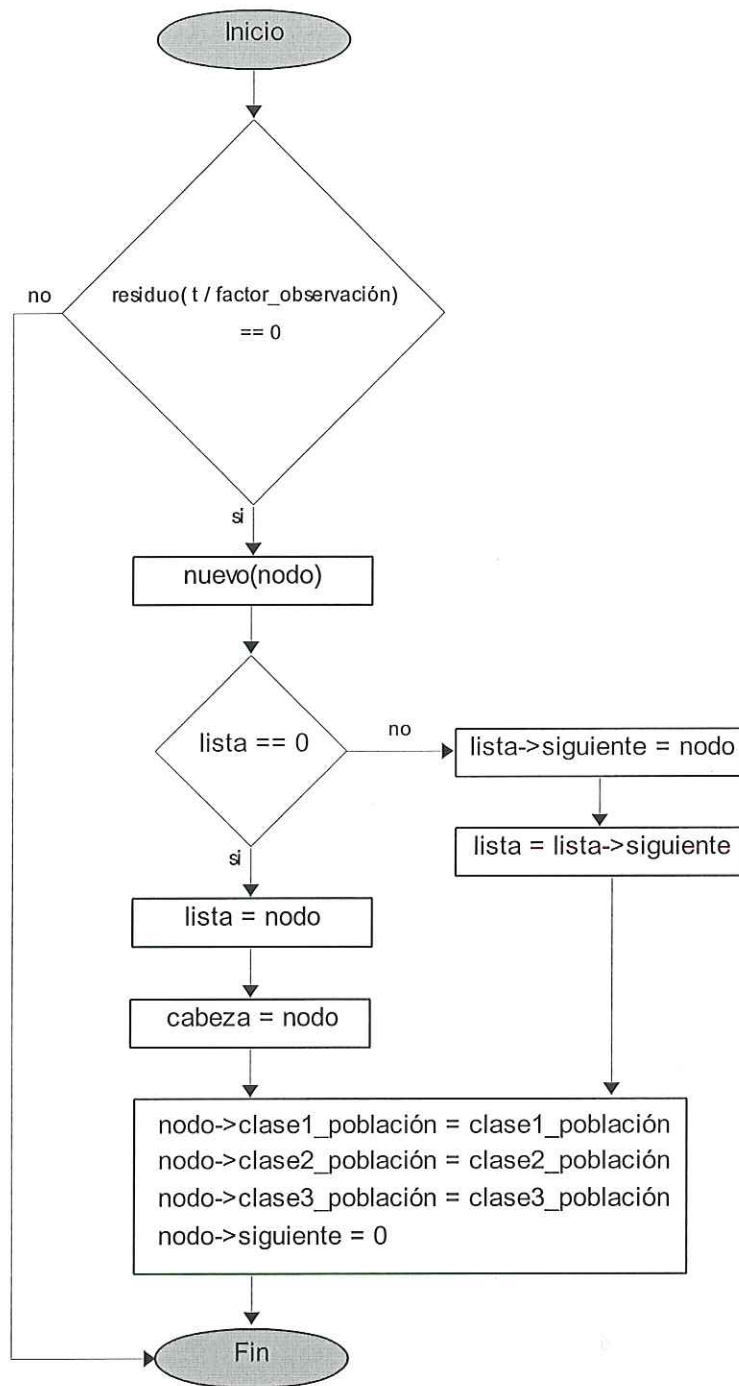


Figura 9. Diagrama de flujo que representa la función que registra la biomasa total por clase en la lista, la cual esta etiquetada con la letra **D** en el diagrama de flujo de la figura 5a.

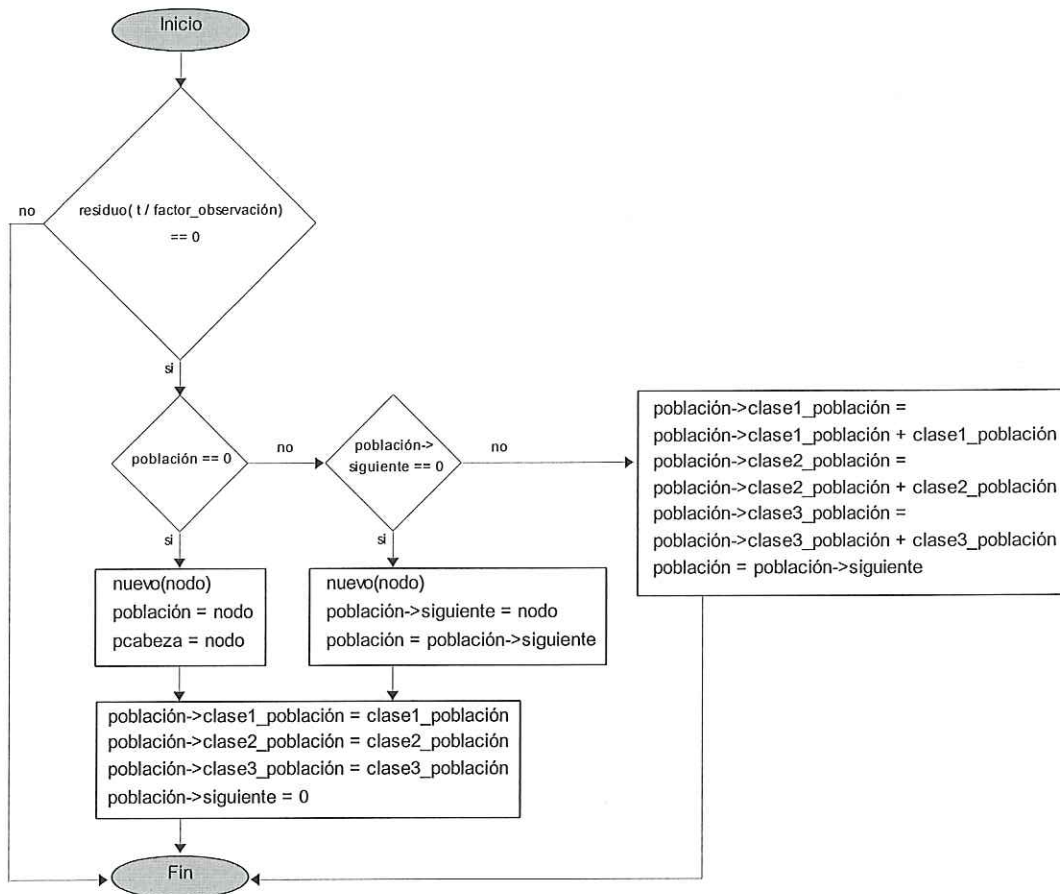


Figura 10. Diagrama de flujo que representa la función que registra la biomasa total por clase acumulada por simulación, la cual esta etiquetada con la letra **E** en el diagrama de flujo de la figura 5a.

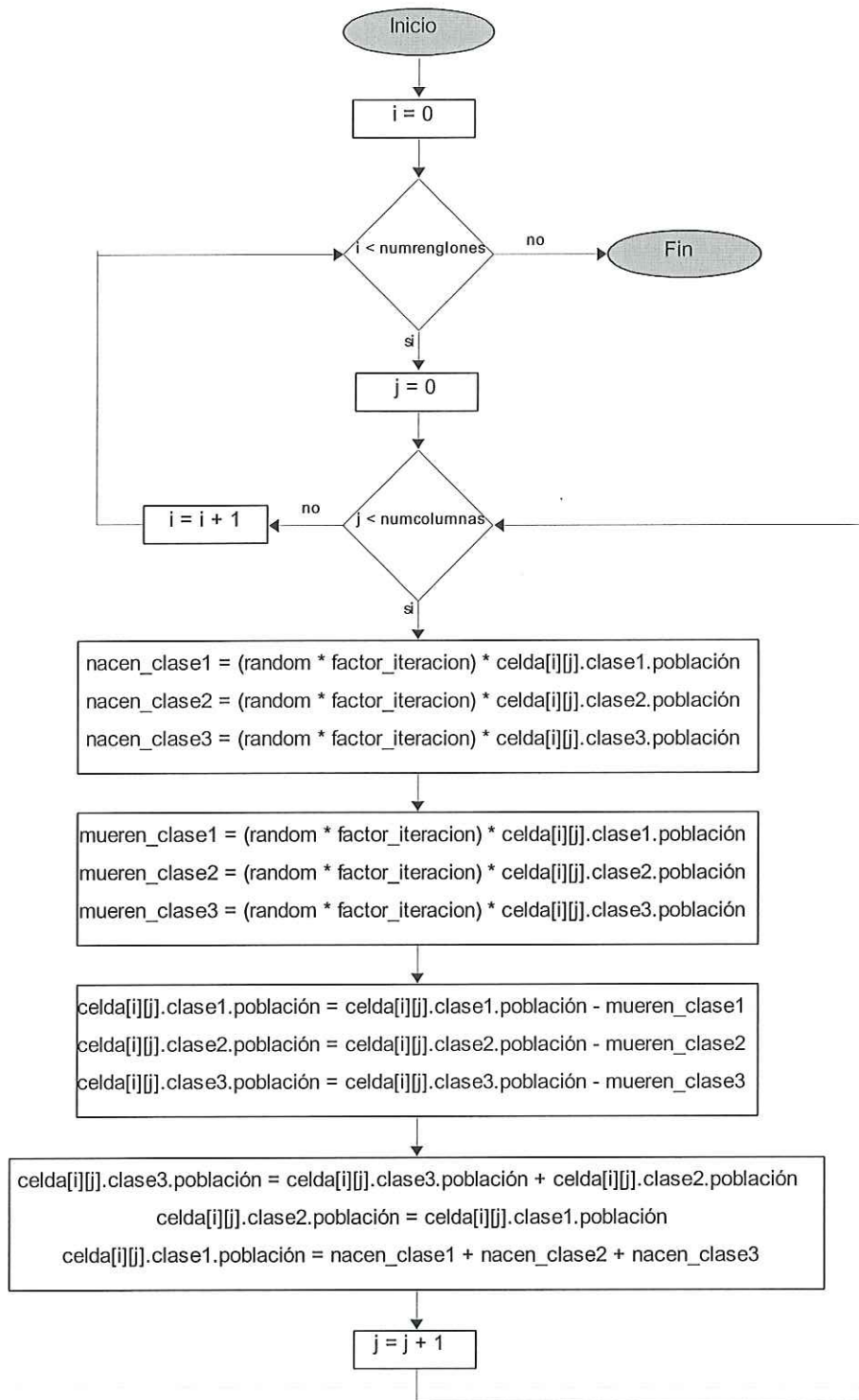


Figura 11. Diagrama de flujo que representa la función que realiza la natalidad y mortalidad por clase, la cual esta etiqueta con la letra **F** en el diagrama de flujo de la figura 5b.

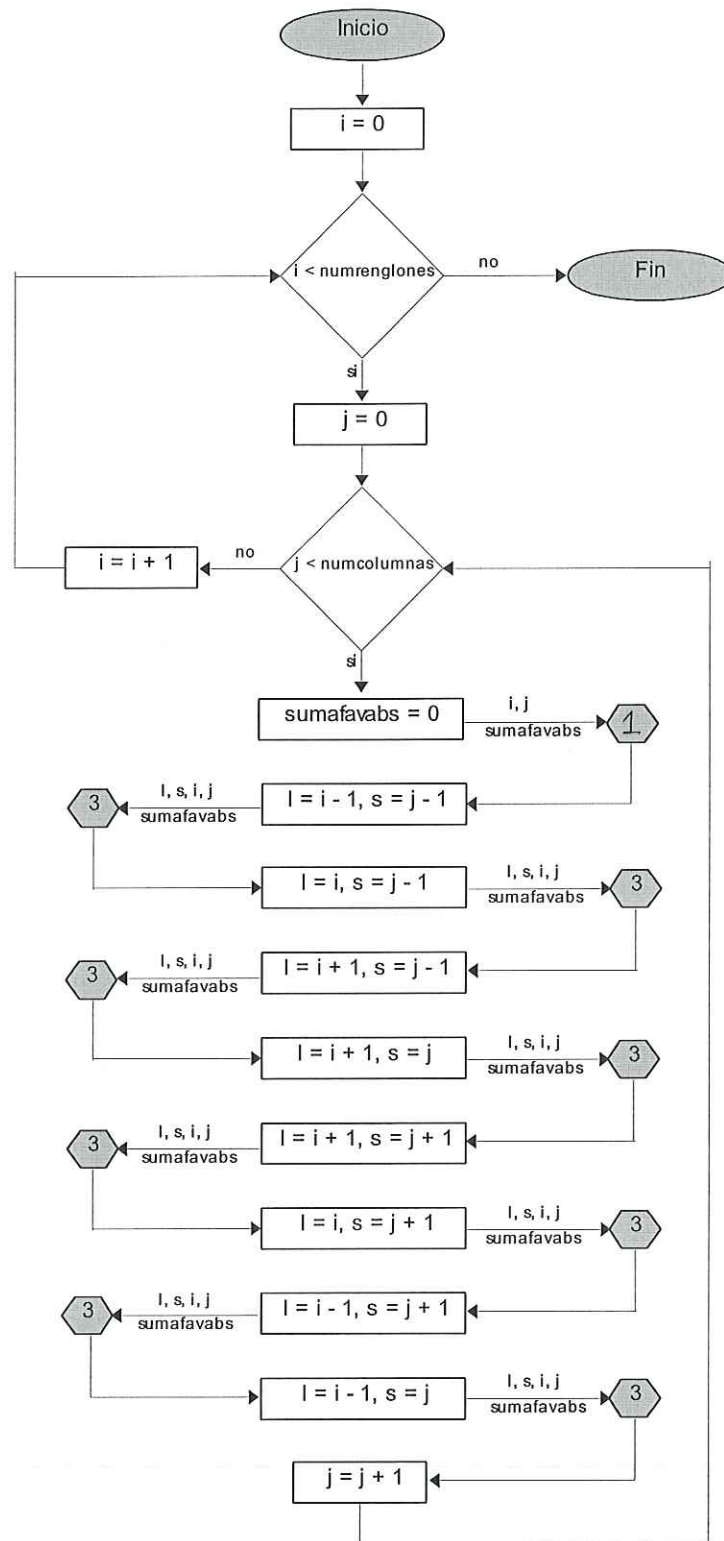


Figura 12. Diagrama de flujo que representa la función que realiza la emigración e inmigración de biomasa hacia celdas vecinas con mayor favorabilidad ambiental, la cual esta etiquetada con la letra **G** en el diagrama de flujo de la figura **5b**.

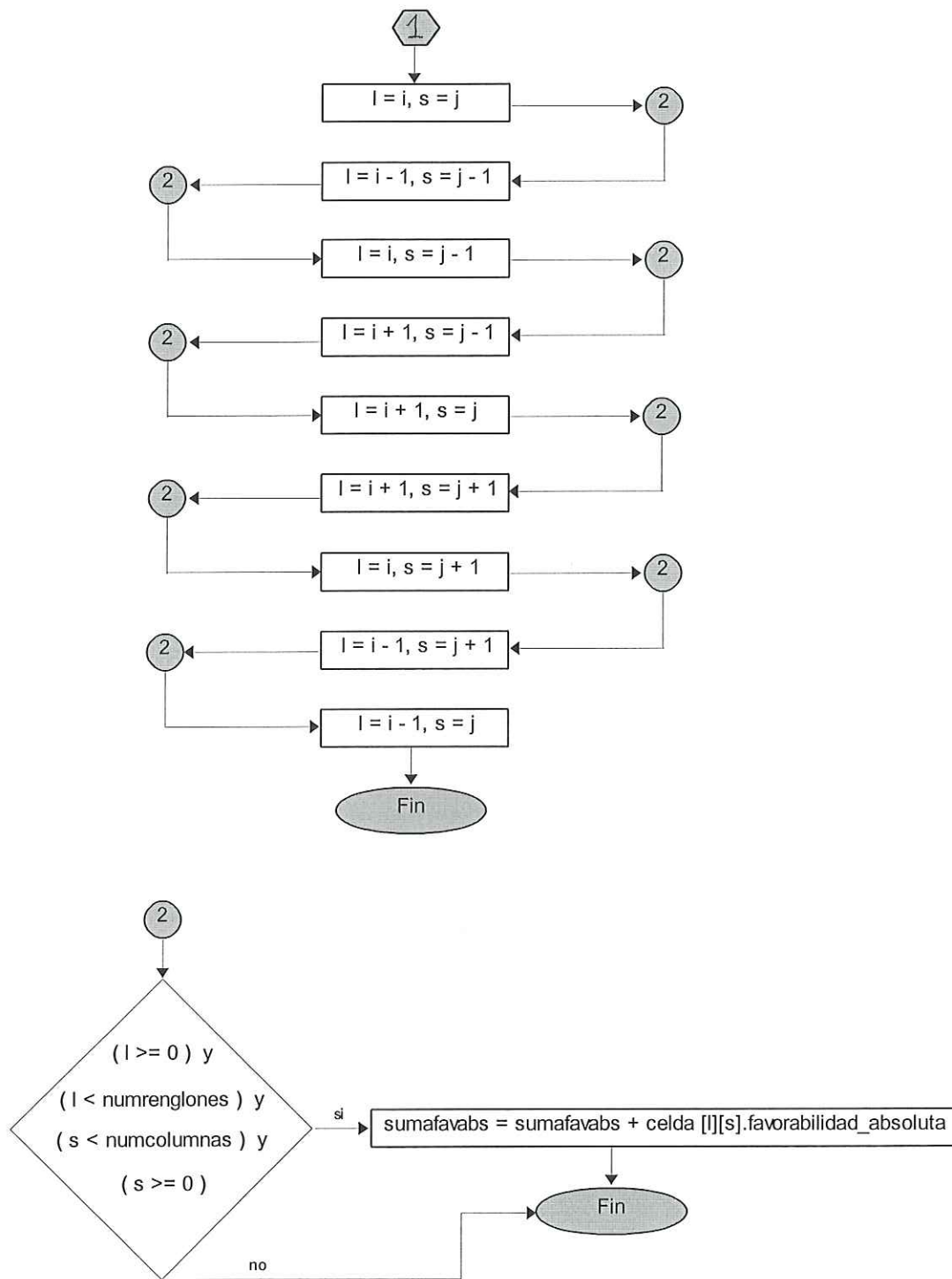


Figura 13. Diagrama de flujo que representa la función etiquetada con el número 1 en el diagrama de flujo de la figura 12. Esta función suma las favorabilidades absolutas de las celdas vecinas a la celda i, j .

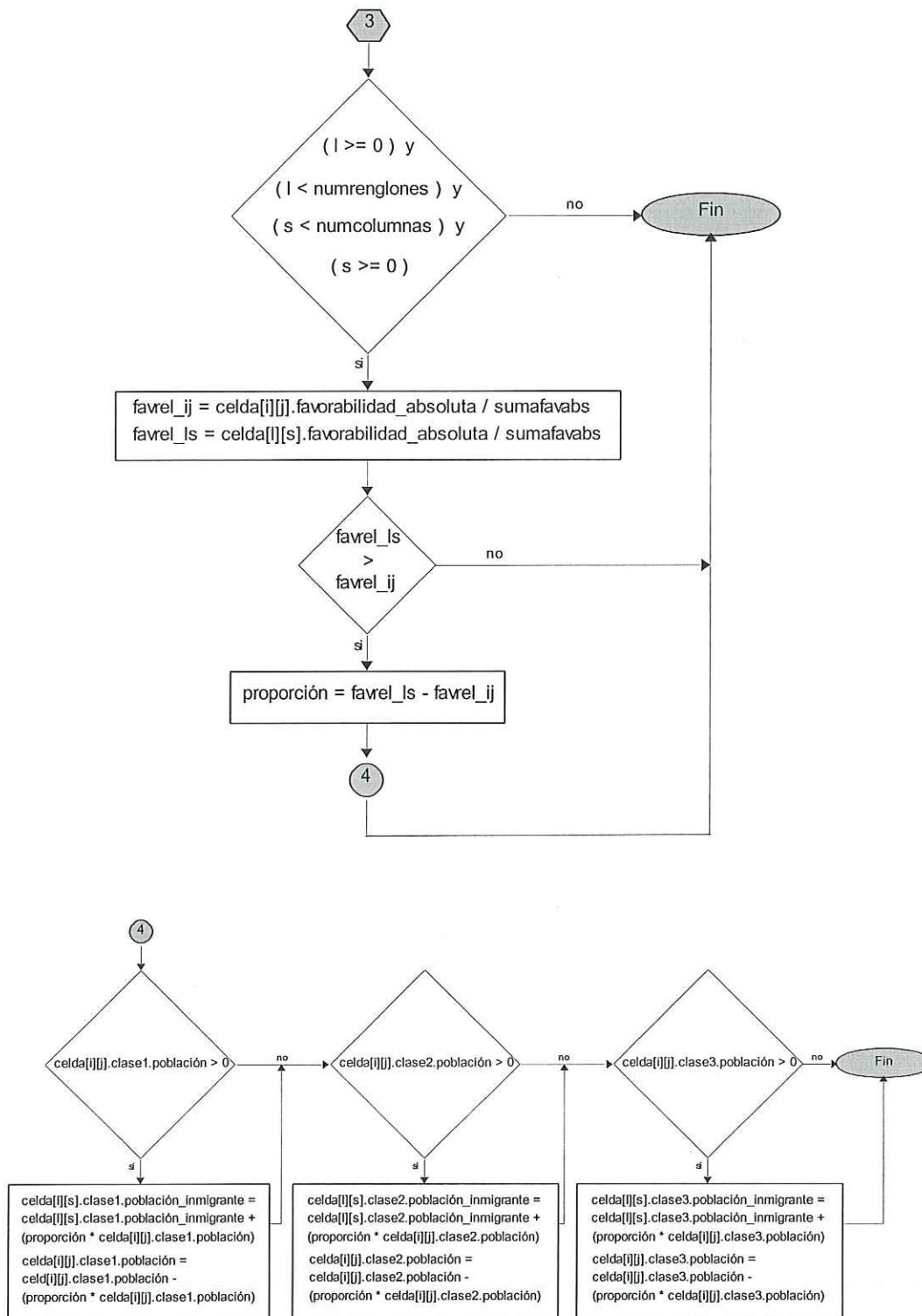


Figura 14. Diagrama de flujo que representa la función etiquetada con el número 3 en el diagrama de flujo de la figura 12. Esta función mueve una proporción de la población contenida en la celda i,j a la celda l,s .

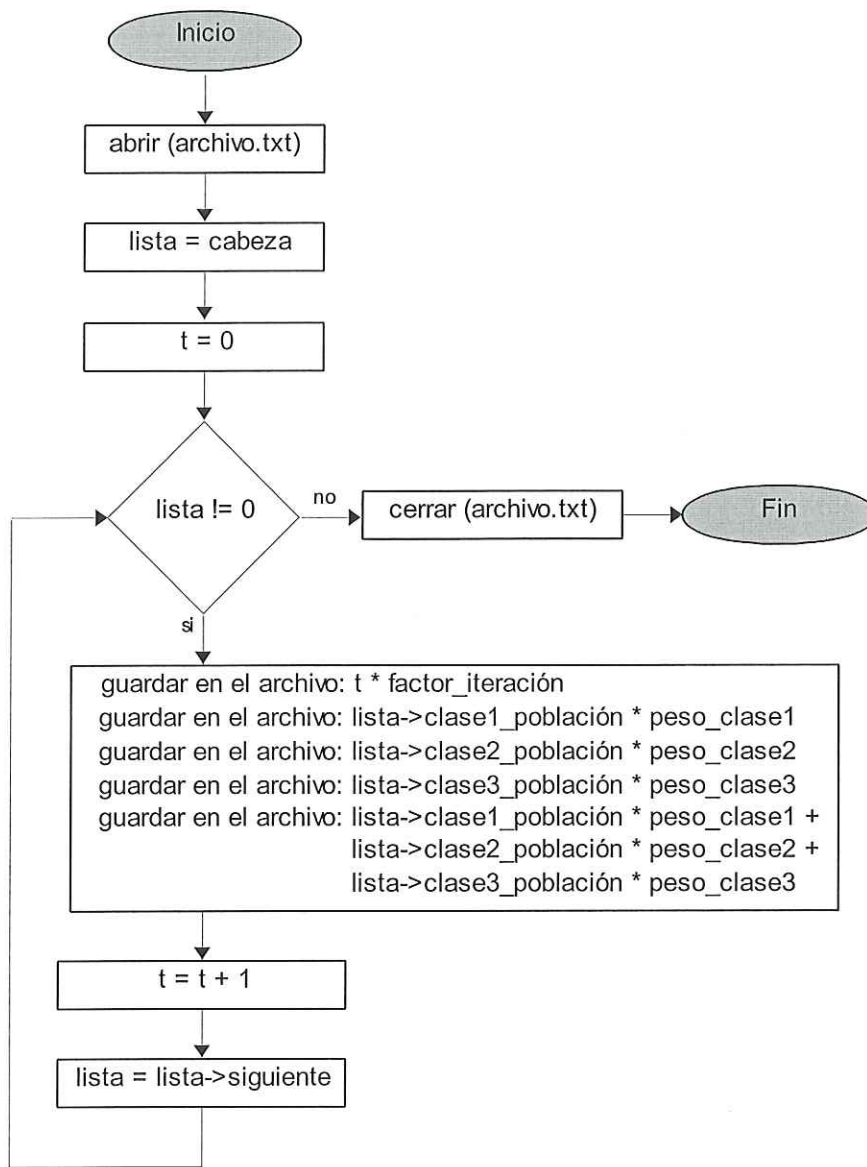


Figura 15. Diagrama de flujo que representa la función que guarda en una archivo .txt la biomasa total por clase registrada en la lista, la cual esta etiquetada con la letra **H** en el diagrama de flujo de la figura 5b.

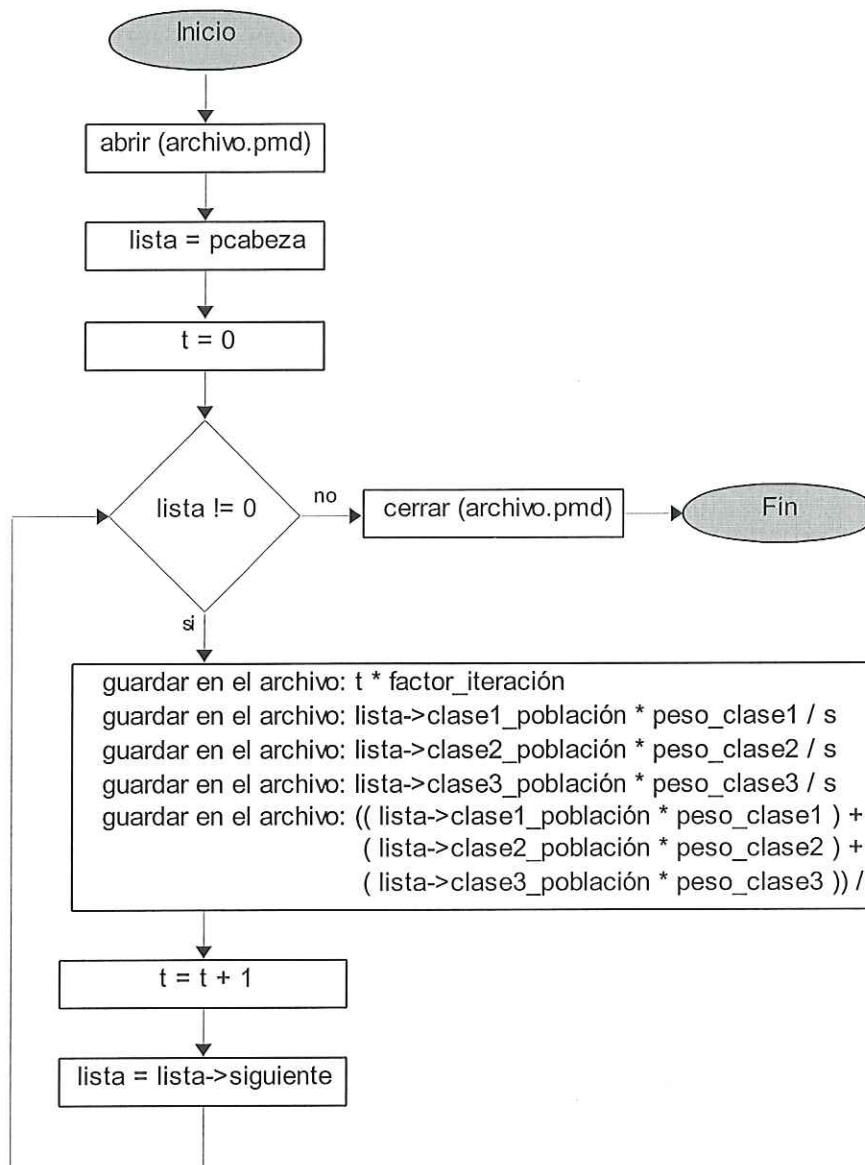


Figura 16. Diagrama de flujo que representa la función que guarda en un archivo .pmd la biomasa total promedio por clase registrada en la variable lista, la cual esta etiquetada con la letra I en el diagrama de flujo de la figura 5a.

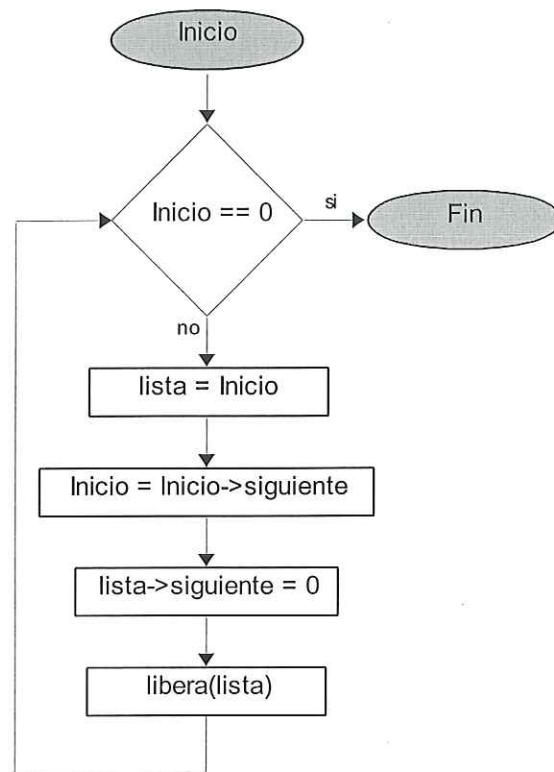


Figura 17. Diagrama de flujo que representa la función libera la memoria de la variable lista, la cual esta etiquetada con la letra **J** en los diagramas de flujo de las figuras **5a** y **5b**.

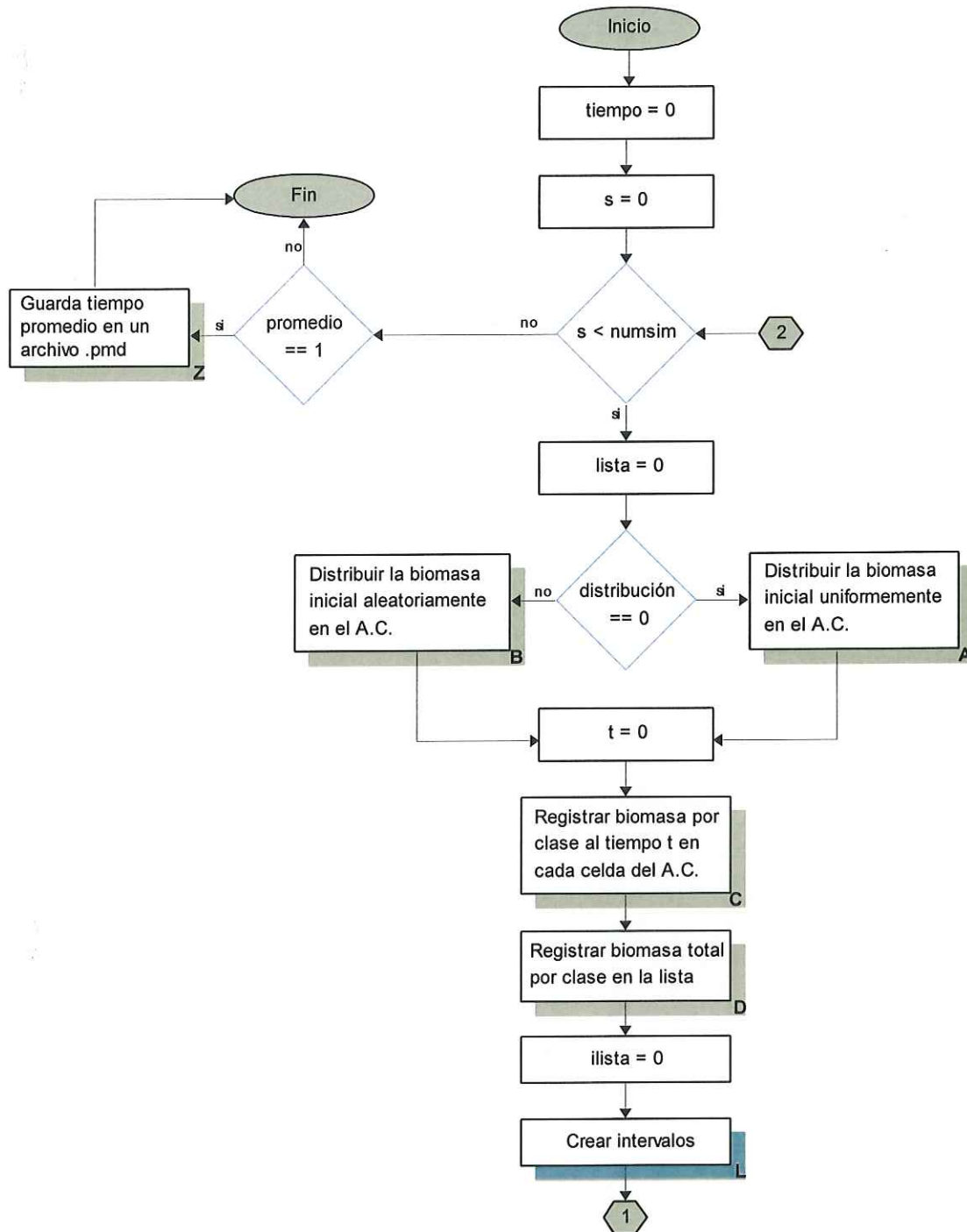


Figura 18a. Diagrama de flujo que representa la función de la dinámica de la población hasta la extinción. Los cuadros con una franja de color azul son funciones que complementan el estudio de la dinámica de la población para el análisis hasta su extinción.

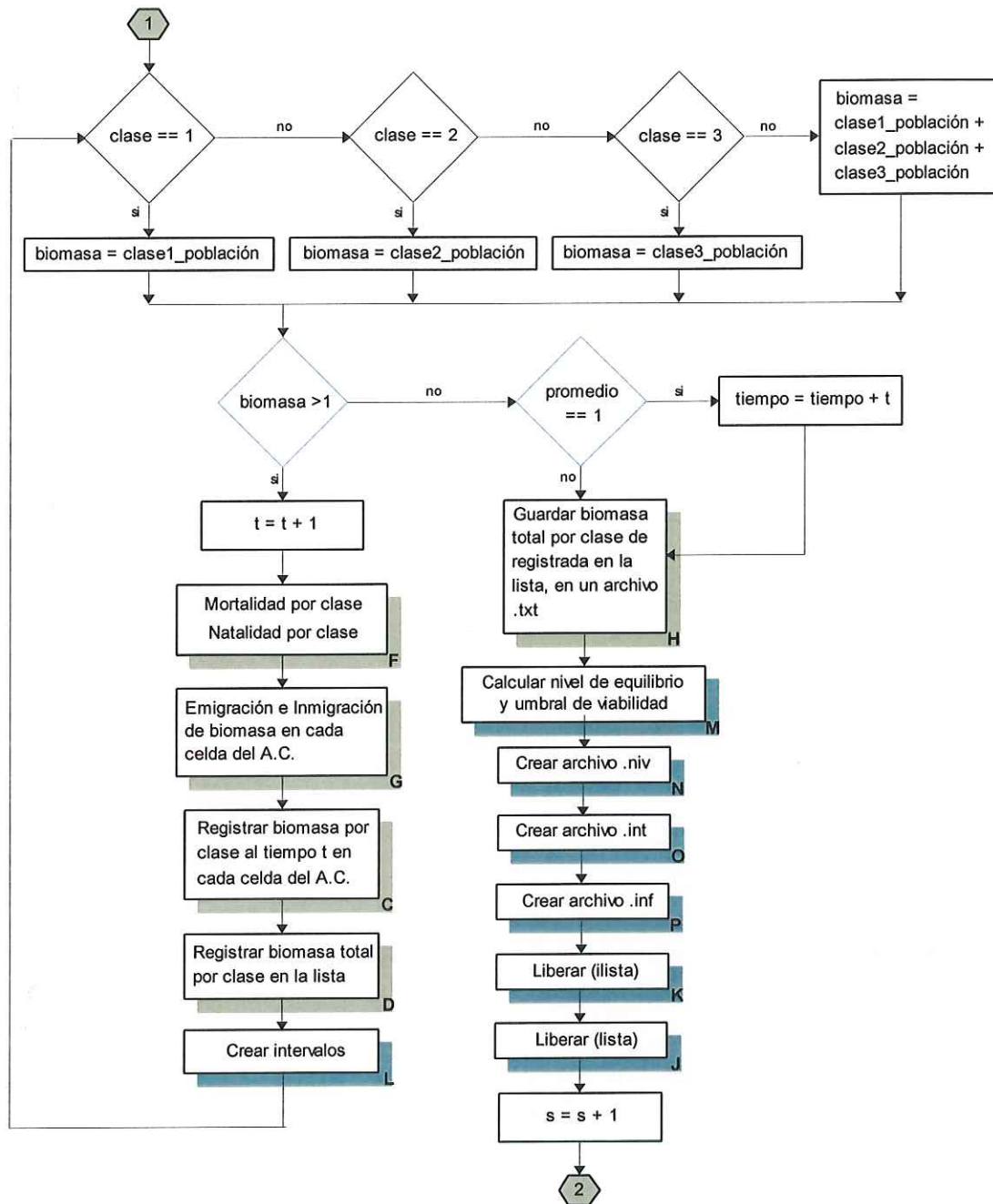


Figura 18b. Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 1 en el diagrama de la figura 18a. La etiqueta número 2 en este diagrama es la unión de la etiqueta número 2 de la figura 18a. Los cuadros con una franja de color azul son funciones que complementan el estudio de la dinámica de la población para el análisis hasta su extinción.

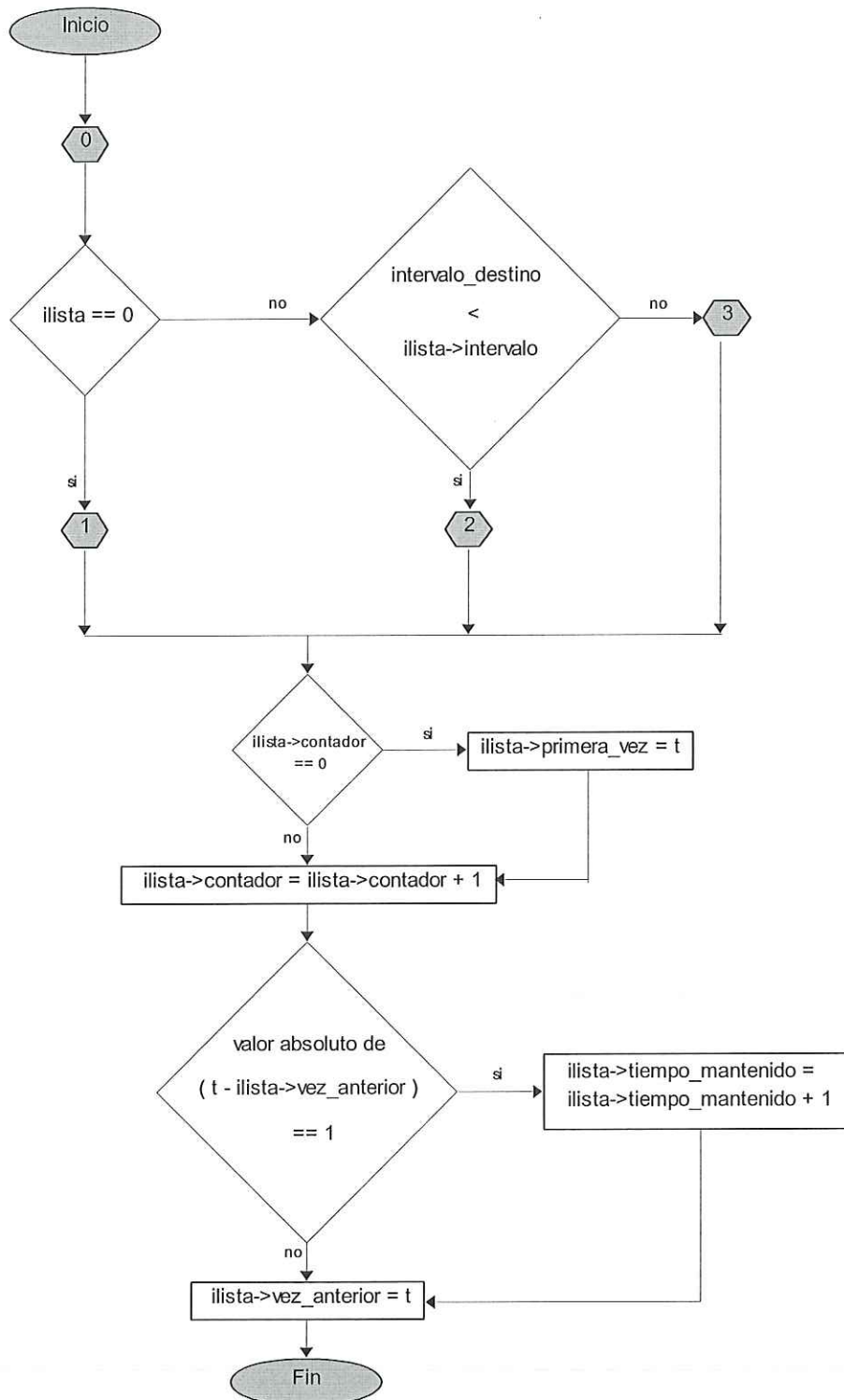


Figura 19. Diagrama de flujo que representa la función que crea intervalos, la cual esta etiquetada con la letra **L** en los diagramas de flujo de las figuras 18a y 18b.

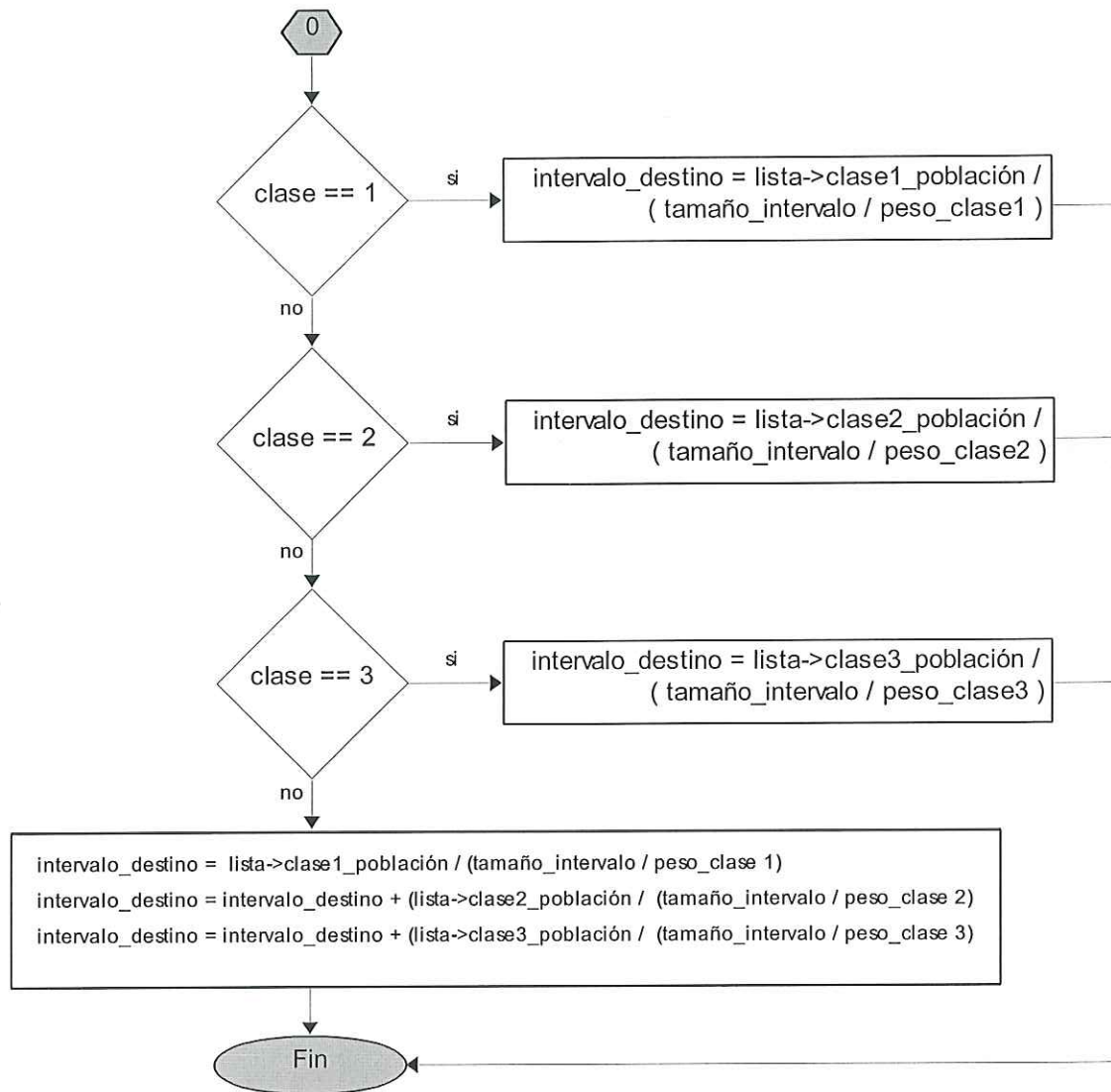


Figura 20. Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 0 en el diagrama de flujo de la figura 19.

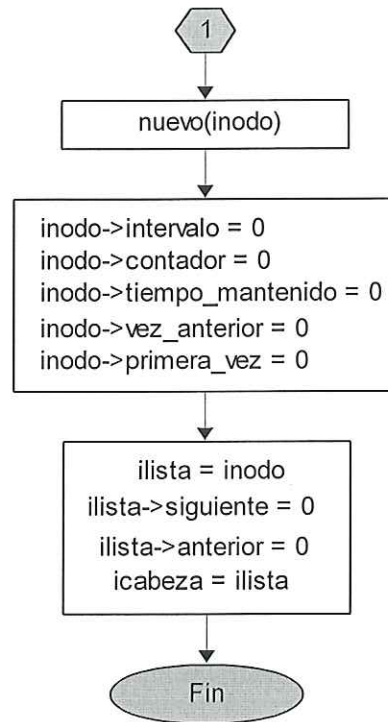


Figura 21. Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 1 en el diagrama de flujo de la figura 19.

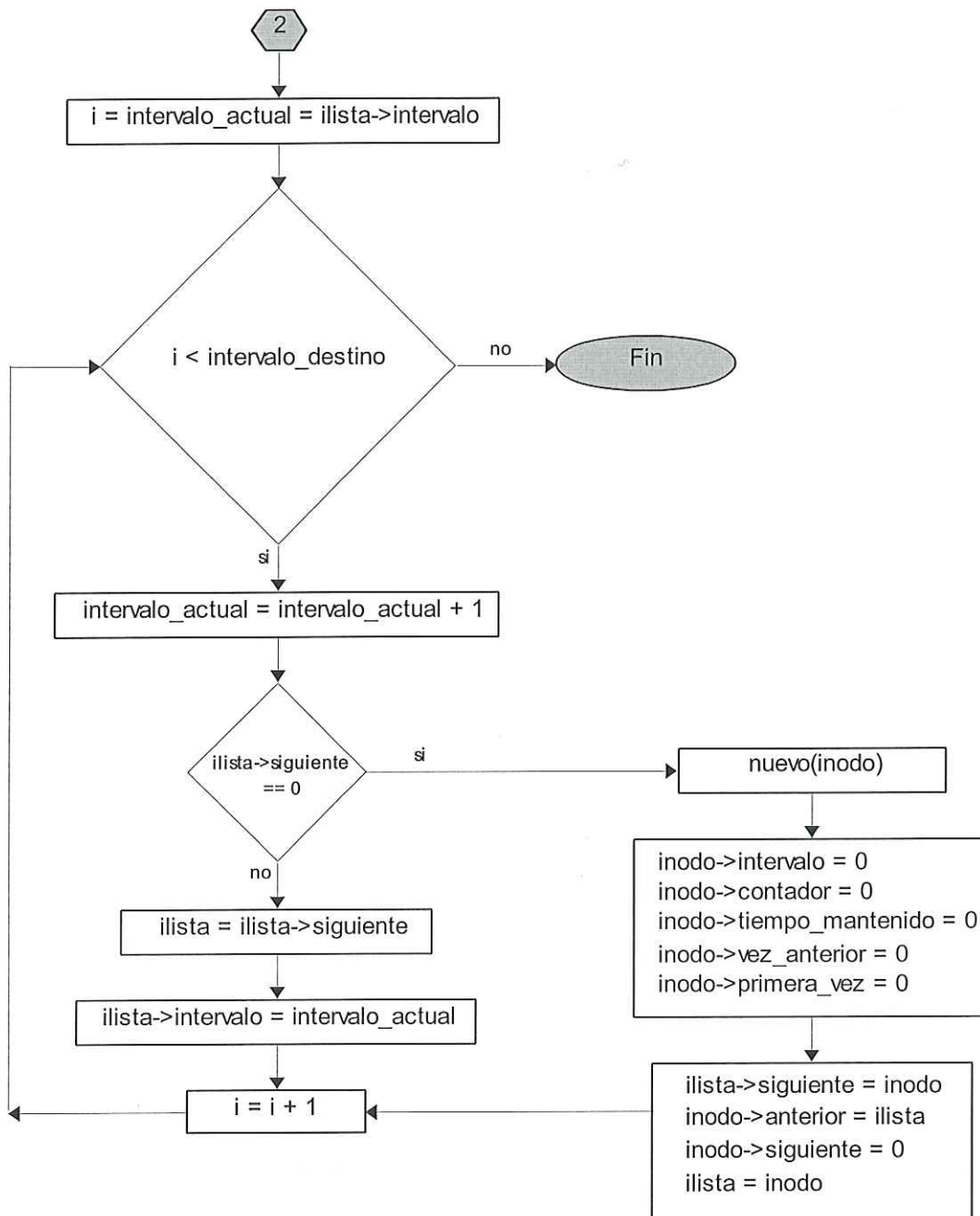


Figura 22. Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 2 en el diagrama de flujo de la figura 19.

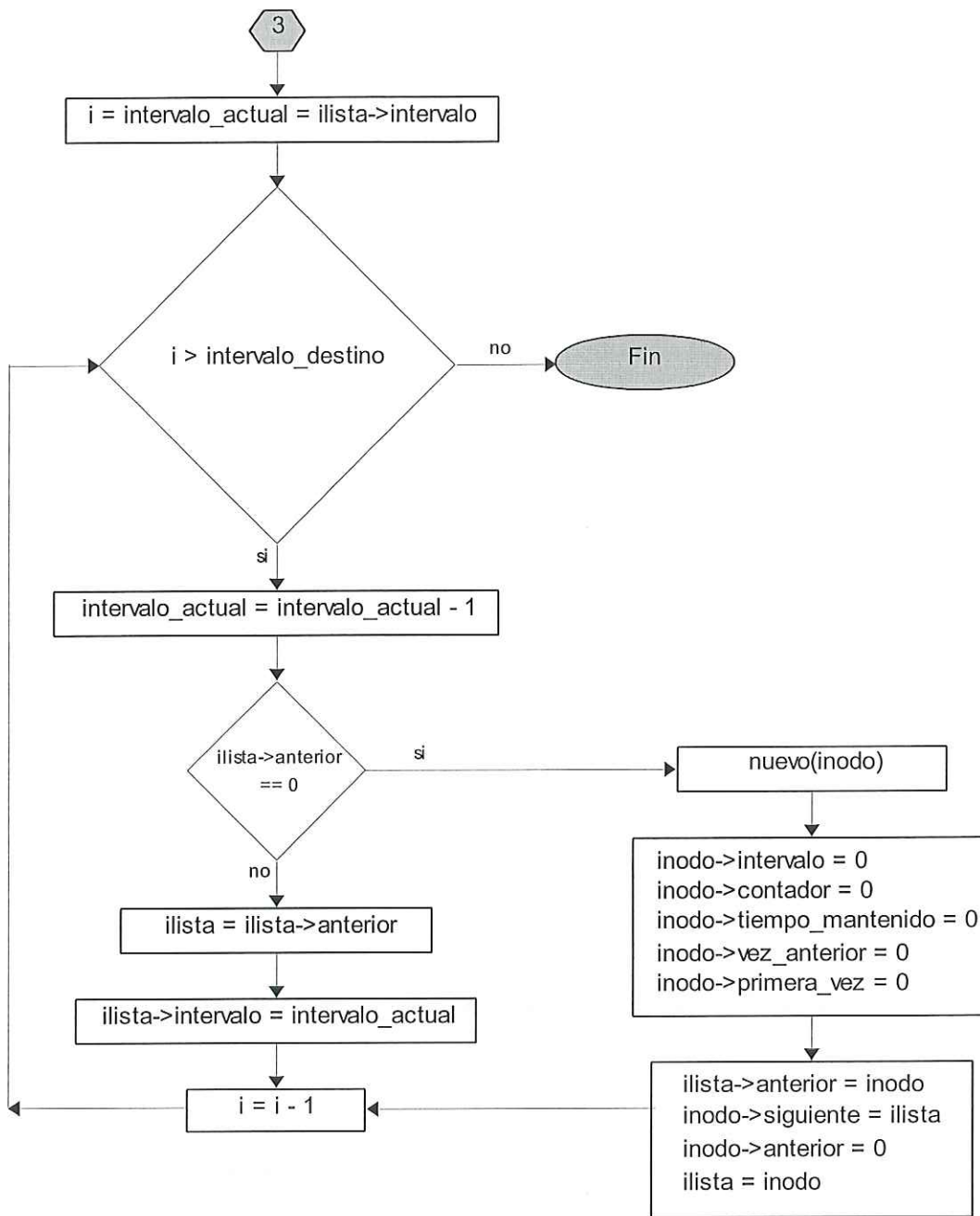


Figura 23. Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número 3 en el diagrama de flujo de la figura 19.

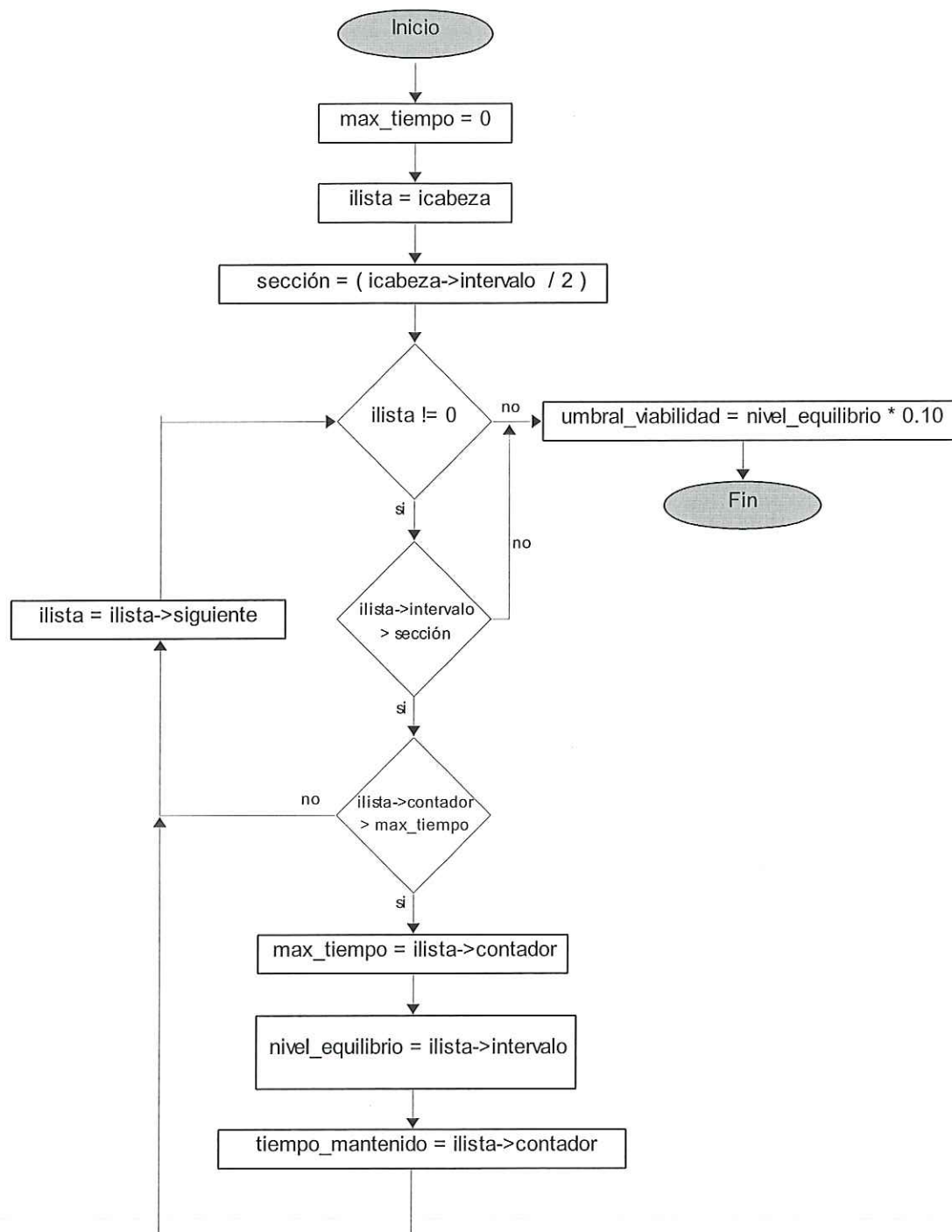


Figura 24. Diagrama de flujo que representa la función que calcula el nivel de equilibrio y umbral de viabilidad, la cual esta etiquetada con la letra **M** en el diagrama de flujo de la figura 18b.

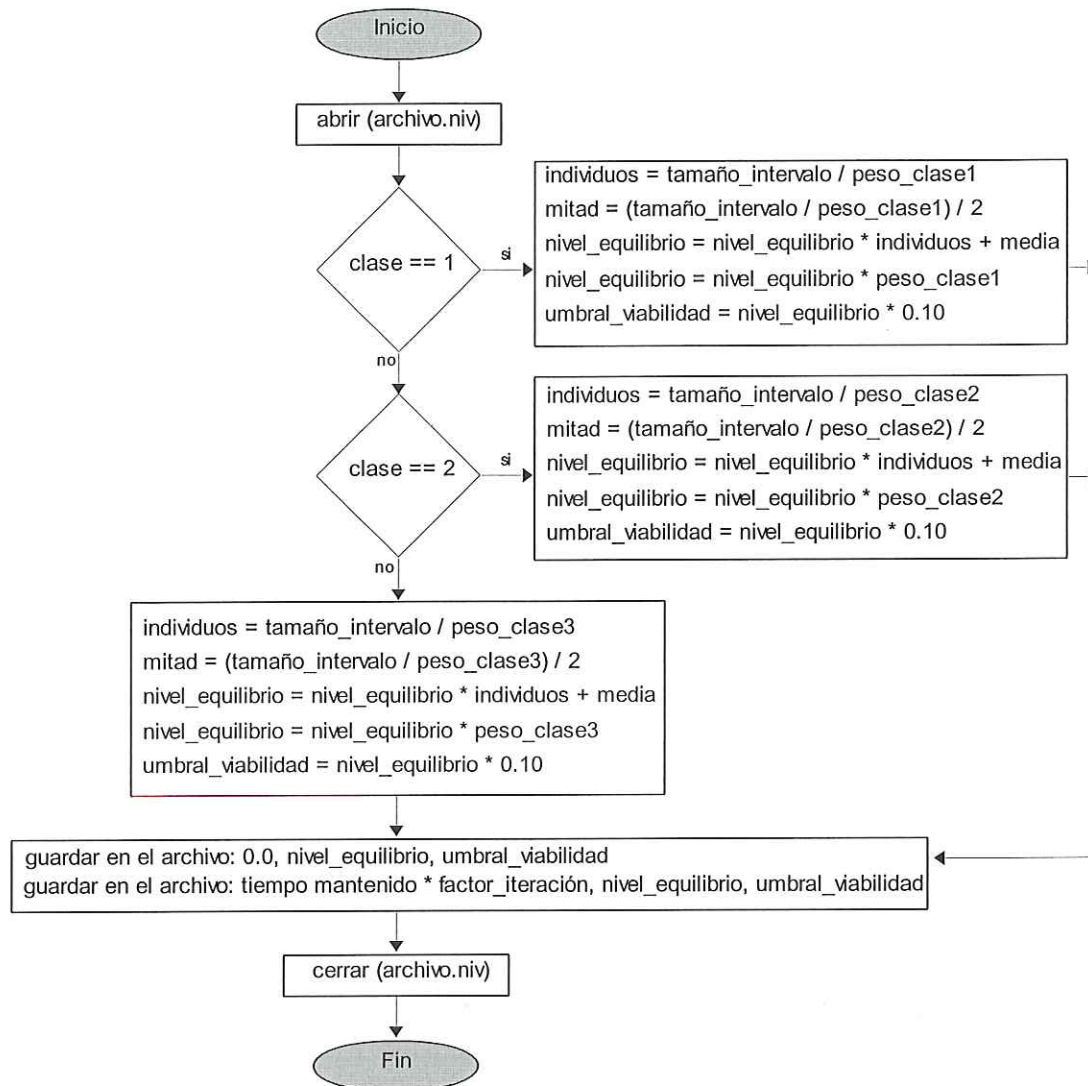


Figura 25. Diagrama de flujo que representa la función que crea el archivo .niv, la cual esta etiquetada con la letra N en el diagrama de flujo de la figura 18b.

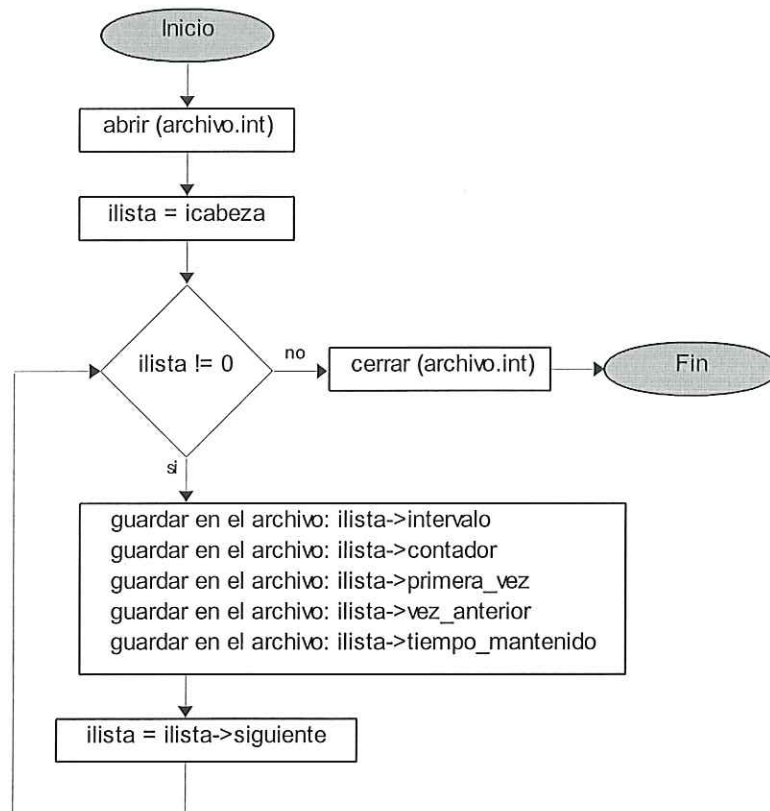


Figura 26. Diagrama de flujo que representa la función que crea el archivo .int, la cual esta etiquetada con la letra **O** en el diagrama de flujo de la figura **18b**.

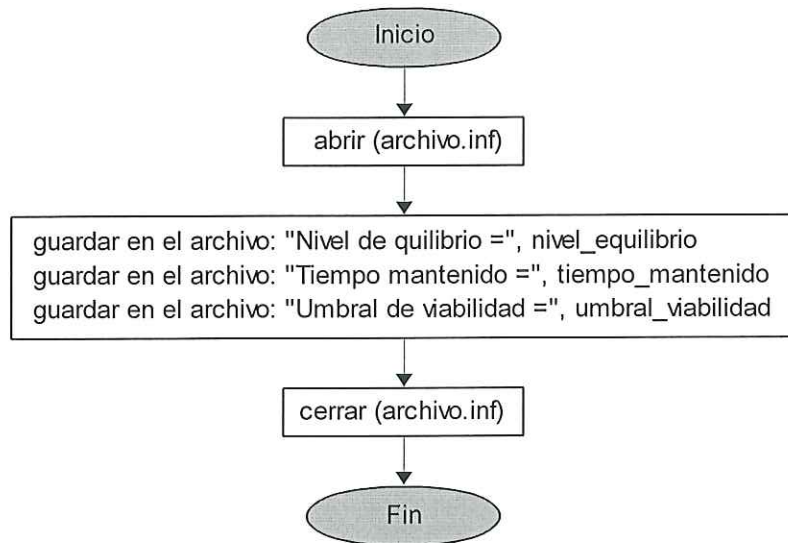


Figura 27. Diagrama de flujo que representa la función que crea el archivo `.inf`, la cual esta etiquetada con la letra **P** en el diagrama de flujo de la figura **18b**.

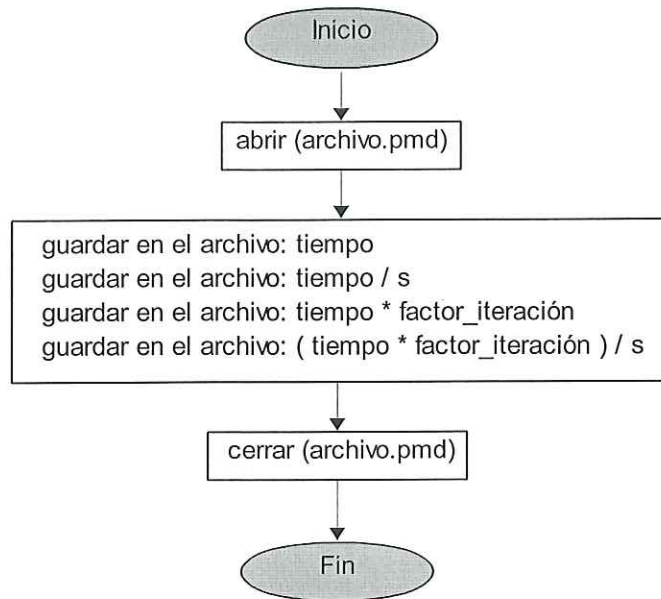


Figura 28. Diagrama de flujo que representa la función que libera la lista de intervalos, la cual esta etiquetada con la letra **Z** en el diagrama de flujo de la figura 18a.

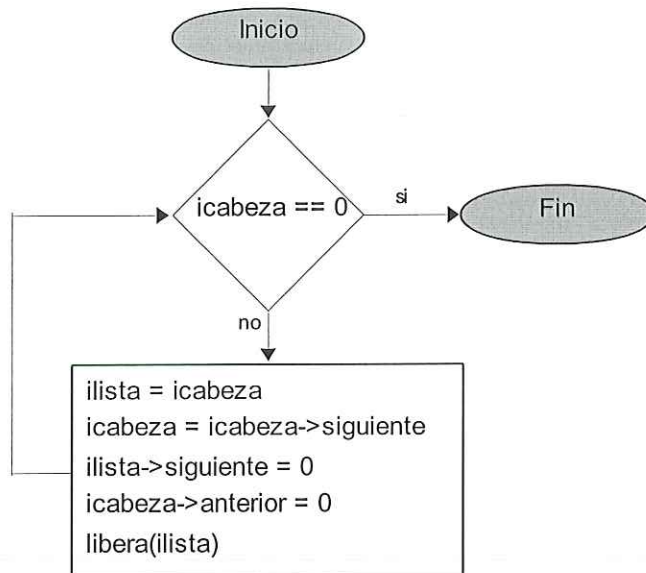


Figura 29. Diagrama de flujo que representa la función que libera la lista de intervalos, la cual esta etiquetada con la letra **K** en el diagrama de flujo de la figura 18b.

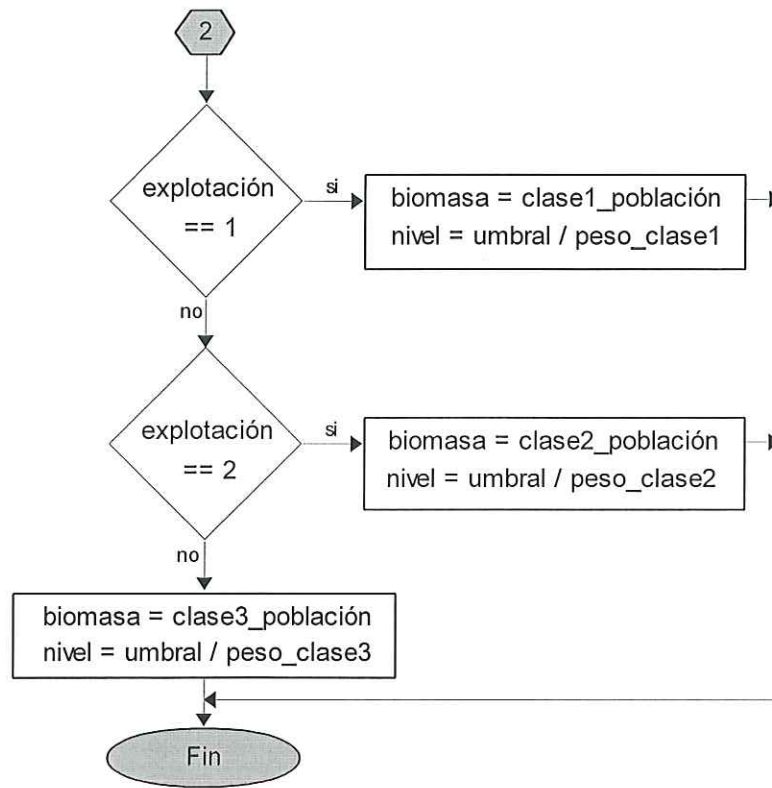


Figura 30b. Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número dos del diagrama de flujo de la figura 30.

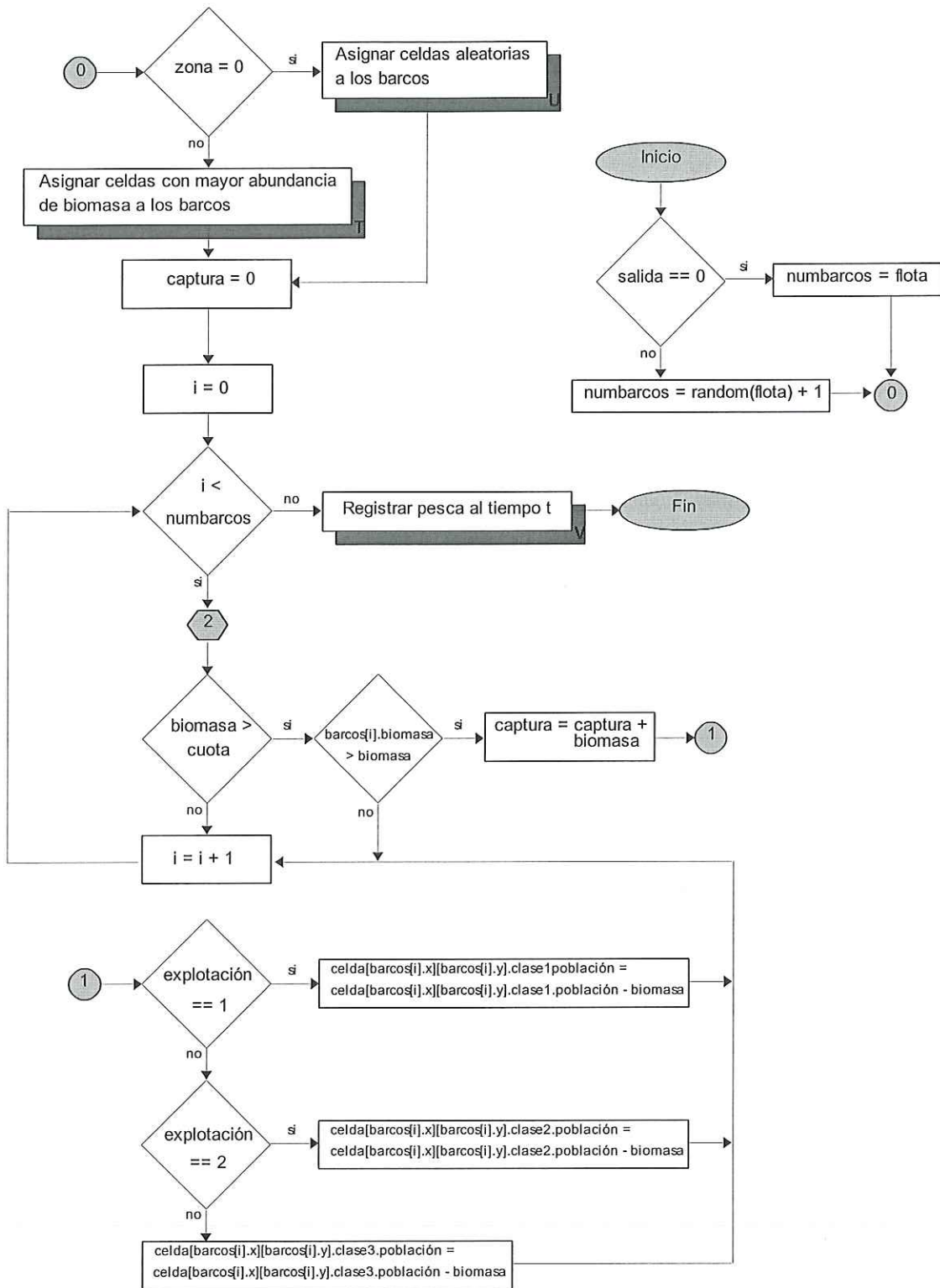


Figura 31a. Diagrama de flujo que representa el sistema de explotación, el cual está etiquetado con la letra Q en el diagrama de flujo de la figura 30.

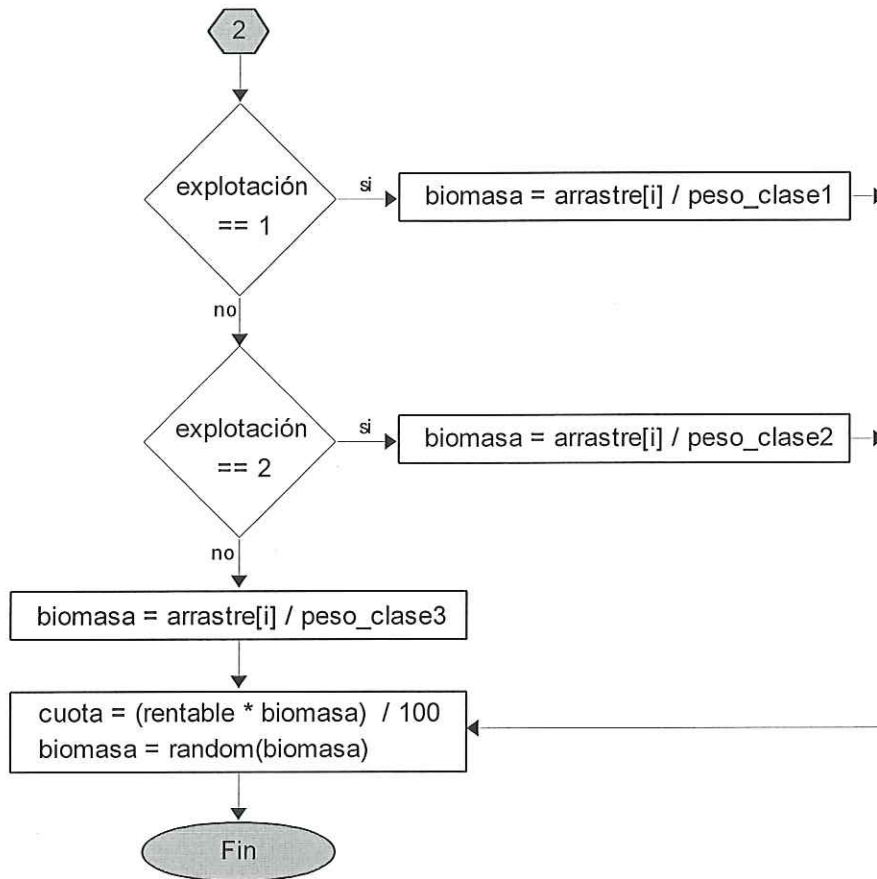


Figura 31b. Diagrama de flujo que representa la sección etiquetada con el número dos en el diagrama de flujo de la figura 31.

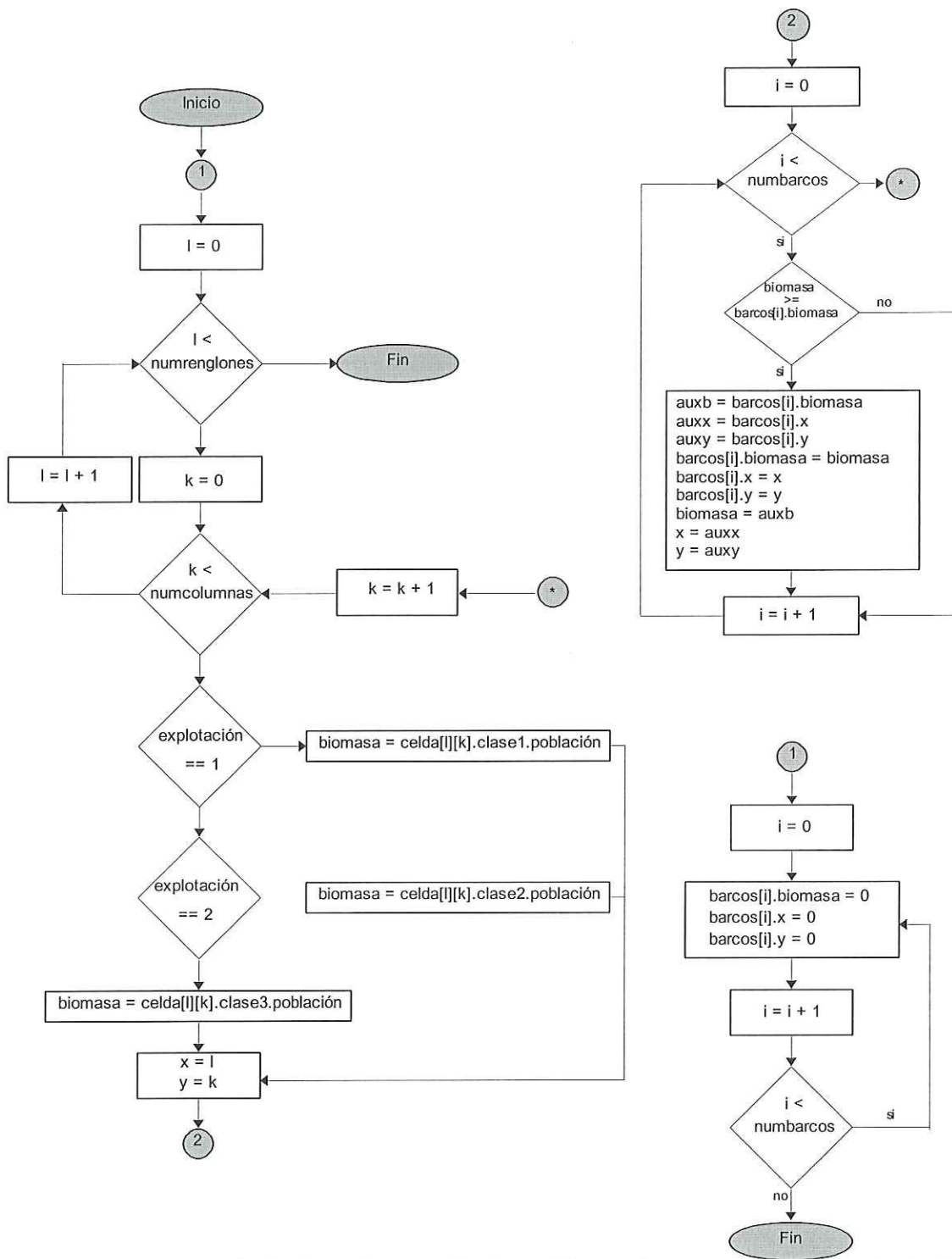


Figura 32. Diagrama de flujo que representa la función que asigna celdas con mayor abundancia de biomasa a los barcos, la cual esta etiquetada con la letra T en el diagrama de flujo de la figura 31a. Los cuadros con una franja de color rojo son funciones que integran el sistema de explotación.

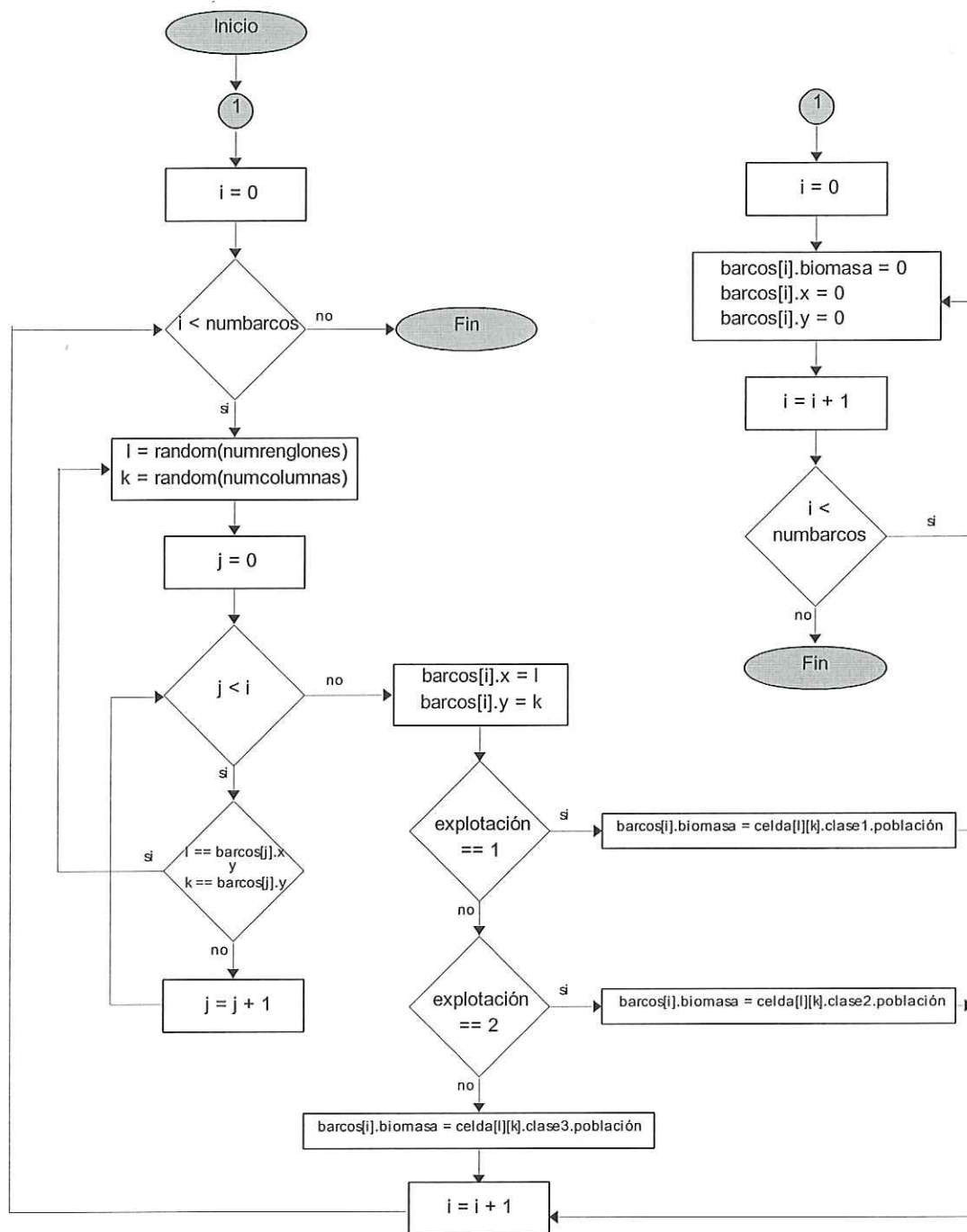


Figura 33. Diagrama de flujo que representa la función que asigna celdas aleatorias a los barcos, la cual está etiquetada con la letra **U** en el diagrama de flujo de la figura 31a.

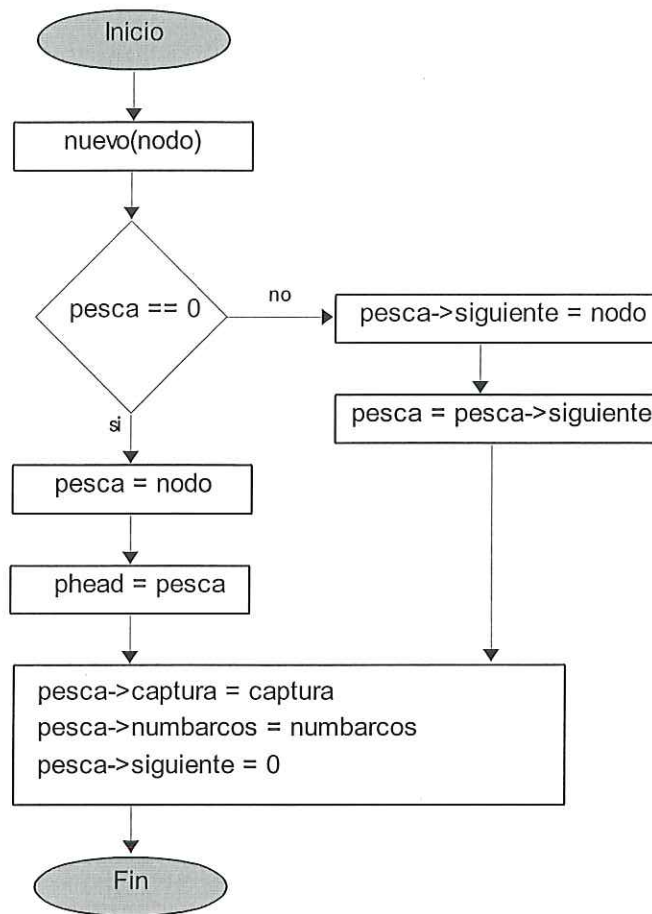


Figura 34. Diagrama de flujo que representa la función que registra la captura al tiempo t , la cual esta etiquetada con la letra **V** en el diagrama de flujo de la figura 31a.

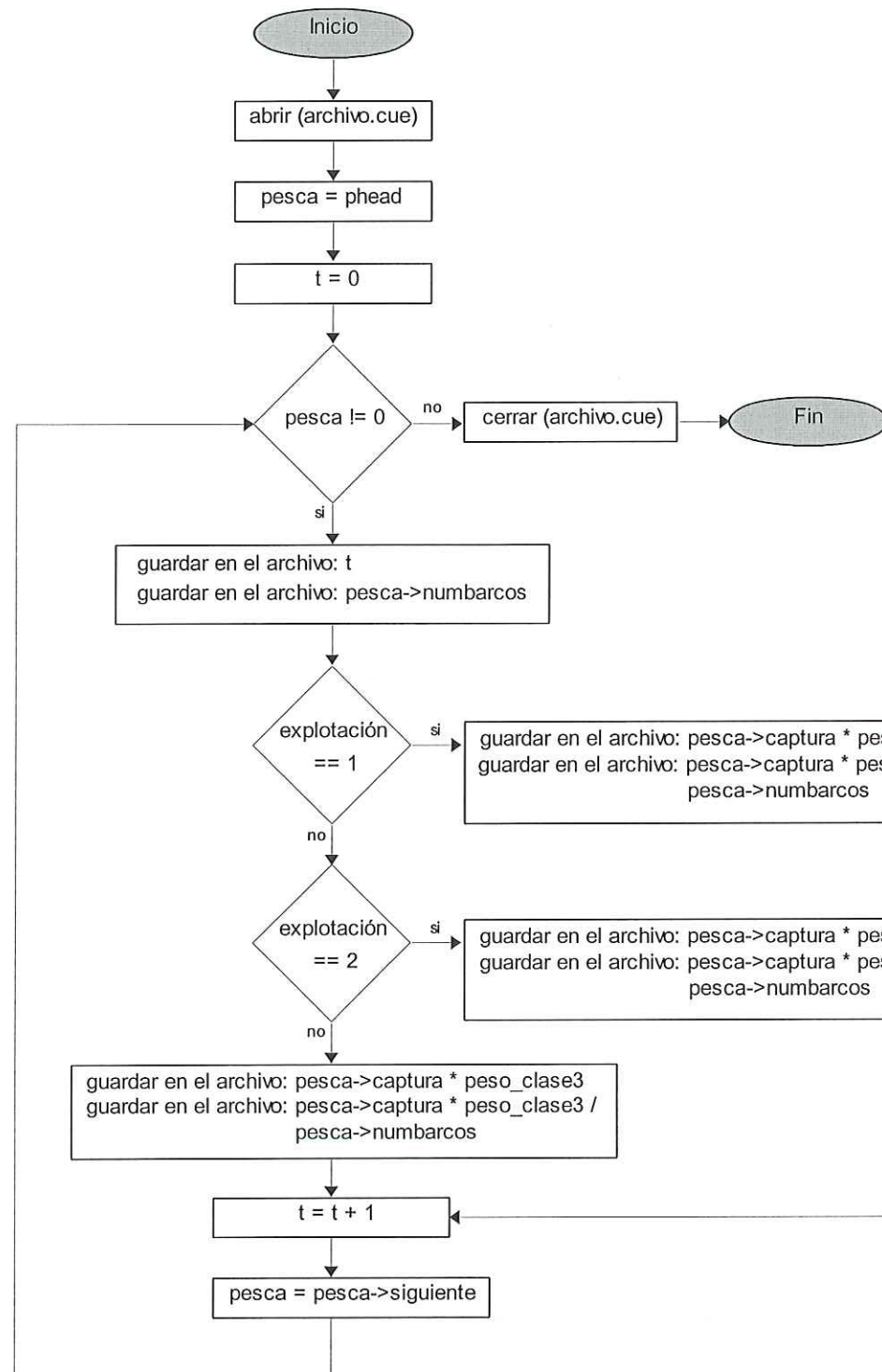


Figura 35. Diagrama de flujo que representa la función que guarda en un archivo, con formato texto y extensión .txt, la captura registrada en la lista pesca, la cual esta etiquetada con la letra **R** en el diagrama de flujo de la figura 30a.

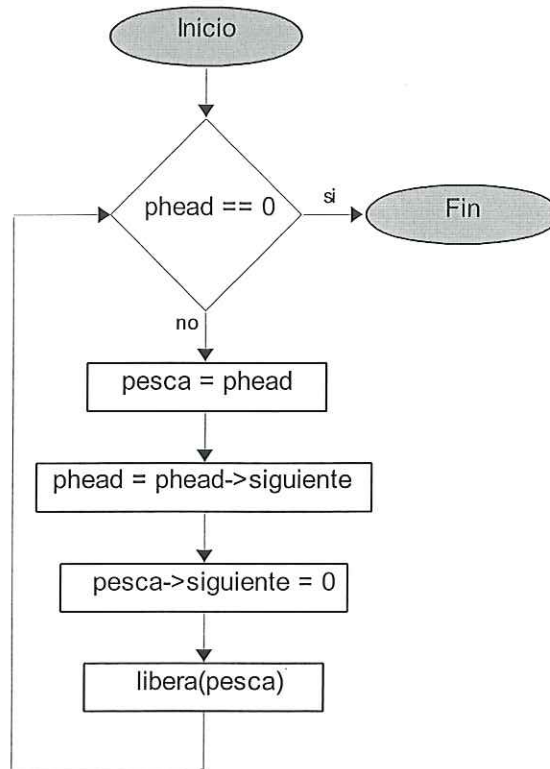


Figura 36. Diagrama de flujo que representa la función que libera la lista en donde se registraron las capturas durante toda la simulación, la cual esta etiquetada con la letra **S** en el diagrama de flujo de la figura 30a.

V.3 Definición de variables globales y locales, registros globales y variables de entrada y de salida.

Algunos de estos diagrama de flujo tienen variables de entrada, de salida y locales. Estos mismos diagramas de flujo, vistos como funciones que integran el simulador de dinámica poblacional, manejan registros y variables globales. Las tablas **Ia** y **Ib** muestran la declaración de los registros globales con su conjunto de variables y el tipo de dato que les corresponde, además se hace una descripción del uso o contenido de dichas variables.

Tabla Ia. Declaración de registros globales.

Registro	Variables	Tipo de dato	Descripción
BIOMASA	clase1_población	número entero largo	biomasa de la clase uno.
	clase2_población	número entero largo	biomasa de la clase dos.
	clase3_población	número entero largo	biomasa de la clase tres.
	siguiente	apuntador al registro biomasa	apuntador que enlaza dos registros.
PARÁMETROS	biomasa_inicial	Número entero largo	Biomasa inicial.
	numrenglones	Número entero	Número de renglones
	numcolumnas	Número entero	Número de columnas
	peso_clase1	Número real	Peso en toneladas de la clase1
	peso_clase2	Número real	Peso en toneladas de la clase2
	peso_clase3	Número real	Peso en toneladas de la clase3
	factor_obaservación	Número entero	Periodo de tiempo en el que tomara una muestra.
	factor_iteración	Número real	Periodo de tiempo en el que se dará la dinámica de la población.
	tiempo	Número entero largo	Tiempo que iterará una simulación.
	promedio	Caracter	Indica si hay que obtener un promedio de la biomasa generada en cada una de las simulaciones realizadas.
	numsim	Número entero	Número de simulaciones que se realizarán
	distribución	Caracter	Indica si la distribución de la biomasa inicial sobre el A.C. será uniforme o aleatoria.
	clase	Caracter	Indicador de la clase de individuos que se analizarán hasta su extinción
tamaño_intervalo	Numero entero largo	Número de individuos que contiene un intervalo.	
CLASE	población	Número entero largo	Número de individuos
	población_inmigrante	Número entero largo	Biomasa que emigró de celdas vecinas.
RETÍCULA	favorabilidad_absoluta	Número real	Favorabilidad absoluta de la celda.
	clase1	Registro clase	Variable que maneja al registro calse.
	clase2	Registro clase	Variable que maneja al registro calse.
	clase3	Registro clase	Variable que maneja al registro calse.

Tabla Ib. Declaración de registros globales.

Registro	VARIABLES	Tipo de dato	Descripción
SECCIÓN	intervalo	Número entero largo	Número del intervalo.
	contador	Número entero largo	Número de veces en el cual la biomasa ha estado en el intervalo.
	tiempo_mantenido	Número entero largo	Tiempo durante el cual se ha mantenido la biomasa en ese intervalo.
	vez_anterior	Número entero largo	Instante de tiempo en el cual la biomasa estuvo la vez anterior en el intervalo
	primera_vez	Número entero largo	Instante de tiempo en el cual la biomasa estuvo por primera vez en el intervalo.
	siguiente	Apuntador al registro SECCIÓN	Variable apuntadora que enlaza un registro con otro.
REGISTRO	captura	Número entero largo	Biomasa capturada entre todos los barcos al tiempo t .
	numbarcos	Número entero largo	Número de barcos que participaron en la pesca al tiempo t .
	siguiente	Apuntador al registro REGISTRO.	Variable apuntadora que enlaza un registro con otro.
PMT_EXP	periodo	Número entero largo	Tiempo de explotación
	umbral	Número entero largo	Indica la biomasa limite sostenible durante la pesca.
	zona	Caracter	Indica si los barcos saldrán a pescar a zonas aleatorias o a zonas con mayor abundancia de biomasa.
	salida	Caracter	Indica si el número de barcos que salen a pescar es constante o aleatorio.
	flota	Número entero	Número de barcos.
	rentable	Número real	Porcentaje de biomasa a ser considerada como pesca por barco
	explotación	Caracter	Indica la clase bajo explotación
UNIDAD	biomasa	Número entero largo	Biomasa de la n clase la celda[i][j].
	x	Número entero	Número del renglón del A.C.
	y	Número entero	Número del la columna del A.C.

La tabla II muestra la declaración de las variables globales con el tipo de dato que les corresponde y una descripción de su uso o contenido en el simulador de dinámica poblacional.

Tabla II. Declaración de variables globales.

Variable	Tipo de dato	Descripción
cabeza	Apuntador al registro BIOMASA	Contiene el primer registro de la variable lista.
lista	Apuntador al registro biomasa	Contiene una lista de registros los cuales contienen la población por clases de edad en cada instante de tiempo.
pcabeza	Apuntador al registro BIOMASA	Contiene el primer registro de la variable población.
población	Apuntador al registro BIOMASA	Contiene una lista de registros los cuales contienen la población total por clase en cada instante de tiempo acumulada por simulación.
celda	Registro RETÍCULA	Arreglo de tamaño de num renglones por num columnas.
clase1_población	Número entero largo	Población de la clase uno en un tiempo.
clase2_población	Número entero largo	Población de la clase dos en un tiempo.
clase3_población	Número entero largo	Población de la clase tres en un tiempo.
ilista	Apuntador al registro SECCIÓN	Contiene una lista de registros.
icabeza	Apuntador al registro SECCIÓN	Contiene el primer registro de la lista ilista.
tiempo_mantenido	Numero entero largo	-----
nivel_equilibrio	Numero entero largo	-----
umbral_viabilidad	Número entero largo	-----
pesca	Apuntador al registro REGISTRO	Contiene una lista de registros los cuales contienen las capturas de una temporada de pesca.
phead	Apuntador al registro REGISTRO	Contiene el primer registro de la variable pesca.
arrastre	Apuntador a un número real	Arreglo de datos que representan la capacidad de arrastre de cada uno de los barcos de la flota pesquera.

Las siguientes tablas contienen las variables declaradas en cada una de las funciones representadas por un diagrama de flujo. Las tablas indican el nombre de la variable, el tipo de dato, y en la columna **P** se indica si la variable es local, de entrada o de salida. Además, se hace una descripción del uso o contenido de cada variable. En los títulos de tablas se hace referencia al número de la figura que contiene el diagrama de flujo.

Tabla III. Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras **5a** y **5b**.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
s	Número entero	Local	Contador de simulaciones
t	Número entero largo	Local	Contador de tiempo de iteración
biomasa	Número entero largo	Local	Biomasa total al tiempo t

Tabla IV. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura **6**, **tm** significa toneladas métricas.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
biomasa	Número real	Local	Biomasa en tm
i	Numero entero	Local	Contador de renglones
j	Número entero	Local	Contador de columnas
random	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla V. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura **7**, **tm** significa toneladas métricas.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
factor	Número real	Local	Acumulador de favorabilidades
i	Número entero	Local	Contador de renglones
j	Número entero	Local	Contador de columnas
biomasa	Número real	Local	Biomasa en tm
favorabilidad_absoluta_clase1	Número real	Local	-----
favorabilidad_absoluta_clase2	Número real	Local	-----
favorabilidad_absoluta_clase3	Número real	Local	-----
favorabilidad_relativa	Número real	Local	-----

Tabla VI. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 8.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
i	Número entero	Local	Contador de renglones
j	Número entero	Local	Contador de columnas

Tabla VII. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 9.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
residuo	-----	-----	Función interna del compilador
nuevo	-----	-----	Función interna del compilador
t	Número entero largo	Entrada	Tiempo de iteración
nodo	Apuntador al registro BIOMASA	Local	-----

Tabla VIII. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 10.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
residuo	-----	-----	Función interna del compilador
nodo	Apuntador al registro BIOMASA	Local	-----

Tabla IX. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 11.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
i	Número entero	Local	Contador de renglones
j	Número entero	Local	Contador de columnas
nacen_clase1	Número entero largo	Local	Población que nace de la clase uno
nacen_clase2	Número entero largo	Local	Población que nace de la case dos
nacen_clase3	Número entero largo	Local	Población que nace de la clase tres
mueren_clase1	Número entero largo	Local	Población que muere de la clase uno
mueren_clase2	Número entero largo	Local	Población que muere de la case dos
mueren_clase3	Número entero largo	Local	Población que muere de la clase tres
random	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla X. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 12.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
i	Número entero	Local	Contador de renglones
j	Número entero	Local	Contador de columnas
sumafavabs	Número real	Local	-----
l	Número entero	Local	Número de renglón
s	Número entero	Local	Número de columna

Tabla XI. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 13.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
i	Número entero	Entrada	Número de renglón
j	Número entero	Entrada	Número de columna
sumafavabs	Apuntador a un número real	Entrada	-----
l	Número entero	Local	Número de renglón
s	Número entero	Local	Número de columna

Tabla XII. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 14.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
sumafavabs	Apuntador a un número real	Entrada	Suma de las favorabilidades absolutas de las celdas vecinas a la celda[i][j]
i	Número entero	Entrada	Número de renglón
j	Número entero	Entrada	Número de columna
l	Número entero	Entrada	Número de renglón
s	Número entero	Entrada	Número de columna
favrel_ij	Número real	Local	Favorabilidad relativa de la celda[i][j]
favrel_ls	Número real	Local	Favorabilidad relativa de la celda[l][s]
proporción	Número real	Local	-----

Tabla XIII. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 15.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
t	Número entero largo	Local	Contador de tiempo de iteración
abrir	-----	-----	Función interna del compilador
cerrar	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla XIV. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 16.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
s	Número entero largo	Entrada	Número de simulación
t	Número entero largo	Local	Contador de tiempo de iteración
abrir	-----	-----	Función interna del compilador
cerrar	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla XV. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 17.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
inicio	Apuntador al registro BIOMASA	Local	-----
libera	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla XVI. Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras 18a y 18b.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
tiempo	Número entero largo	Local	Contador de tiempos de extinción
s	Número entero	Local	Contador de simulaciones
t	Número entero largo	Local	Contador de tiempo de iteración
biomasa	Número entero largo	Local	Biomasa total al tiempo t

Tabla XVII. Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras 19 a la 23.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
intervalo_destino	Número entero largo	Local	Número del intervalo destino
tamaño_intervalo	Número entero	Local	Tamaño del intervalo
intervalo_actual	Número entero largo	Local	Número del intervalo actual
inodo	Apuntador al registro sección	Local	-----
nuevo	-----	-----	Función interna del compilador
valor_absoluto	-----		Función interna del compilador
i	Número entero largo	Local	Contador de intervalos

Tabla XVIII. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 24.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
sección	Número entero largo	Local	Intervalo intermedio
max_tiempo	Número entero largo	Local	-----

Tabla XIX. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 25.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
individuos	Número entero largo		Individuos en un intervalo
mitad	Número entero largo		Mitad de individuos en un intervalo
abrir	-----	-----	Función interna del compilador
cerrar	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla XX. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 26.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
abrir	-----	-----	Función interna del compilador
cerrar	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla XXI. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 27.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
abrir	-----	-----	Función interna del compilador
cerrar	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla XXII. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 28.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
abrir	-----	-----	Función interna del compilador
cerrar	-----	-----	Función interna del compilador
tiempo	Número entero largo	Entrada	Tiempo de extinción acumulado
s	Numero entero	Entrada	Número de simulaciones

Tabla XXIII. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 29.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
libera	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla XXIV. Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras 30a y 30b.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
t	Número entero largo	Local	Contador de tiempo de iteración
nivel	Número entero largo	Local	Biomasa de una clase de edad.
biomasa	Número entero largo	Local	Biomasa total al tiempo t

Tabla XXV. Declaración de variables en los diagramas de flujo de las figuras 31a y 31b.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
i	Número entero largo	Local	Contador de barcos
numbarcos	Número entero largo	Local	Número de barcos
captura	Número entero largo	Local	Número de individuos
t	Número entero largo	Entrada	Tiempo
cuota	Número entero largo	Local	Biomasa rentable
biomasa	Número entero largo	Local	Biomasa total al tiempo t

Tabla XXVI. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 32.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
i	Número entero largo	Local	Contador de barcos
biomasa	Número entero largo	Local	Biomasa
numbarcos	Número entero largo	Entrada	Número de barcos
l	Número entero	Local	Contador de renglones
k	Número entero	Local	Contador de columnas
x	Número entero	Local	Número de renglón
y	Número entero	Local	Número de columna
auxx	Número entero	Local	Auxiliar de la variable x
auxy	Número entero	Local	Auxiliar de la variable y
auxb	Número entero	Local	Auxiliar de la variable biomasa

Tabla XXVII. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 33.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
i	Número entero largo	Local	Contador de barcos
j	Número entero largo	Local	Contador de barcos
numbarcos	Número entero largo	Entrada	Número de barcos
l	Número entero	Local	Número de renglón
k	Número entero	Local	Número de columna
random	-----	-----	Función interna del compilador

Tabla XXVIII. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 34.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
nodo	Apuntador al registro REGISTRO	Local	-----

Tabla XXIX. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 35.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
abrir	-----	-----	Función interna del compilador
cerrar	-----	-----	Función interna del compilador
t	Número entero largo	Local	Contador de tiempo de iteración

Tabla XXX. Declaración de variables en el diagrama de flujo de la figura 36.

Variable	Tipo de dato	P	Descripción
libera	-----	-----	Función interna del compilador

Algunos diagramas de flujo manejan variables que no están declaradas en sus respectivas tablas. Esto es porque dichas variables son globales o pertenecen al conjunto de variables de algún registro declarado como global.

VI. IMPLEMENTACIÓN DEL SIMULADOR DE DINAMICA POBLACIONAL.

VI.1. Estructura de la interface.

Se diseñó una interface sobre la base del modelo que describe la parte funcional del simulador de dinámica poblacional (ver figura 4). La interface será el sistema a través del cual se manejen las funciones presentadas en la sección V. Esta interface, se compone de un conjunto de opciones que permiten cambiar los valores de los parámetros de las funciones y manipular la información o los datos que éstas generan. Estos resultados, se almacenan en archivos con formato texto, los cuales pueden ser importados en otros editores o programas para propósitos particulares. La figura 37a muestra la estructura principal de la interface.

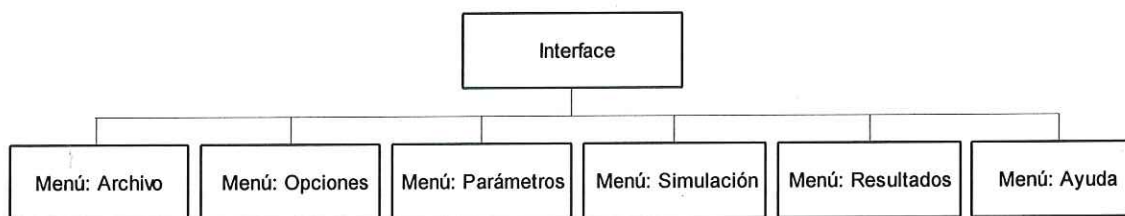


Figura 37a. Estructura principal de la interface.

Las opciones que contiene el menú Archivo, permiten abrir y guardar archivos, los cuales contienen información sobre los valores de los parámetros de los registros utilizadas por las funciones de: dinámica de la población (figuras 5a y 5b), dinámica de la población hasta su extinción (figura 18a y 18b), y dinámica de la población hasta su explotación (figura 30a y 30b). Además, este menú contiene una opción que finaliza el sistema. Cuando al sistema se

le da la orden de finalizar, éste guarda en archivos temporales los registros que utilizan las funciones antes mencionadas, cuando se inicia nuevamente el sistema, éste lee los archivos y recupera el estado de las variables de los registros. A través del diagrama de bloques que presenta la figura 37b se muestra la secuencia de pasos que conllevan a realizar las acciones asociadas a las opciones del menú Archivo.

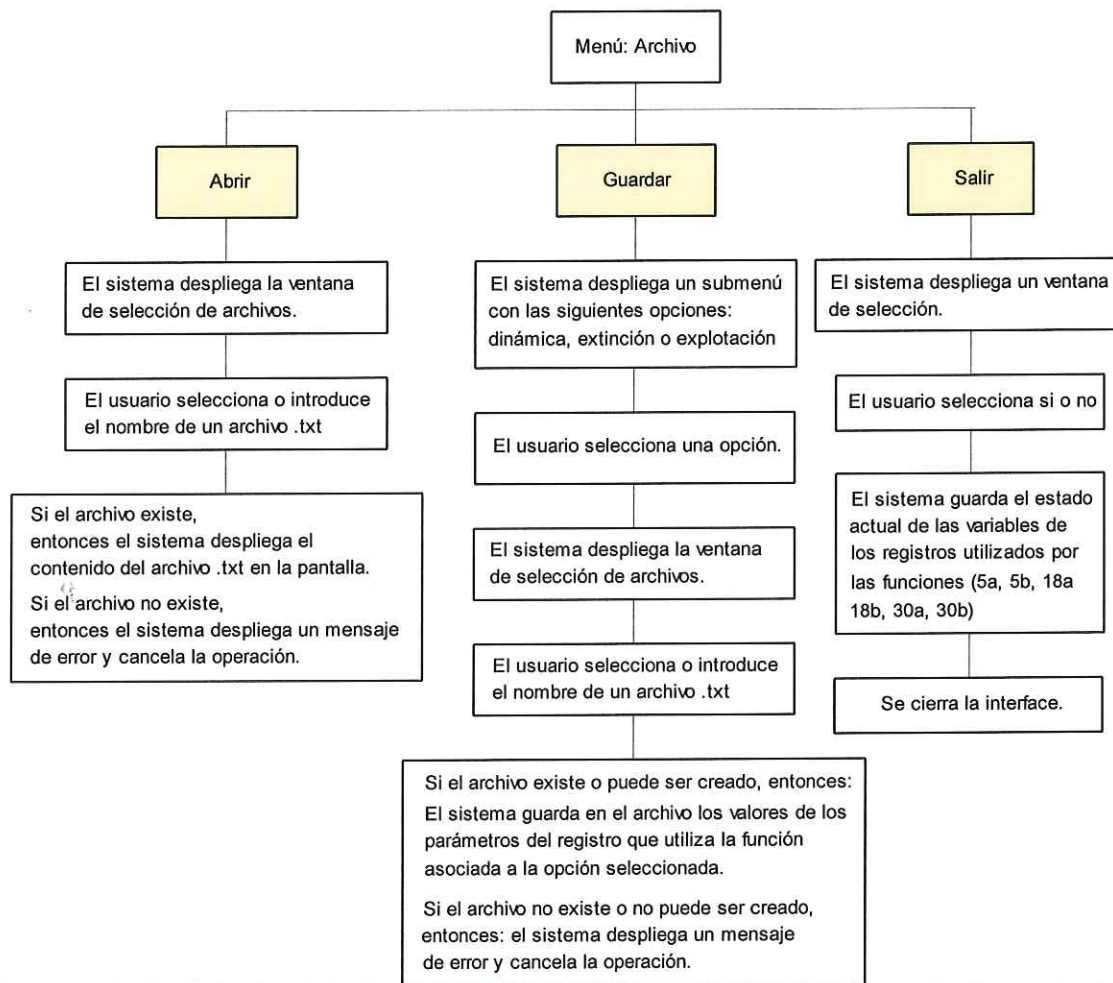


Figura 37b. Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Archivo. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.

La figura 37c presenta un diagrama de bloques que muestra la secuencia de pasos que conllevan a realizar las acciones asociadas a las opciones del menú Opciones. Por su parte, la opción Preferencias, permite darles nombre a los archivos que el sistema tomará para guardar la información generada por las funciones. Si no se utiliza esta opción, entonces el sistema proporcionará los nombres que tiene definidos por default. Es importante que antes de iniciar una simulación los archivos sean renombrados, pues en caso de no hacerlo, el sistema re-escribirá sobre los mismos archivos.

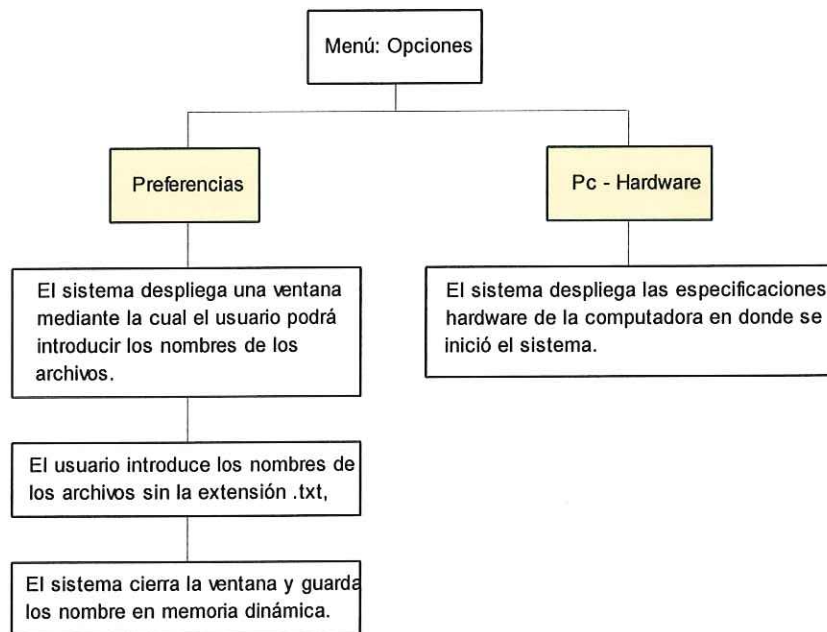


Figura 37c. Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Opciones. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.

La opción Pc-hardware, despliega la información referente a los recursos de hardware que tiene la computadora en donde se inició el sistema. Esta información permite conocer los límites del consumo de los recursos por las simulaciones.

A través de las opciones del menú Parámetros, se modifican los valores de los parámetros de los registros que utilizan las funciones representadas por los diagramas que muestran las figuras 5a, 5b, 18a, 18b, 30a, 30b. Además, este menú contiene la opción para desplegar dichos valores sobre la ventana principal de la interface. La figura 37d presenta un diagrama de bloques que muestra la secuencia de pasos que conllevan a realizar las acciones asociadas a las opciones del menú.

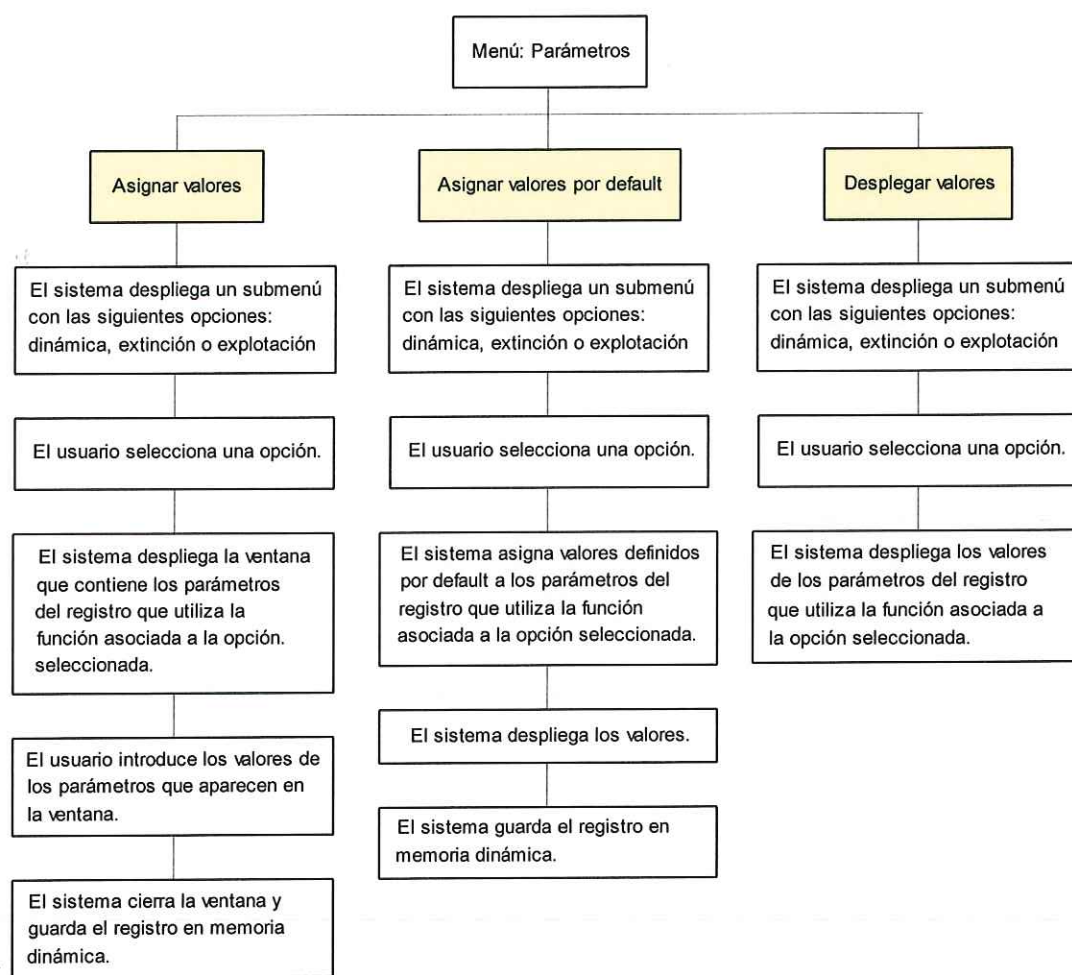


Figura 37d. Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Parámetros. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.

Las simulaciones se realizan a través del menú Simulaciones. Este menú contiene un conjunto de opciones que permiten iniciar una simulación, ver las variables de estado de la simulación y cancelar la simulación antes de que ésta finalice. Cuando se inicia una simulación no se podrá iniciar otra hasta que termine o se cancele la anterior, esto con el fin de minimizar el tiempo de iteración de la simulación. El diagrama de bloques de la figura 37e muestra la secuencia de pasos que conllevan a realizar las acciones asociadas a las opciones del menú.

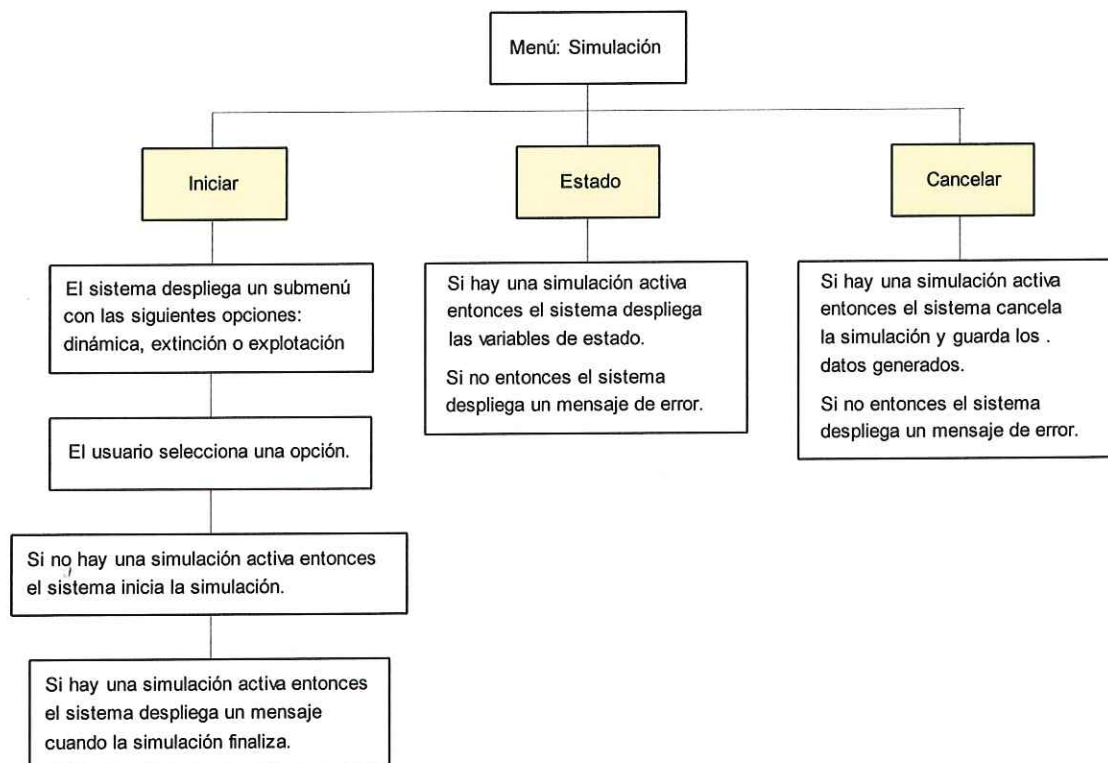


Figura 37e. Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Simulación. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.

Mediante las opciones del menú Resultados se grafican los datos generados por las simulaciones. Estas gráficas permiten observar el comportamiento de las trayectorias de la

dinámica de una población y el tiempo de extinción de dicha población en donde se identifican el nivel de equilibrio y el umbral de viabilidad sobre la trayectoria descrita (ver capítulo IV). También, se pueden graficar los datos generados por el sistema de explotación, como son las capturas totales por unidad de tiempo, el número de viajes por unidad de tiempo y las capturas por unidad de esfuerzo (ver capítulo IV). Además, contiene una opción que despliega la última gráfica realizada por cualquiera del resto de las opciones de este mismo menú. El diagrama de bloques de la figura 37f muestra la secuencia de pasos que conllevan a realizar las acciones asociadas a las opciones del menú.

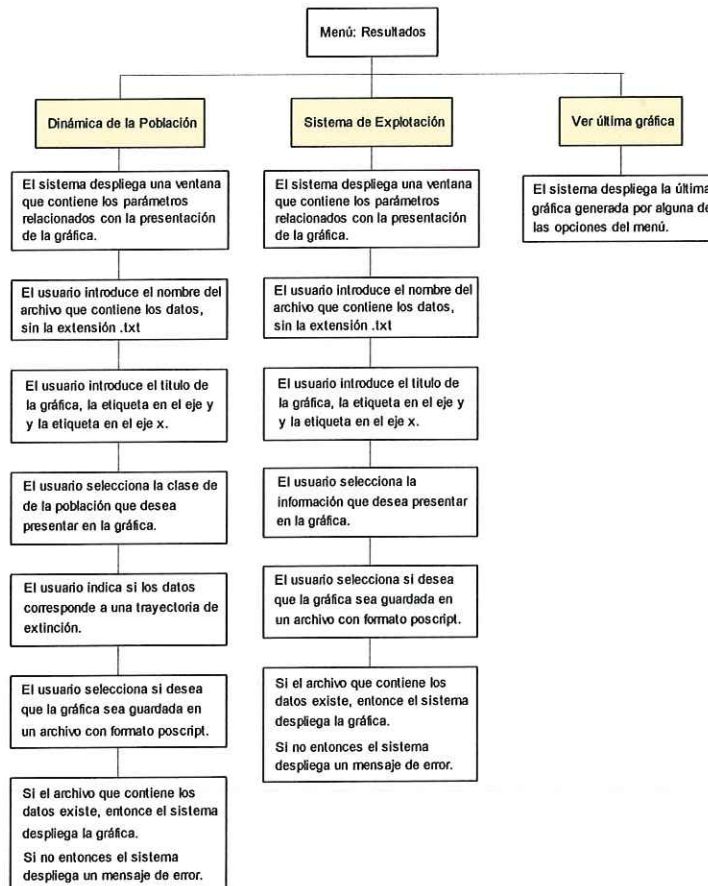


Figura 37f. Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Resultados. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.

Las opciones del menú Ayuda proporcionan información acerca de los datos personales del autor que desarrolló el sistema, dirección de correo electrónico y el lugar donde se encuentra. También contiene un manual de referencia, el cual puede ser consultado cuando se requiera saber cómo utilizar el sistema. El diagrama de bloques de la figura 37g muestra la secuencia de pasos que conllevan a realizar las acciones asociadas a las opciones del menú.

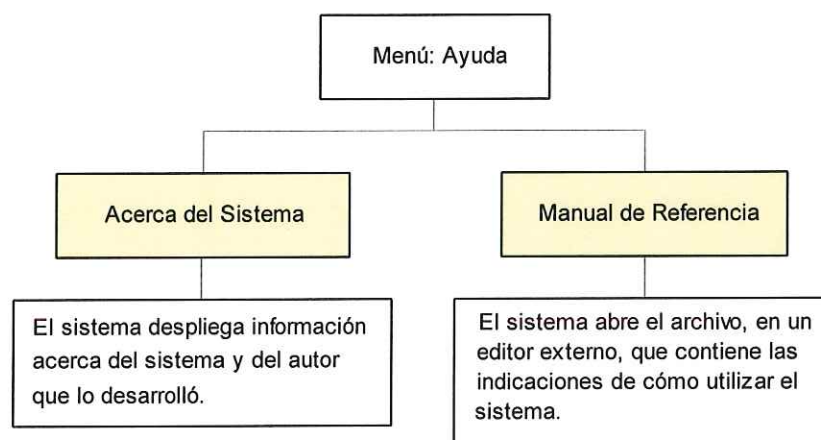


Figura 37g. Diagrama de bloques que representa la secuencia de pasos que se realizan en cada una de las opciones del menú Ayuda. Los cuadros de color amarillo representan las opciones del menú.

Algunas de las opciones que generan cierta funcionalidad del programa, tales como el despliegue del contenido de los archivos y el almacenamiento de información en los archivos, se realizan a través de llamadas a las librerías de Gtk, por lo que solo se indican así en los diagramas de bloque.

Por otro lado, las opciones del menú Resultados utilizan un programa externo para graficar datos, por lo que no se diseñaron funciones específicas para realizar gráficas. Este

programa se llama Gnuplot (www.brandpoint.tmfweb.nl/riscos/gnuplot.html) y realiza gráficas en dos y tres dimensiones de muchos tipos de funciones y grupos de datos, además puede guardar las gráficas en un archivo en diferentes formatos. Este programa se implementó de manera hilada a la interface y se inicia por un comando de línea, el cual invoca la aplicación Gnuplot y al archivo de instrucciones que se genera por cualquiera de las opciones del menú Resultados. El archivo de instrucciones contiene el nombre del archivo que contiene los datos de la gráfica y la información relacionada con su despliegue.

VI.2 Lenguaje de programación y equipo de cómputo.

La implementación del modelo funcional del simulador de dinámica poblacional (figura 4) se hizo en el lenguaje ANSI C el cual es posible compilar bajo cualquier plataforma. La versión del sistema que aquí se presenta esta compilada por gcc en Mandrake Linux 7.2. La decisión de utilizar este lenguaje se hizo para tener consistencia con la mayoría de las aplicaciones desarrolladas para Linux, las cuales están hechas en C.

Se utilizó la biblioteca GTK+ (www.gtk.org) para la implementación de la interface. Esta biblioteca permite realizar interfaces gráficas, con una apariencia profesional, bajo el ambiente de ventanas X (Xwindows) el cual acompaña a todas las distribuciones de Linux. GTK+ es una colección de funciones populares ampliamente usadas por los desarrolladores de aplicaciones gráficas. La razón principal por la cual se utilizó esta biblioteca es que se encuentra presente en los sistemas actuales de UNIX o sus similares, además, los autores de

esta biblioteca mantienen un tutorial que enseña a realizar aplicaciones básicas y anima a otros desarrolladores a utilizarla.

La complejidad de la estructura del simulador de dinámica poblacional limita, en cierta manera, su ejecución, esto es, para el uso del simulador como herramienta de trabajo se requiere necesariamente un equipo computacional que tenga como mínimo las siguientes características:

- Procesador Intel Pentium II de 700 Mhz con 512 Kbytes de Cache.
- Memoria RAM 512 MB PCC100 DIMM [2 x 256MB-100].
- 1 Disco Duro de 27.00 Gbytes.
- Sistema operativo Linux en su distribución Mandrake versión 7.2 ó más, con la librería Gtk+ y el programa Gnuplot instalados.

VI.3 Instalación del sistema.

El simulador de dinámica poblacional (GtkPDS) opera con una interfaz gráfica sencilla e intuitiva (figura 38). El apéndice de este trabajo contiene una completa explicación sobre el manejo del simulador de dinámica poblacional.

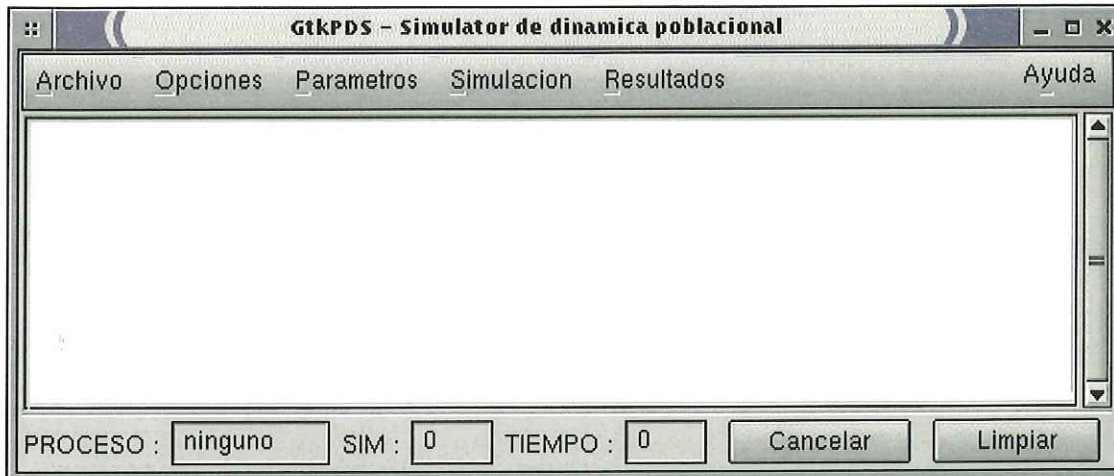


Figura 38. Ventana principal del sistema GtKPDS

El sistema puede ser obtenido a través del sitio web www.cicese.mx/~cleal, en éste se encuentra la información necesaria para su correcta instalación, además de tener los archivos fuente de la última versión de GtKPDS. En el caso de tener algún problema pueden enviar un correo electrónico a cleal@cicese.mx solicitando el software, procedimiento y recomendaciones para la instalación.

VII. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

VII.1. Resultados.

En la presente tesis se ha desarrollado un simulador de dinámica poblacional (GtkPDS) a escala metapoblacional bajo la suposición de que los cambios en los niveles de biomasa son inducidos por la variación estocástica del medio ambiente y los patrones de migración son controlados por gradientes de favorabilidad ambiental. Además, se considera a la población estructurada en diferentes clases de edad.

En este capítulo se presentan los resultados de un estudio, a nivel observacional, de las propiedades más representativas de las trayectorias generadas por el GtkPDS. Dichas propiedades reflejan comportamientos típicos observados en sistemas naturales, esto es, incluyen oscilaciones alrededor de niveles de equilibrio, tendencias a la explosión o a la extinción.

Primeramente, se inició el estudio de las oscilaciones descritas por las trayectorias generadas por el GtkPDS, con la finalidad de encontrar patrones de estabilidad relativa en el sistema. En dos casos de estudio se realizaron varias simulaciones con diferentes valores en los parámetros iniciales asociados a la dinámica de la población.

En el entendido de que cada simulación genera una trayectoria muestra de la dinámica de la población, en cada caso se obtuvieron 45 trayectorias promedio de 20 trayectorias muestra

cada una. Las tablas XXXI y XXXII presenta los valores que se tomaron para los parámetros, asociados con la dinámica de la población, en cada simulación. En ambos casos sólo variaron los valores de los parámetros que corresponden al tiempo de iteración, población inicial y el número de celdas del autómata celular.

Tabla XXXI. Parámetros iniciales asociados con el estudio de la dinámica de la población correspondiente al caso uno. F.I. = Factor de iteración. F.O. = Factor de observación, D.I. = Distribución inicial de biomasa. S = Número de simulaciones que se realizaron para obtener una trayectoria promedio.

Población Inicial (tm).	Tiempo de Iteración	F.I.	F.O.	Celdas	Peso $tm \times 1e-5$	D. I.	S
1,000,000	1000	0.1	10	1000: 2000: 9000	5, 14, 29	Aleatoria	20
5,000,000	1000	0.1	10	1000: 2000: 9000	5, 14, 29	Aleatoria	20
10,000,000	1000	0.1	10	1000: 2000: 9000	5, 14, 29	Aleatoria	20
1,000,000	200	0.5	2	1000: 2000: 9000	5, 14, 29	Aleatoria	20
5,000,000	200	0.5	2	1000: 2000: 9000	5, 14, 29	Aleatoria	20
10,000,000	200	0.5	2	1000: 2000: 9000	5, 14, 29	Aleatoria	20
1,000,000	100	1	1	1000: 2000: 9000	5, 14, 29	Aleatoria	20
5,000,000	100	1	1	1000: 2000: 9000	5, 14, 29	Aleatoria	20
10,000,000	100	1	1	1000: 2000: 9000	5, 14, 29	Aleatoria	20

Tabla XXXII. Parámetros iniciales asociados con el estudio de la dinámica de la población correspondiente al caso dos. F.I. = Factor de iteración. F.O. = Factor de observación, D.I. = Distribución inicial de biomasa. S = Número de simulaciones que se realizaron para obtener una trayectoria promedio.

Población Inicial (tm).	Tiempo de Iteración	F.I.	F.O.	Celdas	Peso Tm.	D. I.	S
1,000,000	1000	0.1	10	1000: 2000: 9000	1, 1, 1	Aleatoria	20
5,000,000	1000	0.1	10	1000: 2000: 9000	1, 1, 1	Aleatoria	20
10,000,000	1000	0.1	10	1000: 2000: 9000	1, 1, 1	Aleatoria	20
1,000,000	200	0.5	2	1000: 2000: 9000	1, 1, 1	Aleatoria	20
5,000,000	200	0.5	2	1000: 2000: 9000	1, 1, 1	Aleatoria	20
10,000,000	200	0.5	2	1000: 2000: 9000	1, 1, 1	Aleatoria	20
1,000,000	100	1	1	1000: 2000: 9000	1, 1, 1	Aleatoria	20
5,000,000	100	1	1	1000: 2000: 9000	1, 1, 1	Aleatoria	20
10,000,000	100	1	1	1000: 2000: 9000	1, 1, 1	Aleatoria	20

En la columna Celdas de las tablas XXXI y XXXII, el significado de 1000:2000:9000 es una serie de 1000, 3000, 5000, 7000 y 9000 celdas. Lo cual significa que para cada renglón en ambas tablas, se obtuvieron 5 trayectorias promedio, en donde el número de celdas fue diferencial.

La diferencia entre los dos casos es el peso de la población de cada clase de edad. En el segundo caso, el peso de cada una de las clases de edad fue homogéneo (ver tabla XXXII). En el primer caso, el peso de cada una de las clases de edad fue diferencial (ver tabla XXXI), con el fin de obtener una distribución de pesos cercana a la realidad, en este caso de estudio los pesos se tomaron de la figura 39, la cual muestra el peso de la anchoveta *Engraulis mordax* por clase de edad (véase González Dávila, 1988). Se utilizaron los pesos de la figura 39 con el fin de obtener el equivalente entre el peso en toneladas y el número de individuos, dicho peso fue multiplicado por un factor de 10 por conveniencia de cálculos numéricos. El propósito de establecer estas conversiones fue el de obtener trayectorias de una especie con pesos reales, y comparar dichas trayectorias con las obtenidas en el segundo caso de estudio a nivel observacional.

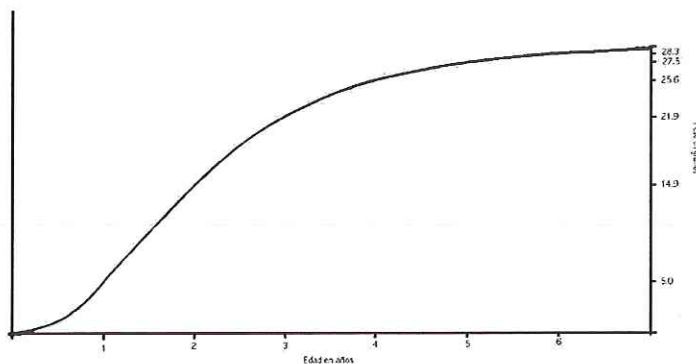


Figura 39. Peso en gramos de la anchoveta *Engraulis mordax* según González Dávila (1988).

El significado de los valores de la columna Peso de las tablas XXXI y XXXII es el siguiente: en el segundo caso los valores (1,1,1) significan que los pesos de las poblaciones de la primera, segunda y tercera clase de edad son iguales. En el primer caso los valores (5, 14, 29) significan que el peso promedio por individuo perteneciente a la primera clase de edad es igual a 0.00005 toneladas, el peso promedio por individuo perteneciente a la segunda clase de edad es igual a 0.00014 toneladas, y por último el peso promedio por individuo perteneciente a la tercera clase de edad es igual a 0.00029 toneladas.

Las 45 trayectorias promedio generadas por las simulaciones realizadas por el caso uno, las cuales describen la dinámica de la población por estructura de edades y en su totalidad, se muestran en nueve gráficas. Cada una de éstas gráficas muestra un conjunto de 5 trayectorias promedio. Dichas gráficas resumen los resultados obtenidos, es decir las trayectorias promedio describen la dinámica de la población en su totalidad. El orden en el que éstas gráficas son presentadas corresponde al orden de los valores de los parámetros de la tabla XXXI, es decir la gráfica 1 muestra las cinco trayectorias promedio obtenidas con los valores de los parámetros del renglón 1 de dicha tabla, la gráfica 2 muestra las cinco trayectorias promedio obtenidas con los valores de los parámetros del renglón 2 de la misma tabla, y así sucesivamente. Cada gráfica se presenta en dos partes, la parte **a** muestra las trayectorias promedio completas, la parte **b** muestra las mismas trayectorias promedio pero con un acercamiento en la región donde ocurren más oscilaciones. En la parte **b** de estas gráficas se pueden observar, detalladamente, las oscilaciones de las trayectorias promedio sobre un intervalo.

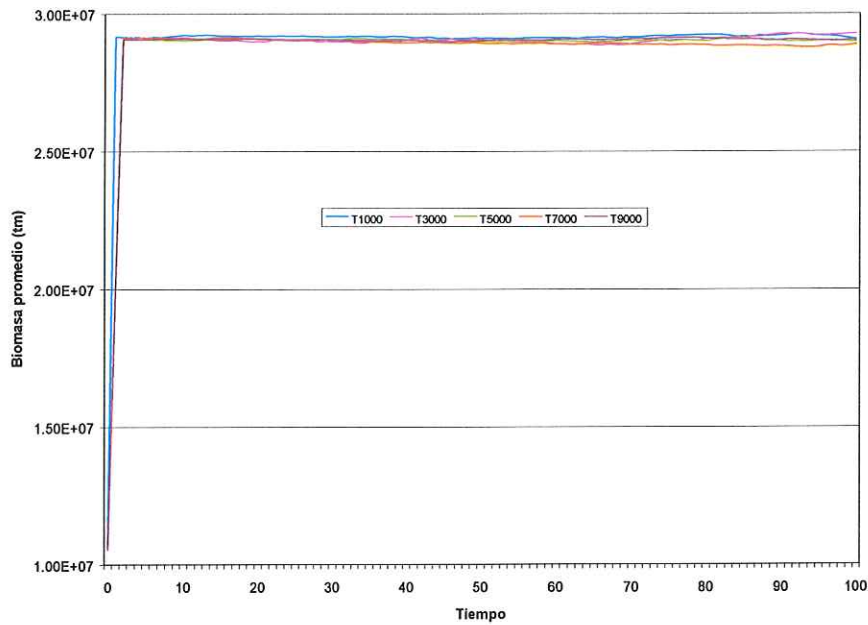


Figura 40a. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.

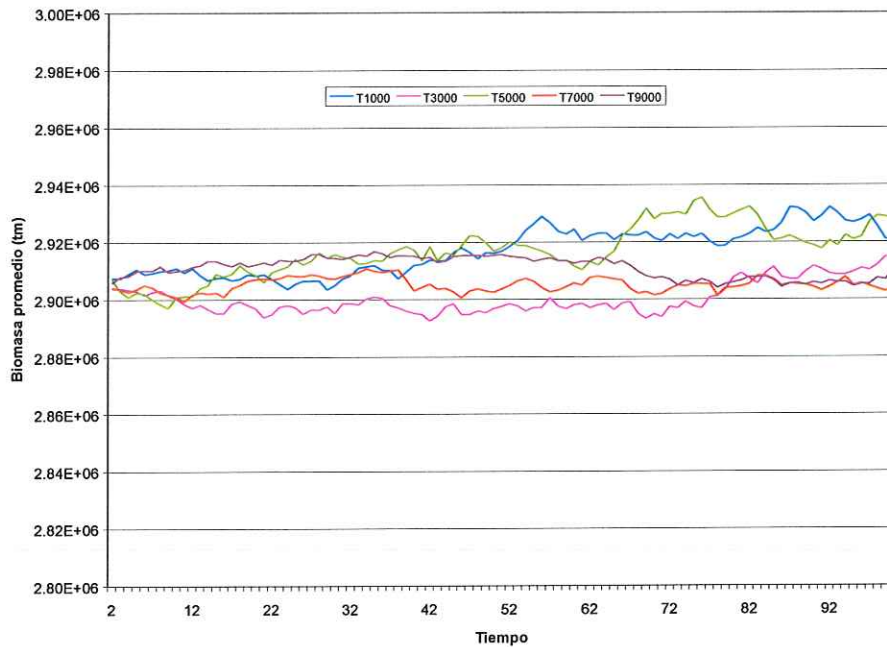


Figura 40b. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.

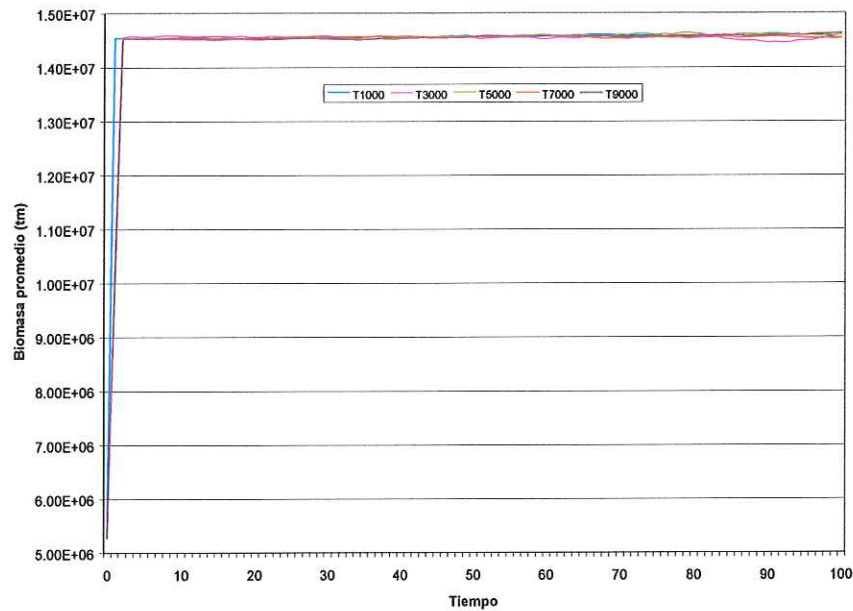


Figura 41a. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 5,000,000 toneladas métricas.

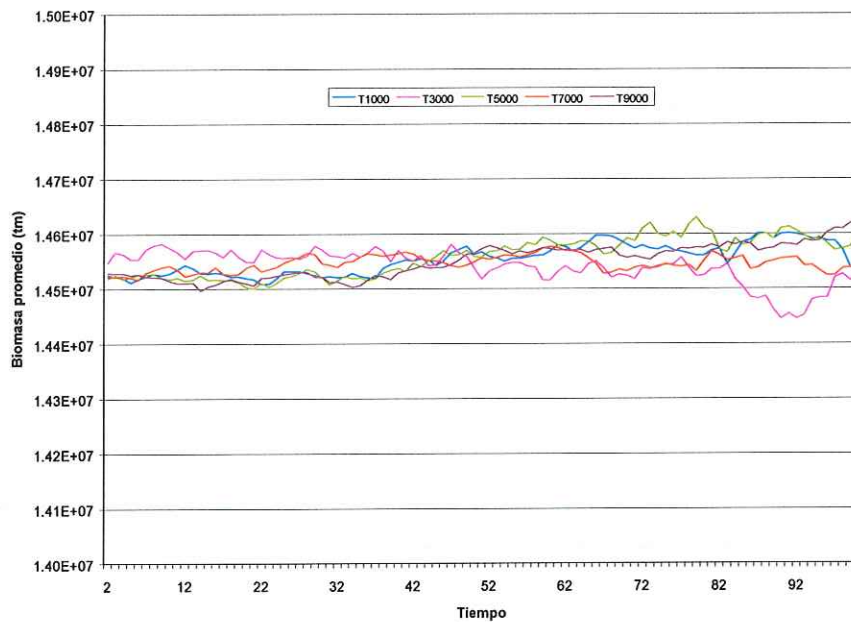


Figura 41b. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 5,000,000 toneladas métricas.

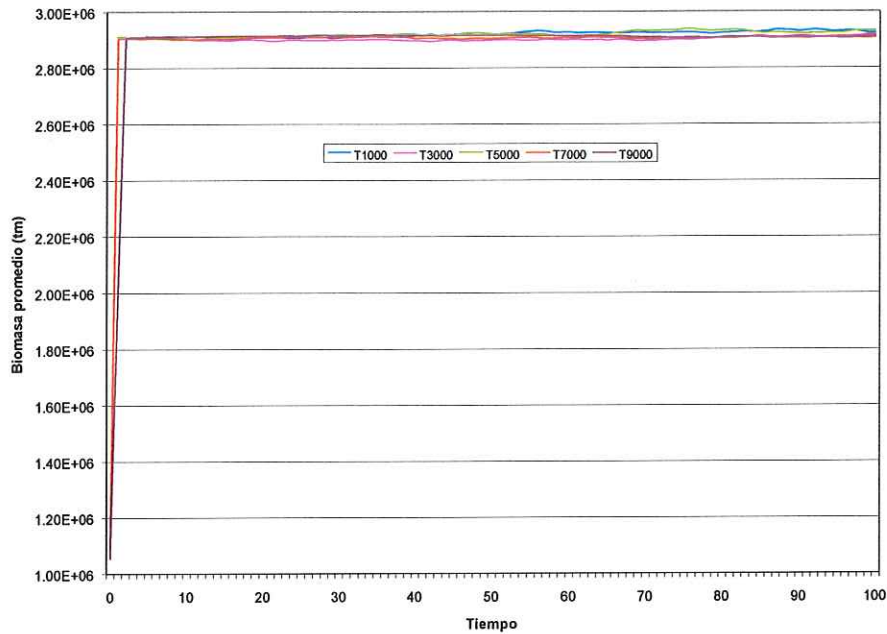


Figura 42a. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.

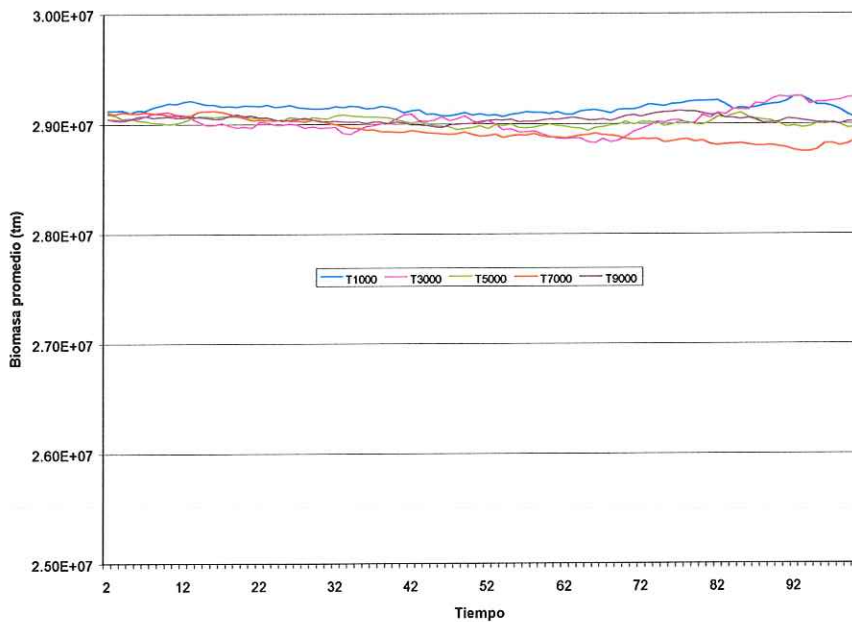


Figura 42b. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.1 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.

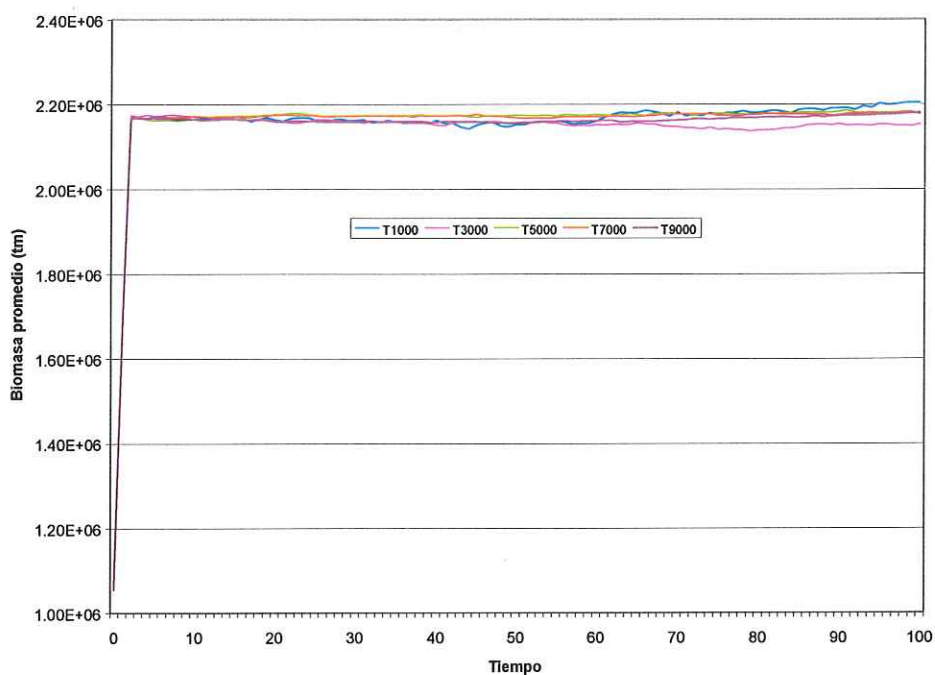


Figura 43a. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es de 1,000,000 de toneladas métricas.

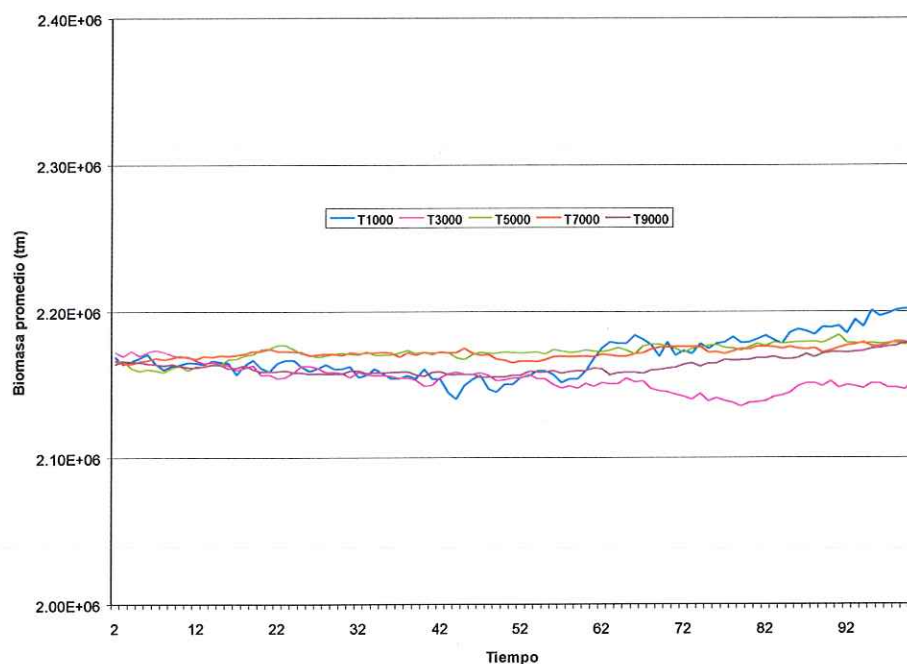


Figura 43b. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.

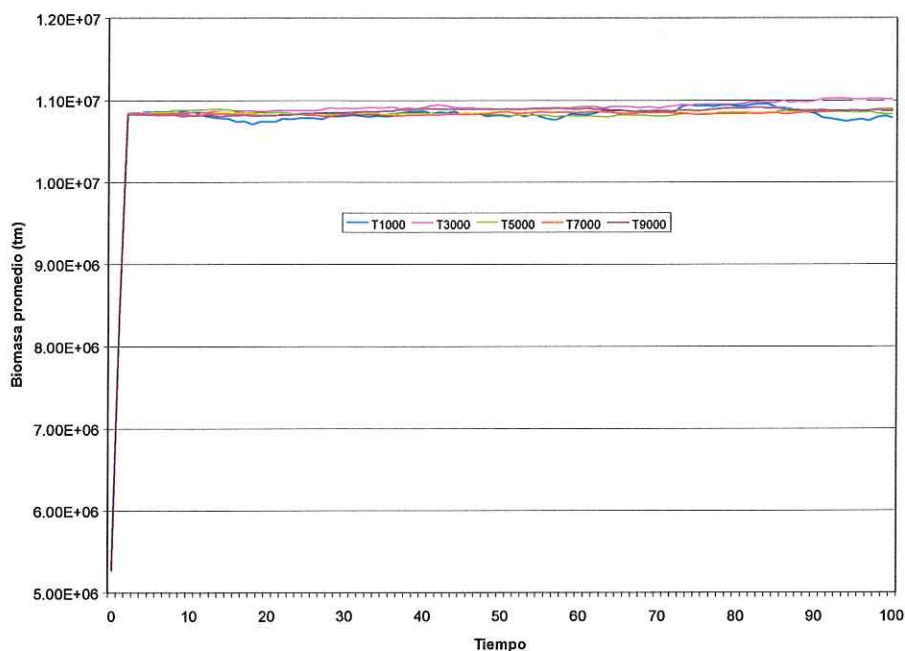


Figura 44a. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 5,000,000 de toneladas métricas.

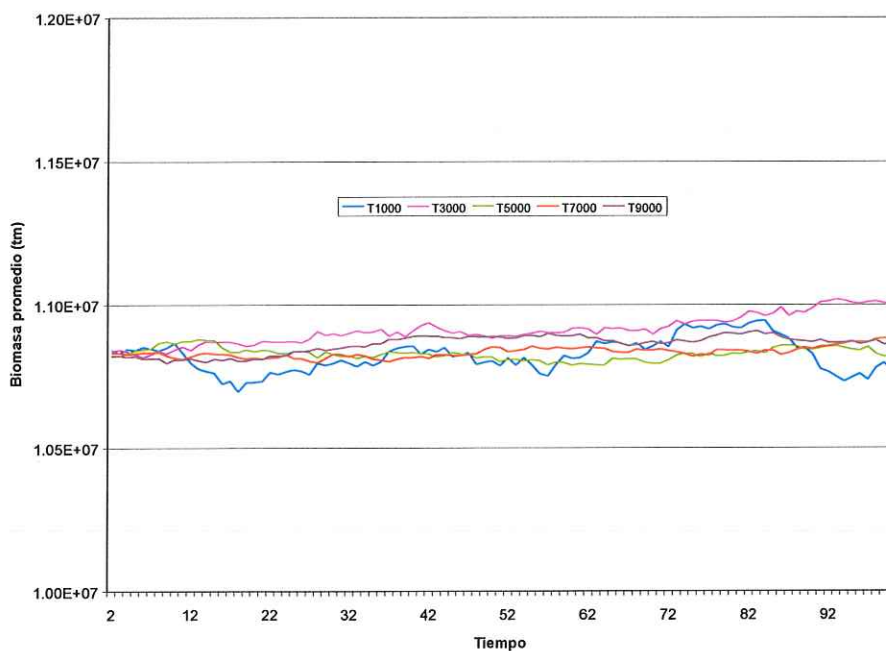


Figura 44b. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 5,000,000 de toneladas métricas.

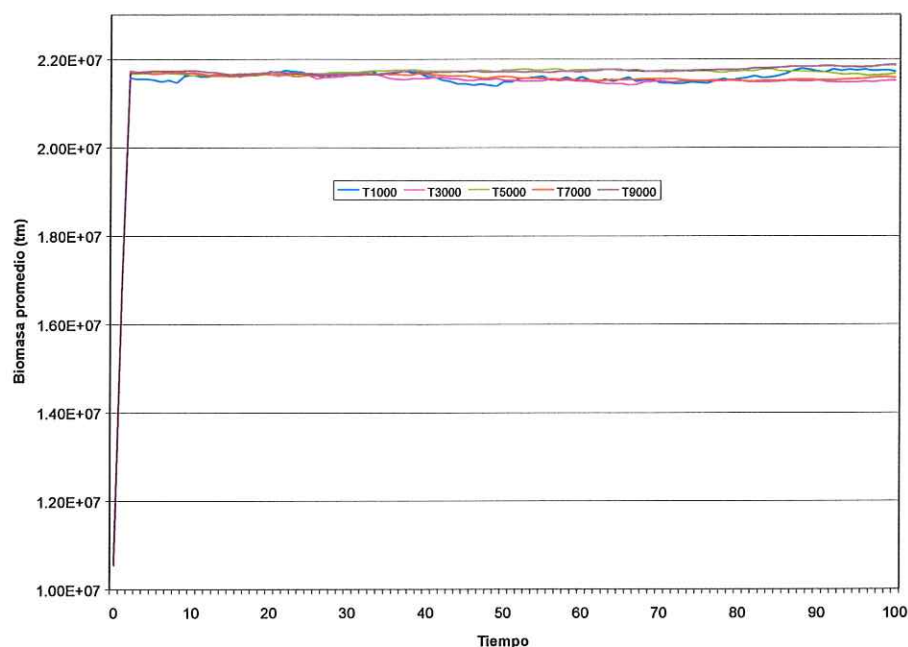


Figura 45a. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.

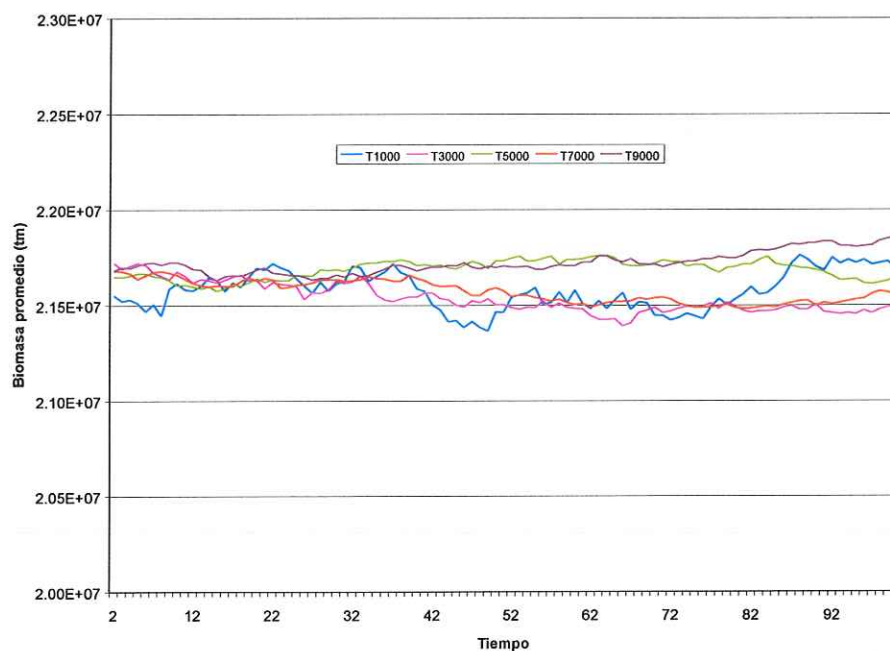


Figura 45b. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.

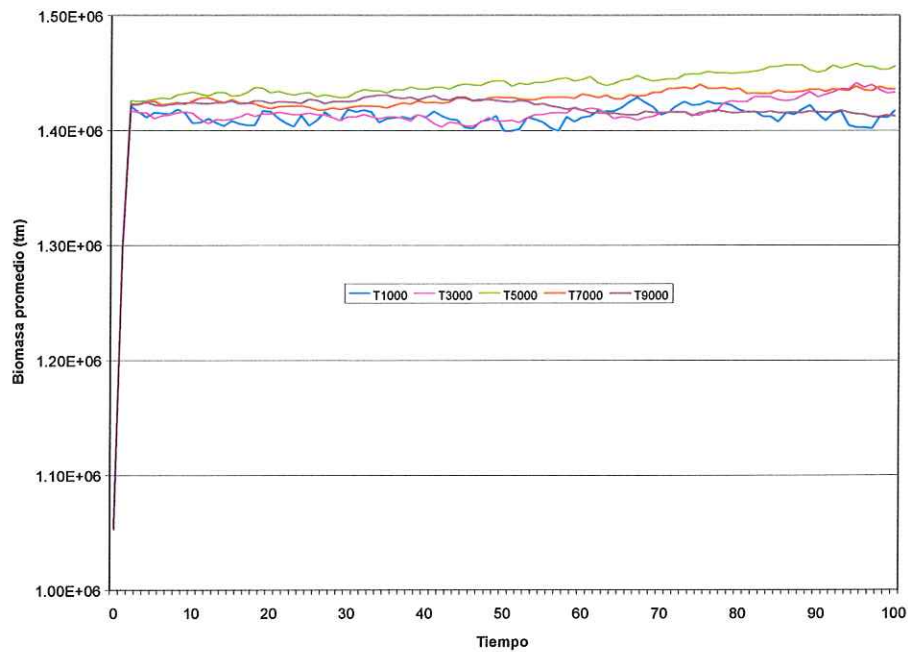


Figura 46a. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.

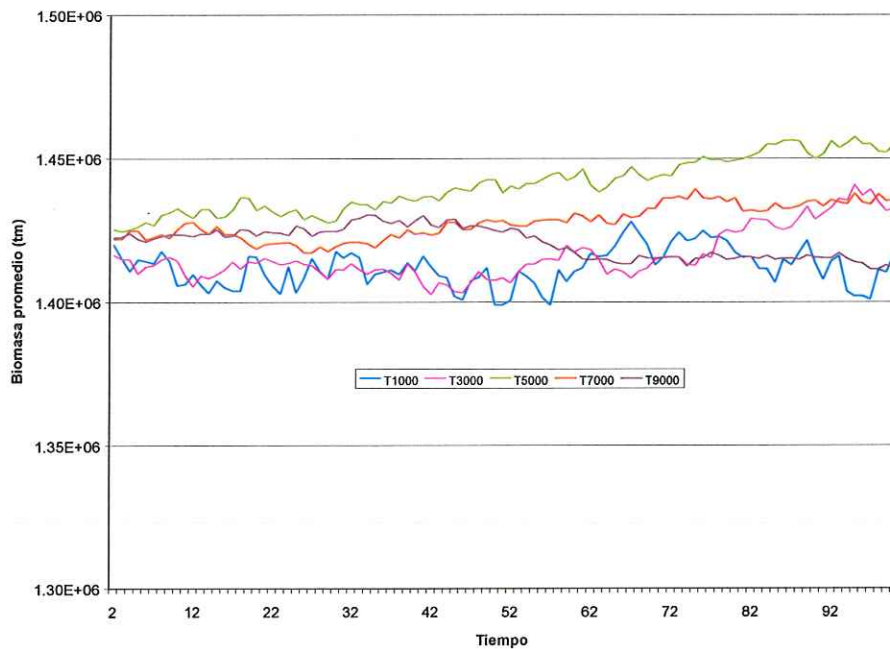


Figura 46b. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 1,000,000 de toneladas métricas.

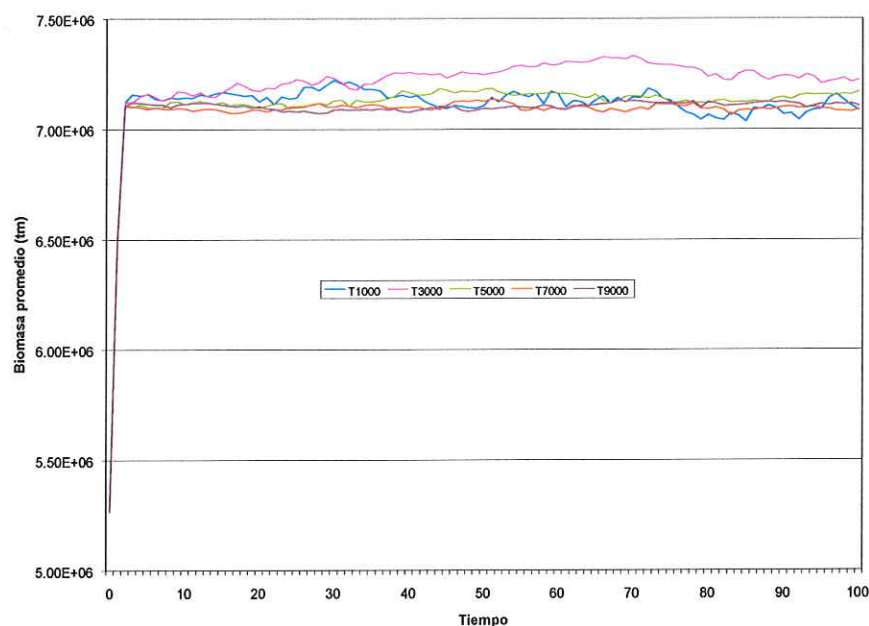


Figura 47a. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 5,000,000 de toneladas métricas.

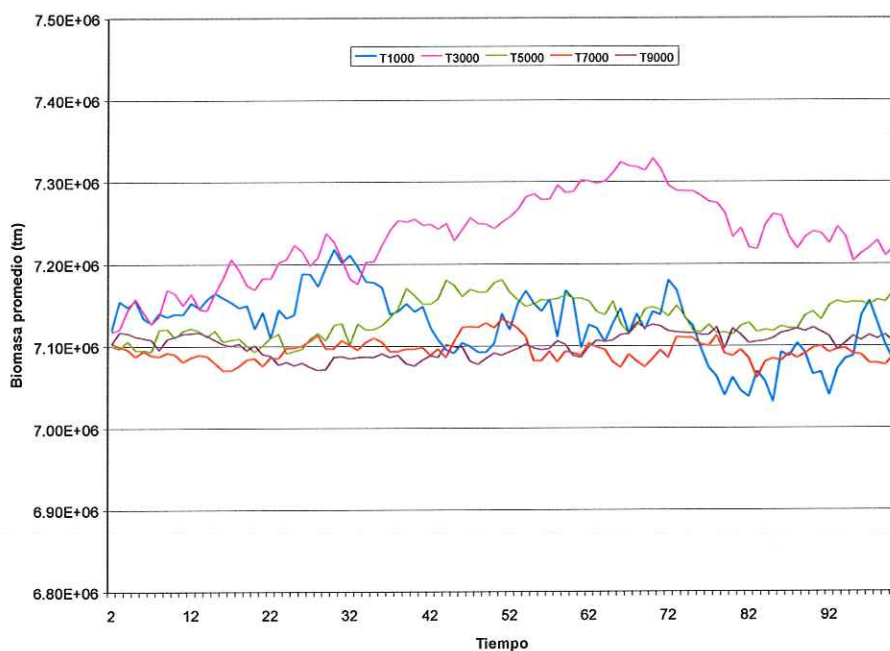


Figura 47b. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 5,000,000 de toneladas métricas.

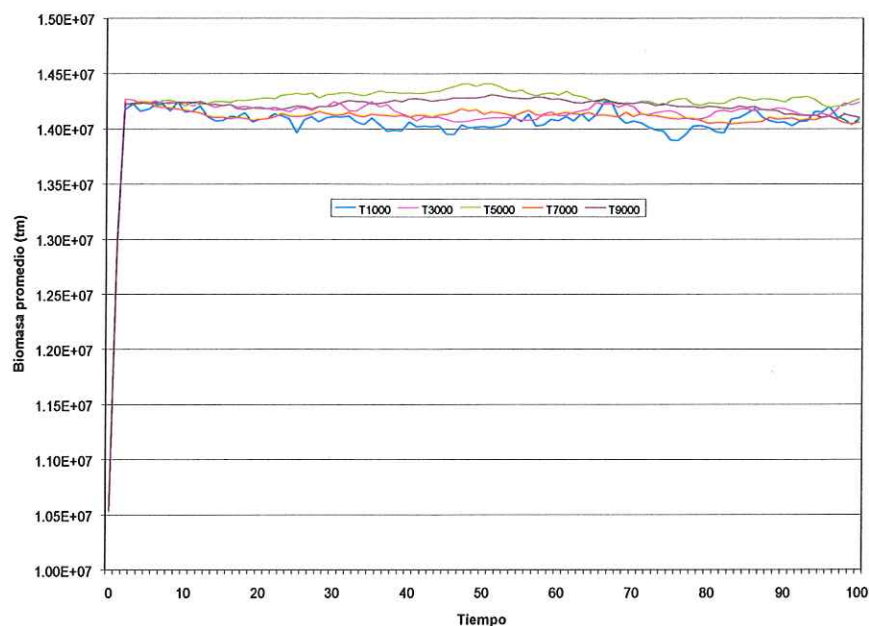


Figura 48a. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.

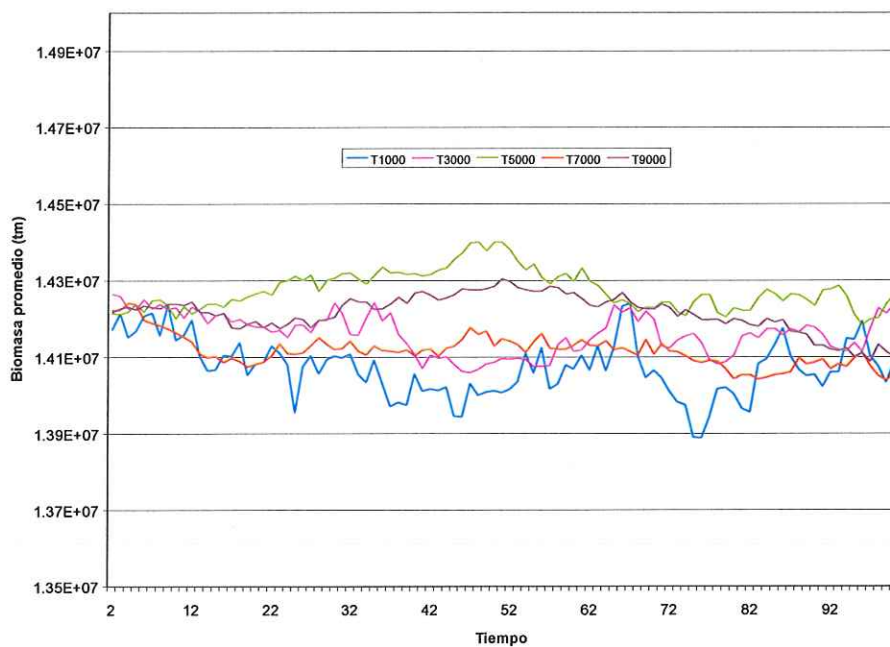


Figura 48b. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el caso uno, en donde el factor de iteración es igual a 1 y la población inicial es 10,000,000 de toneladas métricas.

Las gráficas muestran que los parámetros que determinan la amplitud de las oscilaciones de las trayectorias promedio son: el factor de iteración, la población inicial y el número de celdas del autómata celular. Se puede ver en las figuras 40b-48b, que a mayor número de celdas contenidas en el autómata celular, la amplitud de las oscilaciones de una trayectoria generada por la dinámica de población, para un mismo tamaño inicial de biomasa, es menor. Si comparamos a nivel observacional, la amplitud de las oscilaciones de las trayectorias de las gráficas de las figuras 40b y 48b, se puede decir que a menor factor de iteración se tendrá una menor amplitud de oscilación de una trayectoria generada por la dinámica de la población, para un mismo tamaño inicial de biomasa y un mismo número de celdas. Esto ocurre porque el factor de iteración multiplica a las tasas de natalidad y de mortalidad en la ecuación de balance de la dinámica poblacional. Los valores de estos parámetros determinan estabilidad relativa en el sistema, es decir, mantienen a la población oscilando durante un periodo de tiempo razonablemente largo alrededor de un nivel de equilibrio antes de llegar a un nivel de biomasa en donde la población ya no se recupera y llega a su extinción.

A nivel estadístico, se obtuvieron la media, la varianza y la desviación estándar de cada una de las trayectorias promedio presentadas en las gráficas de las figuras 40b – 48b. Esto se hizo, para corroborar las conclusiones del análisis observacional con los valores de los parámetros estadísticos (ver tabla XXXIII). En la tabla XXXIII, la población inicial y los valores de la media (μ), la varianza (σ) y la desviación estándar ($\sqrt{\sigma}$) están en unidades de toneladas. Los valores de éstos parámetros se obtuvieron tomando los datos de cada una

de las trayectorias de los cuales se eliminaron los dos primeros datos, ya que estos se encuentran fuera del intervalo de oscilaciones.

Tabla XXXIII. Valores de la media (μ), la varianza (σ^2) y la desviación estándar (σ) correspondientes a las trayectorias promedio de las gráficas de las figuras 40a - 48a. *

F. I.	P. I.		Celdas				
			1000	3000	5000	7000	9000
0.1	1,000,000	μ	2.9179E+06	2.8981E+06	2.9167E+06	2.9047E+06	2.9122E+06
		σ^2	6.4307E+07	2.9806E+07	8.0598E+07	6.1334E+06	1.4529E+07
		σ	8.0191E+03	5.4595E+03	8.9776E+03	2.4766E+03	3.8116E+03
0.1	5,000,000	μ	1.4554E+07	1.4547E+07	1.4564E+07	1.4544E+07	1.4556E+07
		σ^2	7.2692E+08	9.7785E+08	1.2227E+09	2.0500E+08	9.2443E+08
		σ	2.6962E+04	3.1271E+04	3.4967E+04	1.4318E+04	3.0404E+04
0.1	10,000,000	μ	2.9144E+07	2.9017E+07	2.9015E+07	2.8904E+07	2.9041E+07
		σ^2	1.7841E+09	1.0816E+10	1.6407E+09	1.1182E+10	9.9640E+08
		σ	4.2239E+04	1.0400E+05	4.0506E+04	1.0575E+05	3.1566E+04
0.5	1,000,000	μ	2.1646E+06	2.1537E+06	2.1719E+06	2.1712E+06	2.1603E+06
		σ^2	2.0642E+08	8.0404E+07	2.9035E+07	1.1712E+07	3.3351E+07
		σ	1.4367E+04	8.9668E+03	5.3884E+03	3.4223E+03	5.7750E+03
0.5	50,000,000	μ	1.0820E+07	1.0905E+07	1.0828E+07	1.0832E+07	1.0868E+07
		σ^2	3.3686E+09	2.4499E+09	4.6378E+08	3.1520E+08	9.6791E+08
		σ	5.8039E+04	4.9496E+04	2.1536E+04	1.7754E+04	3.1111E+04
0.5	10,000,000	μ	2.1573E+07	2.1509E+07	2.1696E+07	2.1565E+07	2.1708E+07
		σ^2	1.0139E+10	6.2991E+09	2.3442E+09	3.5846E+09	3.0373E+09
		σ	1.0070E+05	7.9367E+04	4.8417E+04	5.9872E+04	5.5112E+04
10	1,000,000	μ	1.4115E+06	1.4134E+06	1.4398E+06	1.4275E+06	1.4223E+06
		σ^2	4.4165E+07	7.8741E+07	8.4256E+07	3.3661E+07	2.9292E+07
		σ	6.6457E+03	8.8736E+03	9.1791E+03	5.8018E+03	5.4123E+03
10	50,000,000	μ	7.1354E+06	7.2366E+06	7.1270E+06	7.0927E+06	7.1027E+06
		σ^2	1.6453E+09	2.6300E+09	5.5510E+08	1.9010E+08	2.0444E+08
		σ	4.0563E+04	5.1283E+04	2.3561E+04	1.3788E+04	1.4298E+04
10	10,000,000	μ	1.4066E+07	1.4163E+07	1.4263E+07	1.4115E+07	1.4224E+07
		σ^2	5.5149E+09	2.8507E+09	2.6436E+09	1.7152E+09	2.3806E+09
		σ	7.4263E+04	5.3392E+04	5.1415E+04	4.1415E+04	4.8791E+04

* F.I. = Factor de iteración, P.I. = Población inicial.

En las gráficas que describen la dinámica de la población anteriormente presentadas, se puede observar que los dos primeros datos se encuentran alejados del resto. Esto sucede por la definición de la ecuación de balance de la dinámica poblacional (ver capítulo IV sección 2). Al inicio de una simulación de dinámica poblacional, en la segunda unidad de tiempo la población de la tercera clase de edad tiende a duplicarse, ya que en cada unidad de tiempo la población de la segunda clase pasa a sumarse a la tercera clase, y la población de la primera clase de edad pasa a la segunda clase. En la tercera unidad de tiempo sucede lo mismo, por lo tanto gran parte de la población que se suma a la tercera clase de edad, estuvo en la primera clase de edad en la primera unidad de tiempo. Es por esto, que en las primeras unidades de tiempo la ecuación de balance tiende a duplicar el nivel de biomasa total inicial. A partir de la tercera unidad es notoria la proporción del incremento y el decremento de los niveles de la biomasa causados por la tasa de natalidad y la tasa de mortalidad.

De acuerdo con el análisis observacional, se espera obtener varianzas mas bajas en las trayectorias promedio generadas con autómatas celulares de mayor número de celdas. La tabla XXXIII muestra que las varianzas más bajas se presentaron en las trayectorias promedio generadas con autómatas celulares de 7000 y 9000 celdas, y un caso en donde la varianza más baja se presentó en una trayectoria promedio generada con un autómata celular de 5000 celdas. Estos resultados no invalidan la hipótesis establecida con base en el análisis a nivel observacional, en primer lugar porque la dinámica de la población es un proceso aleatorio en donde se pueden presentar algunas variaciones en los resultados esperados. En segundo lugar, el número de datos tomados para realizar el análisis

estadístico pudo no haber sido suficientemente representativo. Sin embargo, se puede decir que si se generaran trayectorias promedio con autómatas celulares con un número de celdas mayor a 9000, el análisis estadístico sería parecido al que se obtuvo para este caso. Por otra parte, la desviación estándar presentada en la tabla XXXIII corrobora el análisis observacional, en donde se menciona que el factor de iteración es un parámetro que regula la amplitud de las oscilaciones de las trayectorias. Además, entre las gráficas 40a – 42a se puede observar que el tamaño inicial de población inicial también afecta la amplitud de las oscilaciones de las trayectorias, las tres gráficas cumplen con las mismas condiciones excepto que entre las tres varía el tamaño inicial de la población.

Para el segundo caso de estudio, se hizo también un análisis observacional en donde se encontró que todos los valores dados a los parámetros asociados con la estructura de la población deben tener un significado y a su vez guardar una relación entre sí. Más aún la exploración de los resultados del simulador en este estudio permiten concluir que no es posible aceptar que los pesos de la población por cada clase de edad sean iguales para las tres. La ecuación de balance de la dinámica de la población establece que cada unidad de tiempo la población de la primera clase de edad pasa a la segunda clase de edad. Lo cual quiere decir que la población no puede brincar de la primera a la tercera clase de edad y por lo mismo la primera clase de edad no puede ser de igual peso que la tercera clase de edad. Lo mismo ocurre con la población de la segunda clase de edad, ésta se suma a la población de la tercera clase de edad cada unidad de tiempo. Lo cual quiere decir que por pasar a otra clase de edad mayor no puede conservar su mismo peso. En la gráfica de la figura 49 se puede observar que los resultados del análisis observacional del primer caso no

correspondes a los resultados del segundo caso, donde se asume una distribución uniforme de pesos en éste ocurre todo lo contrario. Esto se demuestra comparando la gráfica de la figura 43a con la siguiente gráfica. Puede observarse que una distribución homogénea de pesos para las tres clases de edad, como la tomada en la tabla XXXII, produce una distribución de individuos desfavorable para la estabilización relativa del sistema. Este peso hace que haya un número menor de individuos con relación al caso en donde los pesos son distribuidos diferencialmente entre las clases de edad (ver tabla XXXI). Lejos de promover un régimen de estabilidad relativa un número mayor de celdas provoca una menor densidad de individuos por unidad de área dando origen a los efectos de Allee (Allee, 1931) que provocan la extinción de la población. El simulador proporciona una base operativa para obtener conclusiones consistentes con el cuerpo teórico de la dinámica poblacional en ambientes heterogéneos.

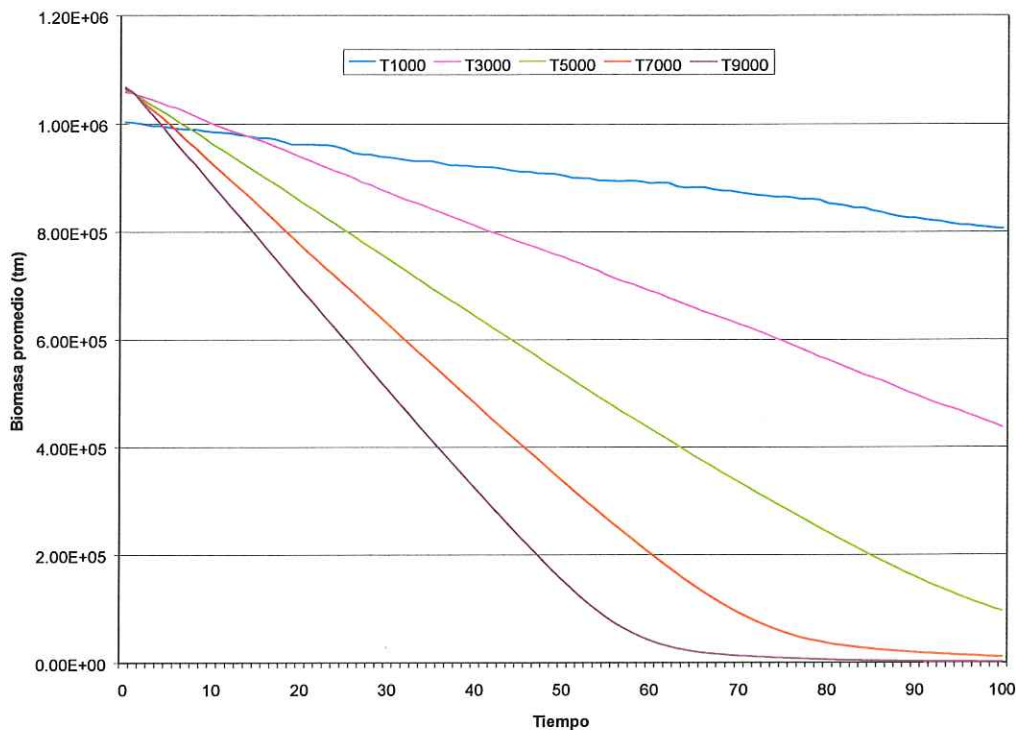


Figura 49. Gráfica comparativa de las trayectorias promedio, en el intervalo de oscilaciones, obtenidas por las simulaciones efectuadas para el segundo caso de estudio, en donde el factor de iteración es igual a 0.5 y la población inicial es de 1,000,000 de toneladas. En ésta gráfica se puede observar un proceso de extinción de la población por efectos de Allee (Allee, 1931).

En otro caso de estudio se realizaron más simulaciones de dinámica poblacional para generar 24 trayectorias promedio de 20 trayectorias muestra cada una, en donde el tiempo de iteración fue mayor que el tomado en los dos casos anteriores y 12 de éstas trayectorias se obtuvieron con un autómata celular de 10000 celdas (ver tabla XXXIV). Esto se hizo con la finalidad de comparar a nivel observacional el comportamiento de las trayectorias con el obtenido en las trayectorias anteriores, en donde el tiempo de iteración fue menor.

Tabla XXXIV. Parámetros iniciales asociados con el estudio de la dinámica de la población. F.I. = Factor de iteración. F.O. = Factor de observación, D.I. = Distribución inicial de biomasa. S = Número de simulaciones.

Población Inicial (tm).	Tiempo de Iteración	F.I.	F.O.	Celdas	Peso tm x 1e-5	D. I.	S
1,000,000	1000, 5000	1	1	1000	5, 14, 29	Aleatorio	20
5,000,000	1000, 5000	1	1	1000	5, 14, 29	Aleatorio	20
10,000,000	1000, 5000	1	1	1000	5, 14, 29	Aleatorio	20
1,000,000	1000, 5000	1	1	10000	5, 14, 29	Aleatorio	20
5,000,000	1000, 5000	1	1	10000	5, 14, 29	Aleatorio	20
10,000,000	1000, 5000	1	1	10000	5, 14, 29	Aleatorio	20

Las siguientes figuras muestran tres gráficas comparativas, las cuales contienen dos trayectorias promedio para un mismo tiempo de iteración y una misma población inicial. La diferencia entre dichas trayectorias esta en que una de las trayectorias corresponde a la obtenida con un autómata celular de 1000 celdas y la otra corresponde a la obtenida con un autómata celular de 10000 celdas. A nivel observacional se puede decir que las dos trayectorias presentadas en cada una de las gráficas muestran como la amplitud de las oscilaciones es regulada por el número de celdas. Además, de la comparación entre las trayectorias de cada gráfica resulta que la población inicial también regula la amplitud de las oscilaciones en dichas trayectorias.

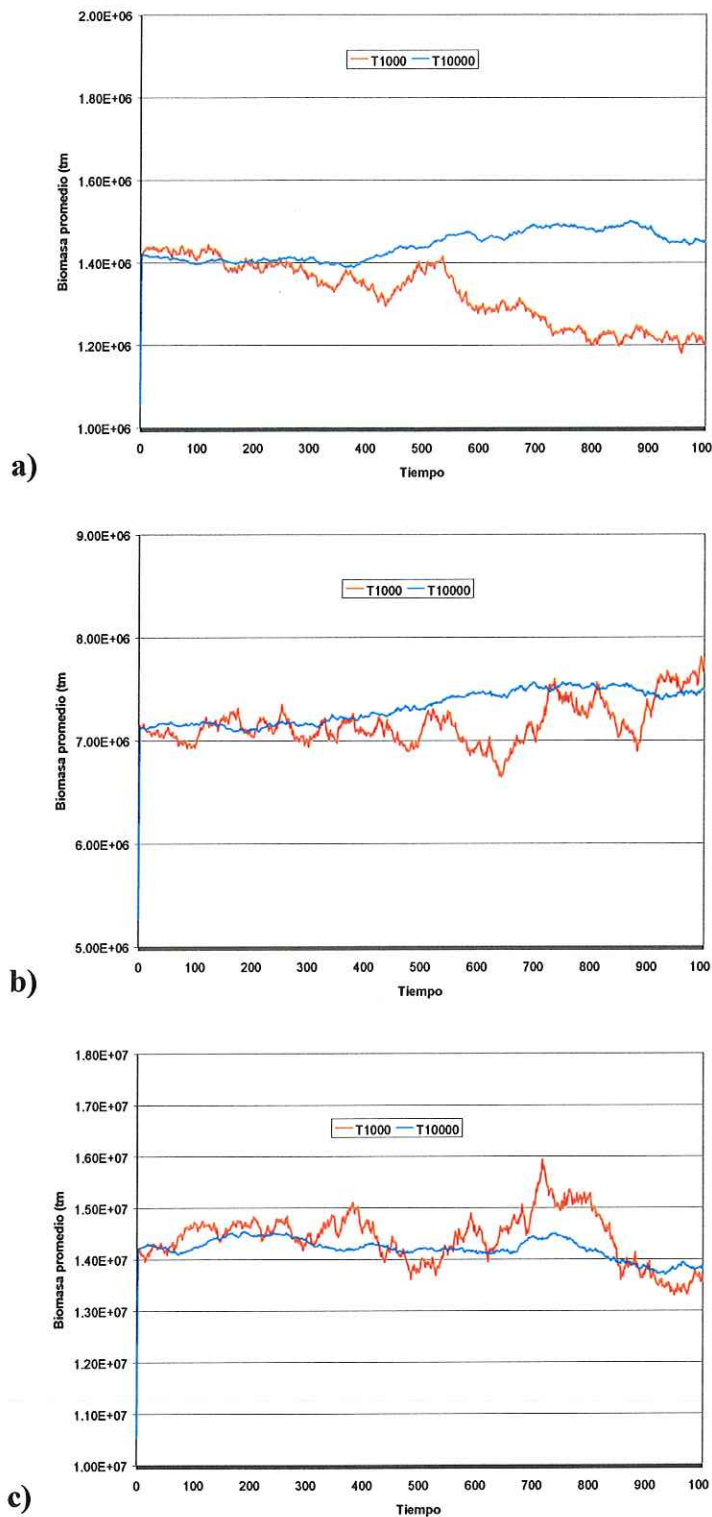


Figura 50. Gráficas comparativas de las trayectorias promedio obtenidas por la dinámica de la población durante un tiempo de iteración igual a 1000. a) población inicial = 1,000,000 tm., b) población inicial = 5,000,000 tm., c) población inicial = 10,000,000 tm.

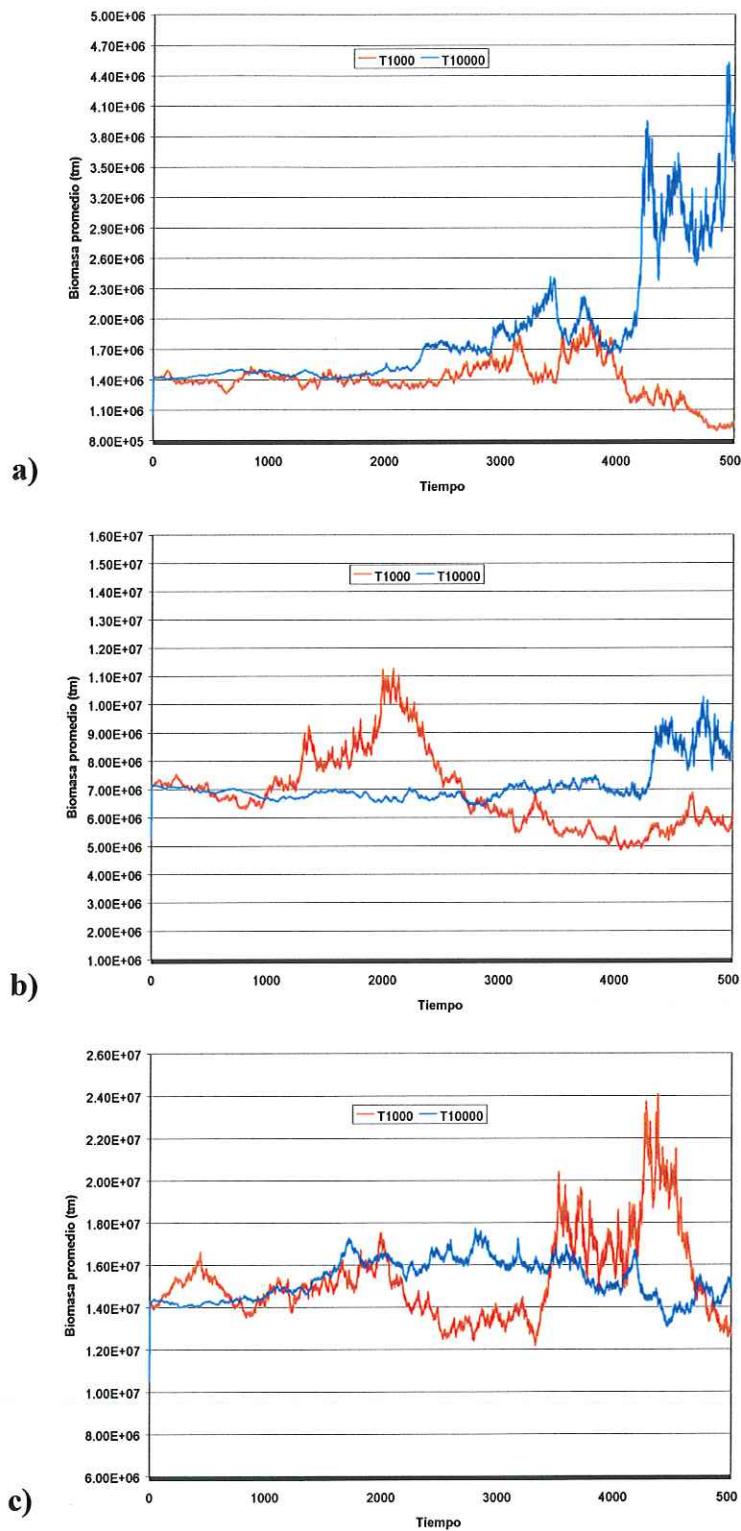


Figura 51. Gráficas comparativas de las trayectorias promedio obtenidas por la dinámica de la población durante un tiempo de iteración igual a 5000. a) población inicial = 1,000,000 tm., b) población inicial = 5,000,000 tm., c) población inicial = 10,000,000 tm.

Con los resultados obtenidos anteriormente se puede determinar un rango de valores para los parámetros que regulan la amplitud de las oscilaciones de las trayectorias, pudiendo así darle estabilidad relativa al sistema por un periodo de tiempo mas largo antes de su extinción.

En este estudio se presenta un ensayo para calcular el tiempo de vida de una población. Se hicieron varias simulaciones de dinámica poblacional de las cuales se obtuvieron tiempos promedios de extinción. La figura 52 muestra los tiempos promedios de extinción obtenidos de 20 simulaciones cada uno. En estas simulaciones se varió el número de celdas del autómatas celular y la población inicial con el fin de observar si el tiempo de extinción es más grande a medida que aumenta el número de celdas del autómatas celular sobre las cuales se distribuye la población inicial.

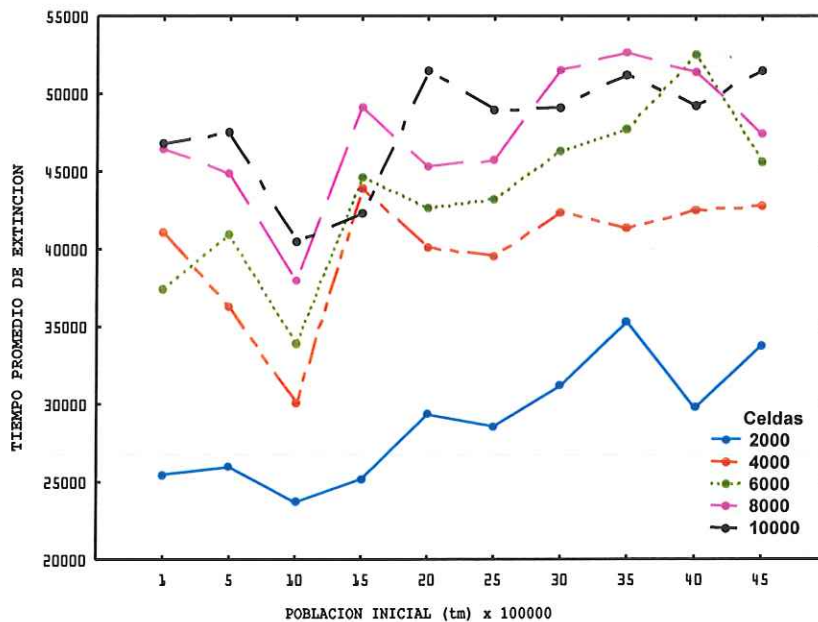


Figura 52. Tiempos de extinción promedio.

Aunque el crecimiento del tiempo de vida no sea siempre cada vez mayor en cada una de las trayectorias de la figura 52, es de esperarse que la conclusión de que el tiempo de vida de una población se vaya acrecentando conforme aumente el tamaño inicial de la población y el número de celdas del autómatas celular pueda ser validada estadísticamente en un estudio posterior.

Resumiendo, se puede decir que el sistema presenta estabilidad relativa cuando la trayectoria asociada con su dinámica oscila, en ausencia de perturbaciones de gran magnitud, sobre niveles de equilibrio en un periodo de tiempo razonablemente largo. Más aun, a través del estudio de la dinámica de la población hasta su extinción se determina dicho nivel de equilibrio y el umbral de viabilidad de dicha población. La figura 53 presenta las trayectorias que describen la dinámica de la población considerando su estructura de edades, y la figura 54 muestra la trayectoria descrita por la dinámica de la población de la tercera clase de edad, misma que se proporciona en la figura 53.

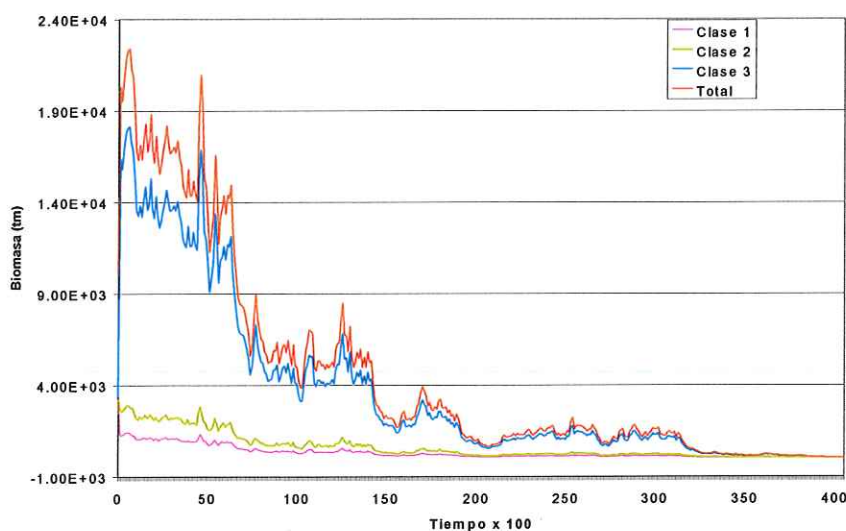


Figura 53. Trayectorias de extinción de la población con estructura de edades. Simulación realizada con un factor de iteración igual a 1 y un factor de observación de 100.

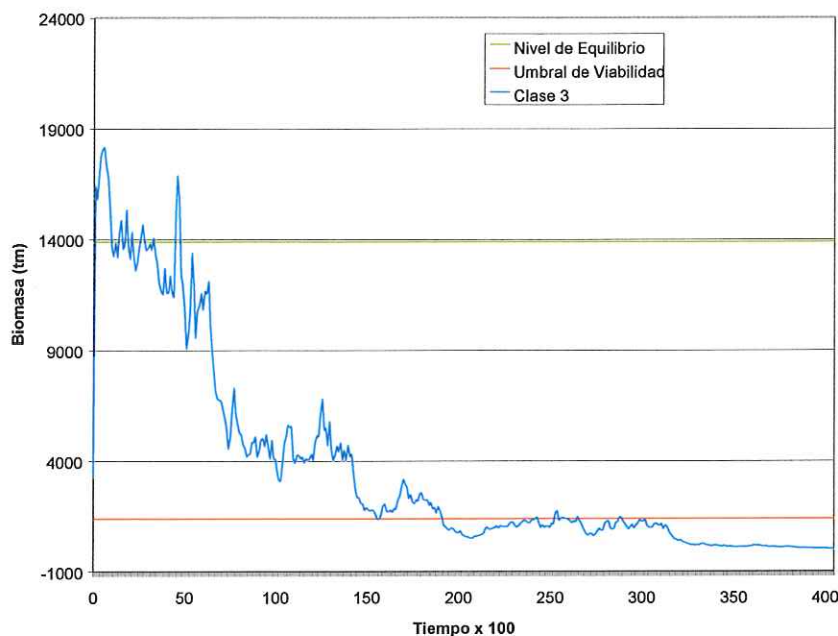


Figura 54. Trayectorias de extinción de la población de la tercera clase de edad, misma que se presenta en la figura 53. Simulación realizada con un factor de iteración igual a 1 y un factor de observación de 100.

En la figura 54 se puede observar el umbral de viabilidad (1384.99 tm), el cual representa un 10% del nivel de equilibrio (13849.99 tm) (Getz y Haight, 1989). Cuando la población atraviesa dicho umbral ésta se va a la extinción, es decir la población ya no se recupera. Queda claro que el nivel de equilibrio se asocia con la propiedad de estabilidad relativa del sistema, y esta a su vez depende de los valores de los parámetros que regulan la amplitud de las oscilaciones en las trayectorias. Además, el nivel de equilibrio depende del criterio que se utilizó en el diseño del simulador (ver capítulo IV sección 7). Puede ser que utilizando otros criterios se obtenga un mejor nivel de equilibrio y por lo tanto un mejor umbral de viabilidad. Por lo tanto es de esperarse que en trayectorias de extinción no siempre se observe un nivel de equilibrio que concuerde con el criterio utilizado para calcularlo (Getz y Haight, op. cit.), ya que este depende de otros parámetros.

Por otro lado, en un estudio sobre un sistema de explotación la determinación del umbral de viabilidad es importante, pues por arriba de él se debe explotar el recurso para no colapsarlo. Para propósitos de los objetivos de este trabajo, se utilizó el módulo del sistema de explotación implementado en el GtkPDS con el fin de diseñar estrategias de explotación que permitan obtener el mayor beneficio derivado de dicha explotación y la conservación del recurso.

Primeramente, se toma en cuenta que la explotación del recurso se da en una región hipotética, en la cual la distribución de la biomasa, esta dada por la dinámica de la población. Por lo tanto los valores de los parámetros que determinan dicha dinámica durante el periodo de explotación deben ser aquellos que mantengan el recurso estable durante un periodo de tiempo suficientemente largo. La tabla XXXV presenta los valores que se tomaron para los parámetros asociados a dos maneras de simular la dinámica de la población.

Tabla XXXV. Parámetros iniciales asociados con el estudio de la dinámica de la población. F.I. = Factor de iteración. F.O. = Factor de observación, D.I. = Distribución inicial de biomasa. S = Número de simulaciones.

Población Inicial (tm).	Tiempo de Iteración	F.I.	F.O.	Celdas	Peso tm x 1e-5	D. I.	S
1,000,000	-----	1	1	5000	5, 14, 29	Aleatorio	----
1,000,000	-----	0.5	1	5000	5, 14, 29	Aleatorio	----

Los parámetros de tiempo de iteración y número de simulaciones no se utilizan cuando se trabaja con el sistema de explotación. La tabla XXXVI presenta los valores que se tomaron

para las estrategias diseñadas. Las columnas E-1, E-2, E-3 y E-4 representan las estrategias de explotación 1, 2, 3, 4 respectivamente.

Tabla XXXVI. Estrategias de explotación.

Parámetros	E-1	E-2	E-3	E-4
Salida de los barcos	Aleatoria	Uniforme	Aleatoria	Uniforme
Zona de explotación	Aleatoria	Aleatoria	Abundante	Abundante
Tamaño de la flota	1000	1000	1000	1000
Periodo de explotación	1000	1000	1000	1000
Capacidad por barco	100 tm.	100 tm.	100 tm.	100 tm.
Rentabilidad de carga	23%	23%	23%	23%
Capacidad de la flota	Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea
Recurso a ser explotado	Clase 3	Clase 3	Clase 3	Clase 3
Umbral de viabilidad	50000 tm.	50000 tm.	50000 tm.	50000 tm.

Las estrategias de la tabla XXXVI se asocian con una manera de simular la dinámica de la población, la tabla XXXV contiene dos maneras, ambas se diferencian por el valor del factor de iteración. Entonces, para referirnos en lo sucesivo a cada una de ellas, se mencionará el valor del factor de iteración que se asocia con la estrategia sobre la cual se basa un sistema de explotación.

Cabe aclarar que en el sistema de explotación cuando la salida de los barcos es uniforme, significa que el número de barcos que salen por unidad de tiempo es igual al tamaño de la flota, cuando la salida de los barcos es aleatoria, el número de barcos que salen por unidad de tiempo oscila entre 1 y el tamaño de la flota. También, cuando la capacidad de la flota es homogénea significa que todos los barcos tienen la misma capacidad de carga, cuando ésta

es heterogénea la capacidad de carga es diferencial entre estos. Además, la salida de un barco es la unidad de esfuerzo pesquero, es decir, cada viaje de un barco corresponde a una unidad de esfuerzo.

Primero, se utilizó un sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1. Los datos de CPUE y biomasa susceptible de ser capturada producidos por este sistema son presentados en la figura 55.

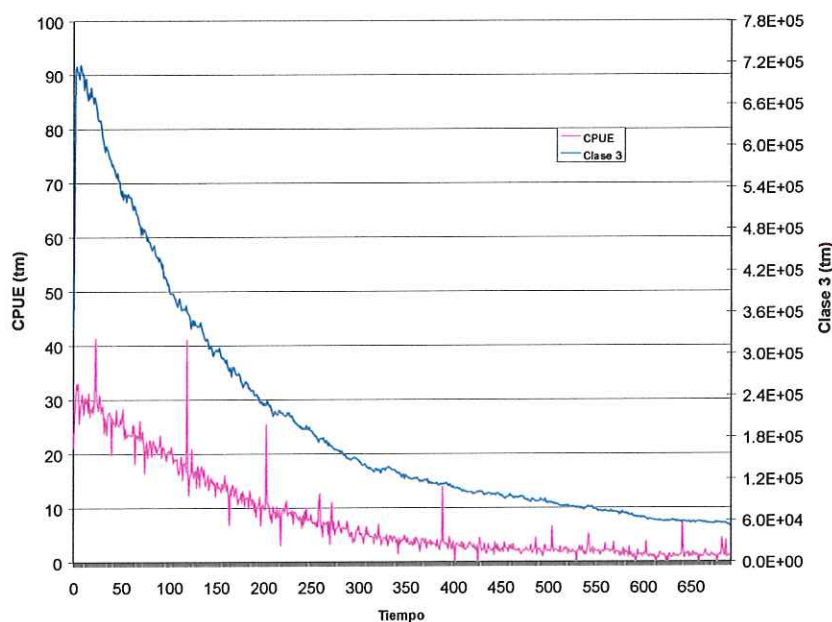


Figura 55. Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomasa estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.

En la estrategia E-1 se tiene un periodo de explotación de 1000 unidades de tiempo, sin embargo, la figura 55 muestra capturas por unidad de esfuerzo hasta un periodo de explotación de 691 unidades. Esto se debe a que el sistema de explotación llegó al umbral de viabilidad y no pudo continuar explotando el recurso. Los puntos alejados de la

tendencia de la trayectoria de la CPUE indican que, para esa unidad de tiempo, la captura total fue mayor comparada con el número de barcos que salió a pescar. Lo cual quiere decir que para obtener mayor captura, en una unidad de tiempo, no precisamente se requiere un mayor número de barcos, cuando se trata el número de barcos por salida aleatoriamente y la distribución de barcos sobre el recurso es también aleatoria. La figura 56 muestra los datos de capturas y el número de barcos por unidad de tiempo, correspondientes a este sistema de explotación.

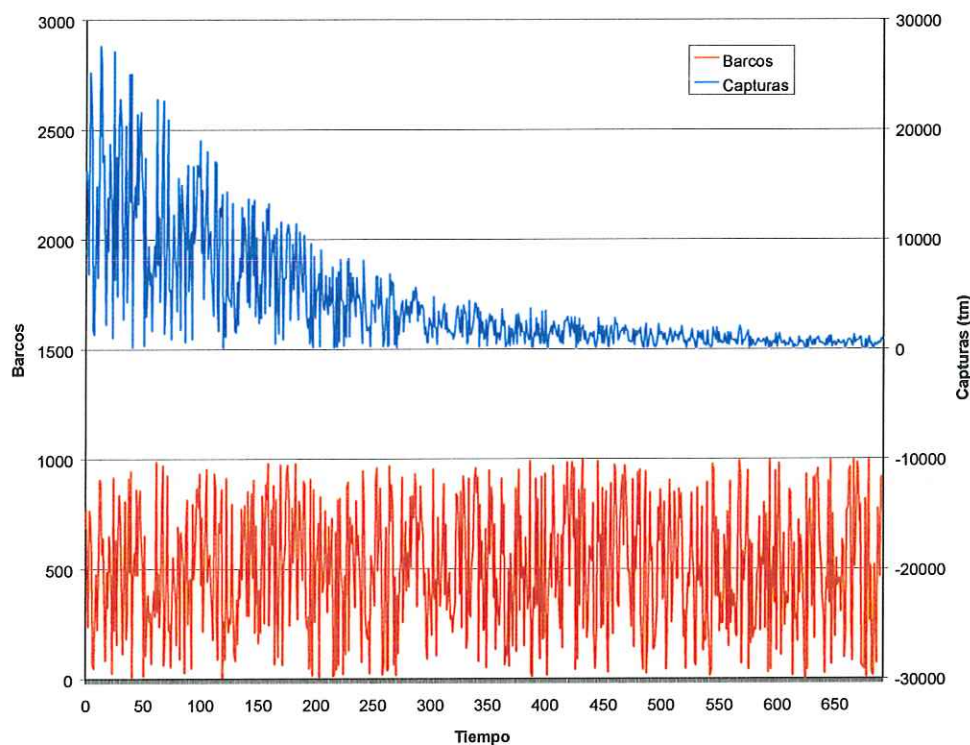


Figura 56. Capturas y el número de barcos por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.

Ahora, se utilizó un sistema de explotación basado en la estrategia de explotación E-2, con un factor de iteración igual a 1. Los resultados obtenidos por este sistema de explotación se presentan en las gráficas de las figuras 57 y 58.

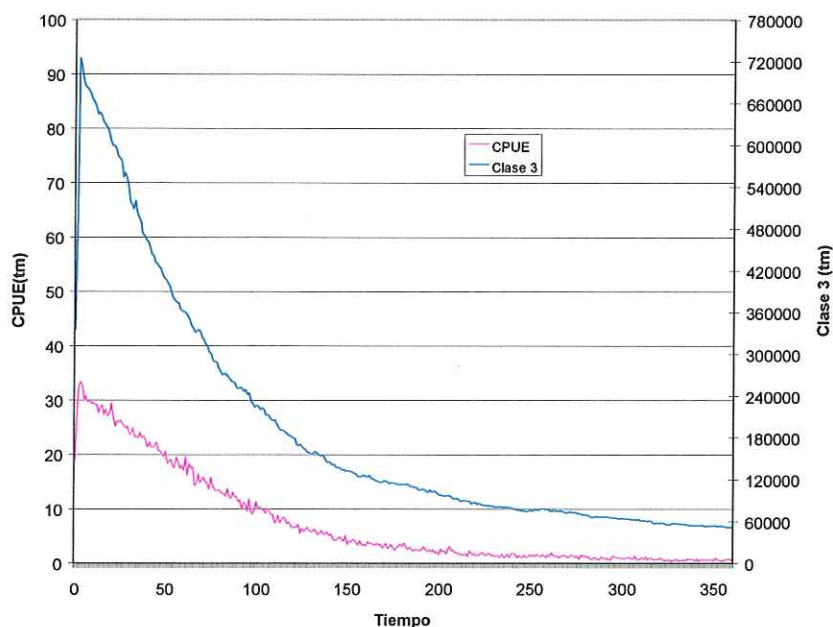


Figura 57. Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomazas estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.

Las capturas por unidad de esfuerzo que se observan en la figura 57 presentan un comportamiento más estable a diferencia de las que se observan en la figura 55, esto se debe a que en la estrategia E-2 la salida del número de barcos es uniforme, en la estrategia E-1 la salida es aleatoria. Lo cual implica que la discrepancia entre las capturas por unidad de tiempo sea pequeña durante el periodo de explotación en la figura 57. La figura 58 muestra la gráfica de las capturas y el número de barcos por unidad de tiempo correspondientes a este sistema de explotación, en la gráfica, la recta representa la uniformidad del número de barcos por unidad de tiempo.

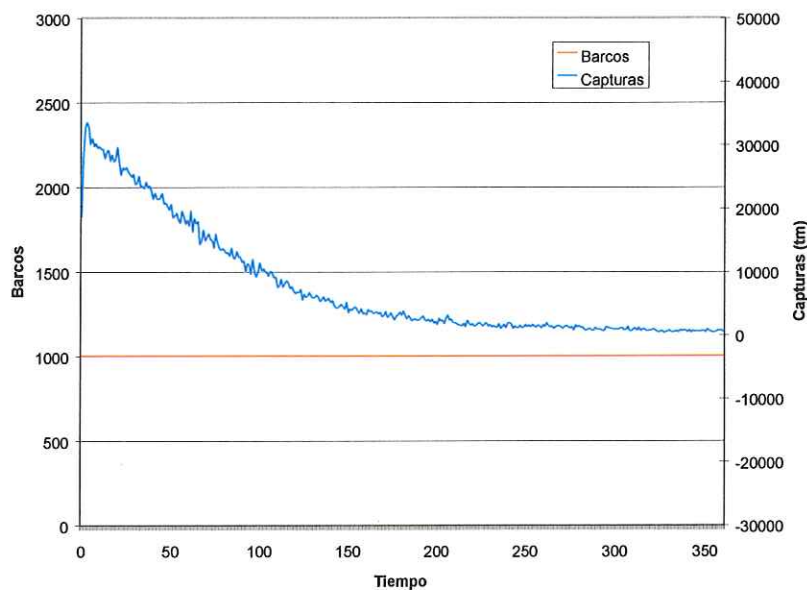


Figura 58. Capturas y el número de barcos por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.

Además, en la figura 57 se observa que la estrategia E-1 provoca que el nivel de biomasa llegue más rápido al umbral de viabilidad, debido a que dicha estrategia considera el número de barcos por salida uniformemente, a diferencia de la trayectoria de biomasa que se observa en la figura 55 (ver figura 59). Sin embargo, no necesariamente se obtiene más captura cuando el número de barcos por salida es uniforme, pues puede ocurrir que cuando ésta es aleatoria se obtenga más captura si modificamos por ejemplo la capacidad de carga de la flota.

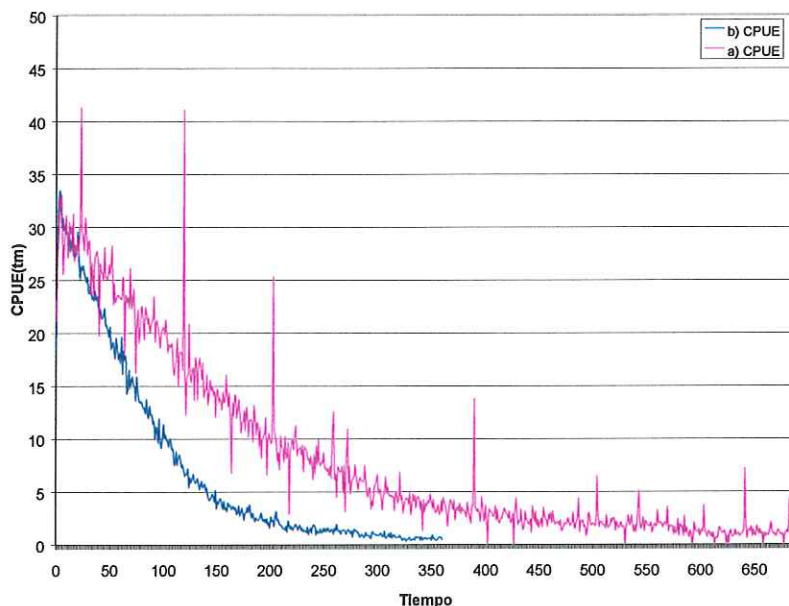


Figura 59. a) CPUE obtenidas por un sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población (figura 55). b) CPUE obtenidas por un sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población (figura 57).

Las estrategias anteriores se utilizaron nuevamente para reproducir los sistemas de explotación, pero ahora con un factor de iteración de 0.5. De antemano se sabe que un factor de iteración más pequeño comparado con el que se utilizó en el caso anterior, mantiene a la población en niveles de biomasa más altos.

Primero, se realizó un sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 0.5. Los datos de CPUE y la biomasa capturable generada por el simulador los muestra la figura 60.

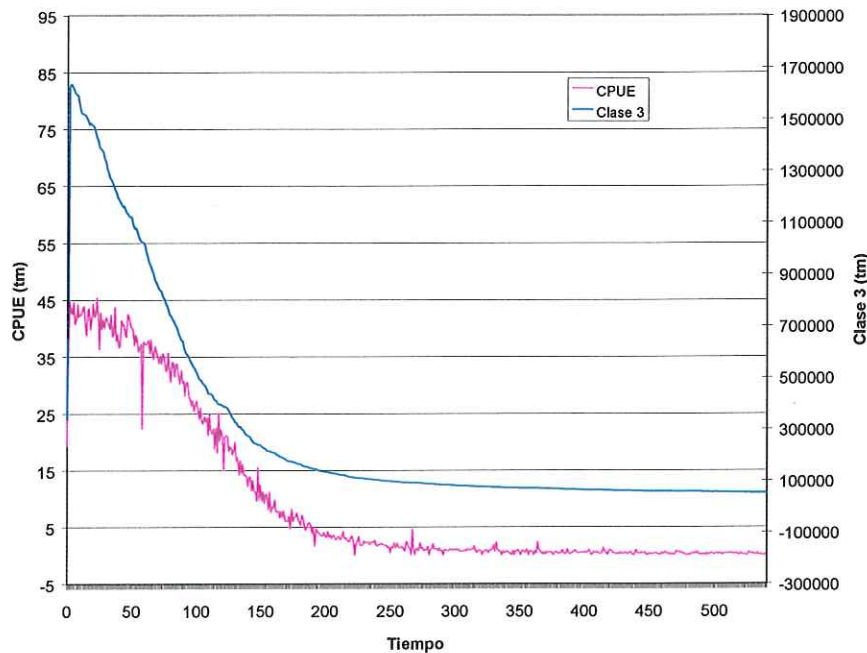


Figura 60. Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomásas estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.

En la figura 60 se puede observar que efectivamente, el nivel de la biomasa al principio es más alto como se esperaba, también las capturas por unidad de esfuerzo al principio muestran una tendencia a mantenerse oscilando sobre un nivel alto, a pesar de la aleatoriedad del número de barcos por salida, y después se acomoda la tendencia siguiendo paralelamente la trayectoria de la biomasa. Se espera que entre más altos sean los niveles de biomasa generada, mayor será la biomasa susceptible de ser capturada y por lo tanto los barcos tenderán a saturar su capacidad de carga. La figura 61 muestra las capturas obtenidas por este sistema de explotación comparadas con las obtenidas en la figura 56, en donde se utilizó la misma estrategia pero con un factor de iteración igual a 1.

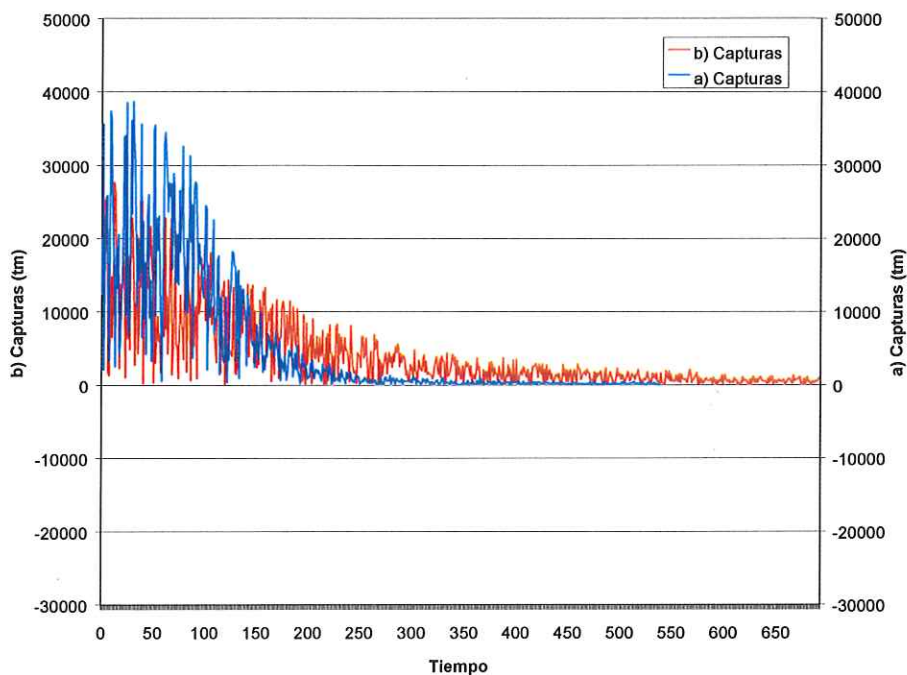


Figura 61. a) Capturas obtenidas por un sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población. b) Capturas obtenidas por un sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población (figura 56).

Aunque el periodo de explotación fue menor para este sistema de explotación que en el sistema utilizado en la figura 56, hay una diferencia menor a favor de la captura total, obtenida durante el periodo de explotación del sistema utilizado para este caso, esto se debió a que las CPUE fueron mayores debido a que nivel de biomasa fue mayor desde el principio en comparación con el nivel de biomasa en ejemplo de la figura 56.

A continuación se consideró un sistema hipotético de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 0.5. La figura 62 presenta los datos obtenidos de la CPUE y la biomasa estimada. En esta figura se observa que efectivamente, el nivel de biomasa aumenta como se esperaba, dado que el factor de iteración es más pequeño

comparado con el factor que utilizó el sistema de explotación de la figura 57, por lo tanto las tasas de natalidad y mortalidad son más pequeñas.

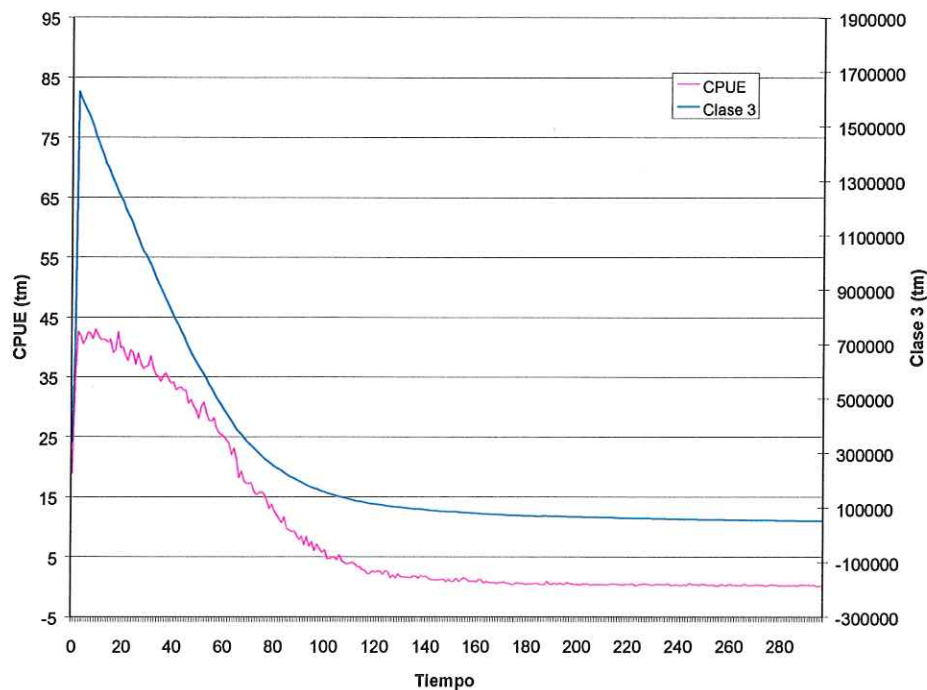


Figura 62. Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomasa estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.

Al igual que en el caso de la figura 60, a mayor biomasa mayor captura. La figura 63 presenta las capturas y el número de barcos por unidad de tiempo obtenidas por este sistema. La figura 64 hace una comparación entre las capturas presentadas en la figura 63 y las capturas presentadas en la figura 58.

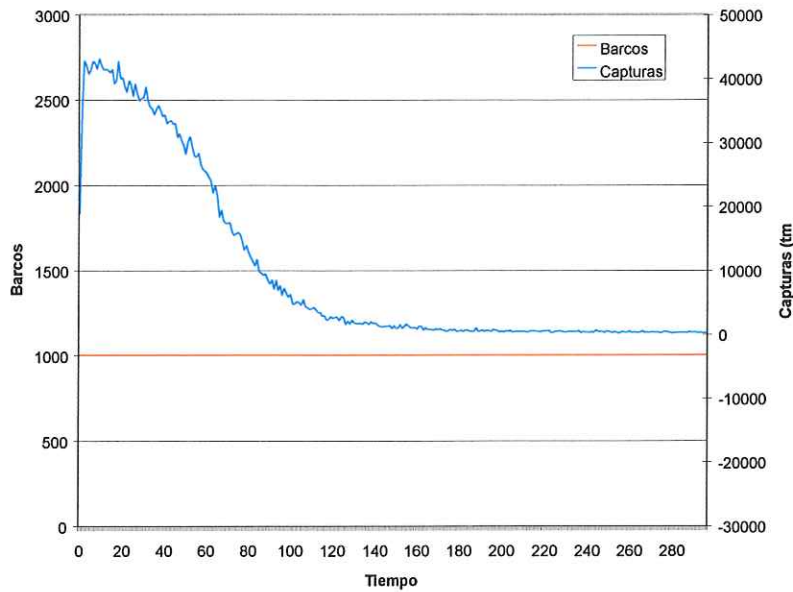


Figura 63. Capturas y el número de barcos por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.

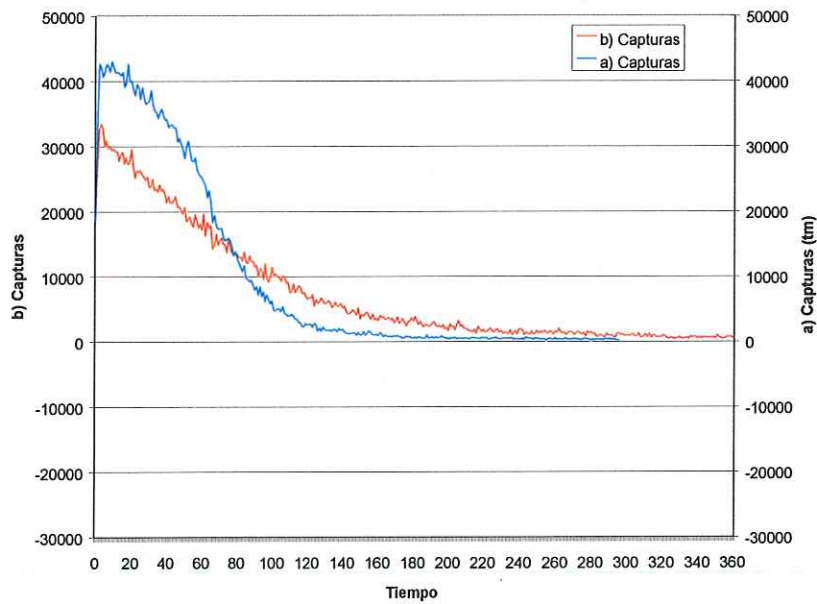


Figura 64. a) Capturas obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población. b) capturas obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-2, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.

En los siguientes sistemas de explotación se utilizaron las estrategias E-3 y E-4, ambas estrategias difieren de las estrategias E-1 y E-2 en la distribución de los barcos, como se muestra en la tabla XXXVI. En el caso de las estrategias E-3 y E-4 la distribución de los barcos es hacia zonas de mayor abundancia de biomasa, por lo que a estos casos se asocian los mayores beneficios derivado de la explotación.

Los primeros resultados de este estudio se relacionan con un sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 1 (ver figura 65).

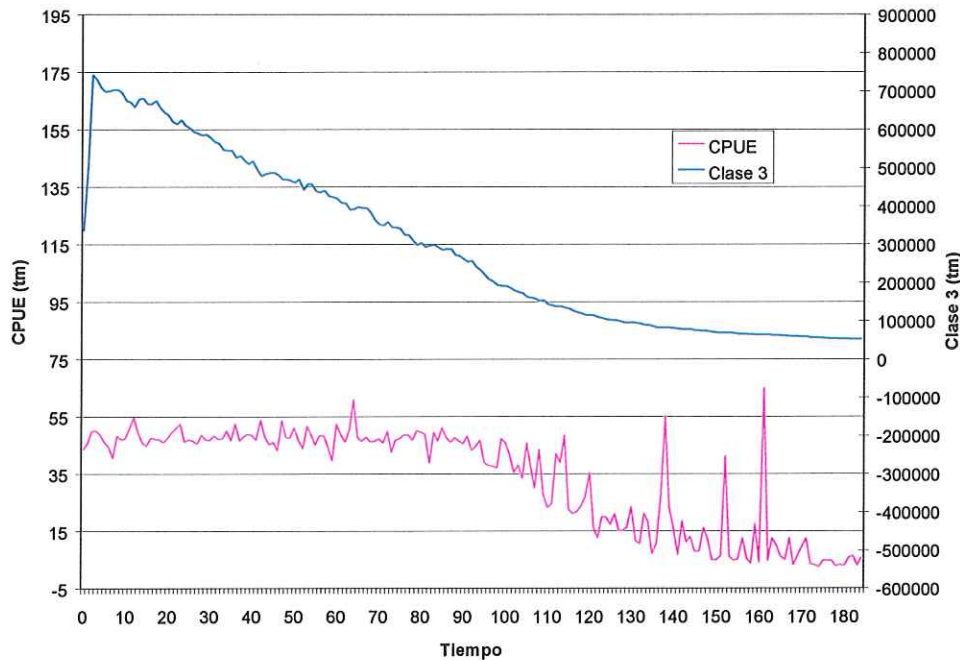


Figura 65. Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomazas estimadas. Sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.

En la figura 66 se puede observar que el nivel de la CPUE asociado con la estrategia E-3 y un factor de iteración igual a 1, es mayor comparado con el nivel de la CPUE en el caso en donde el sistema de explotación esta basado en la estrategia E-1, con el mismo factor.

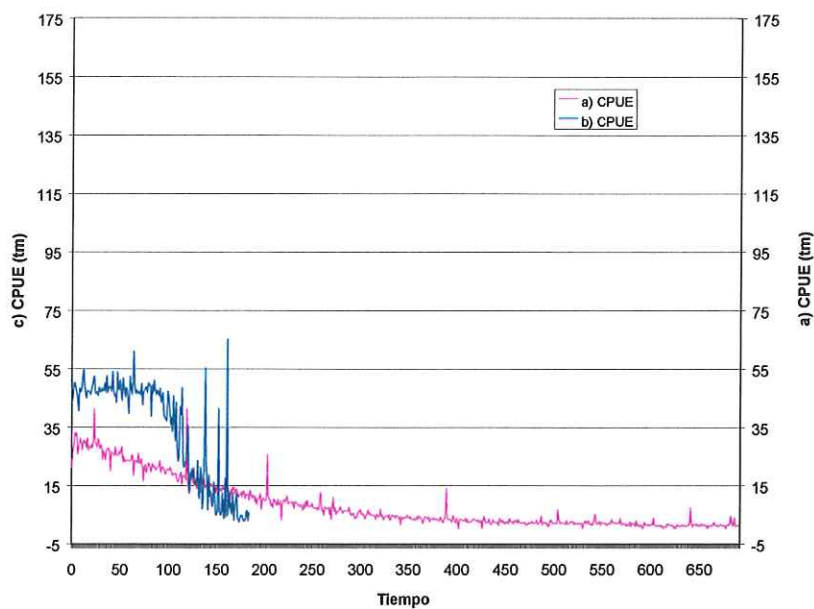


Figura 66. a) CPUE obtenidas por el sistema de explotación basado en la estrategia E-1, con un factor de iteración igual a 1. b) CPUE obtenidas por el sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 1.

Más aún, puede decirse que si los barcos son distribuidos hacia zonas de mayor abundancia de biomasa se obtendrán mayores capturas (ver figura 67).

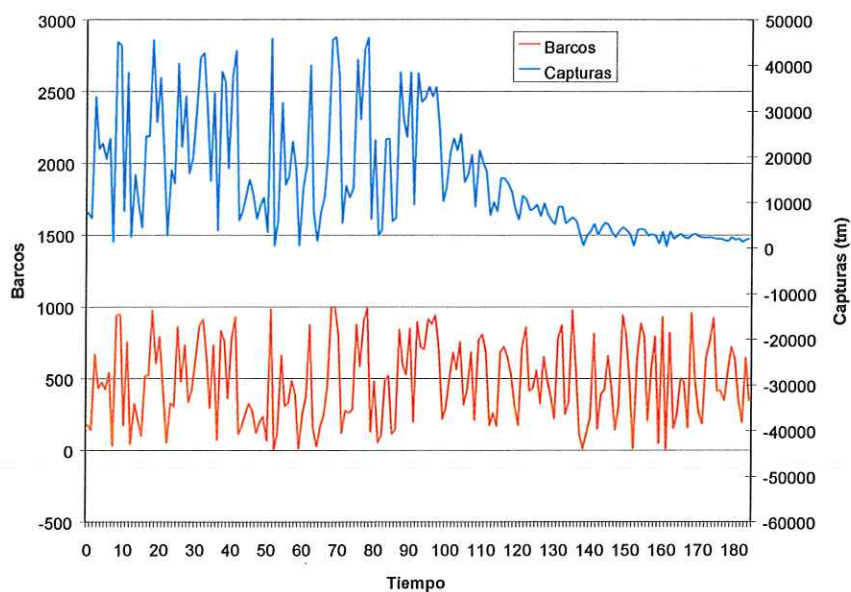


Figura 67. Capturas y el número de barcos por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.

Al haber más acceso a la biomasa capturable el nivel de saturación se alcanza más rápido, es decir E-3 permite que los barcos llenen sus bodegas más rápido. Sin embargo, las estrategias de explotación (E-1, E-2, E-3, E-4), tienen un límite de captura. Lo cual quiere decir que sin importar la distribución de los barcos que se esté dando, las capturas por unidad de esfuerzo tenderán asintóticamente a un límite de captura, el cual es directamente proporcional a la capacidad de carga de los barcos y al tamaño de la flota. En el caso de la figura 65 se puede observar notoriamente como las CPUE tienden hacia un valor máximo, debido a que la distribución del esfuerzo es hacia zonas de mayor abundancia. También en esta misma figura se observa como el nivel de la biomasa explotable esta bajando mientras que las CPUE se mantiene oscilando alrededor de su nivel más alto por un periodo de tiempo relativamente largo. Después de esto, el nivel de las CPUE baja porque el nivel de biomasa ha disminuido considerablemente, esto sucede porque al tomar la biomasa disponible relativamente niveles más bajos las zonas de mayor abundancia tendrán menores valores en los mismos términos. De este modo el nivel de saturación de los barcos no necesariamente se alcanza. Es decir al disminuir dramáticamente la biomasa disponible, las CPUE asociadas tienden a mantenerse en niveles más bajos que el señalado en las primeras unidades de tiempo.

Un sistema de explotación basado en la estrategia E-4, con un factor de iteración igual a 1, da como resultado las CPUE y niveles de biomasa presentadas en la figura 68. Debido a que en la estrategia E-4 el número de barcos por salida es uniforme, la amplitud de las oscilaciones de la trayectoria de las CPUE disminuye considerablemente lo mismo que el

intervalo de oscilación de las CPUE sobre un nivel constante. También puede observarse que el período de explotación disminuye correspondientemente (ver figura 68).

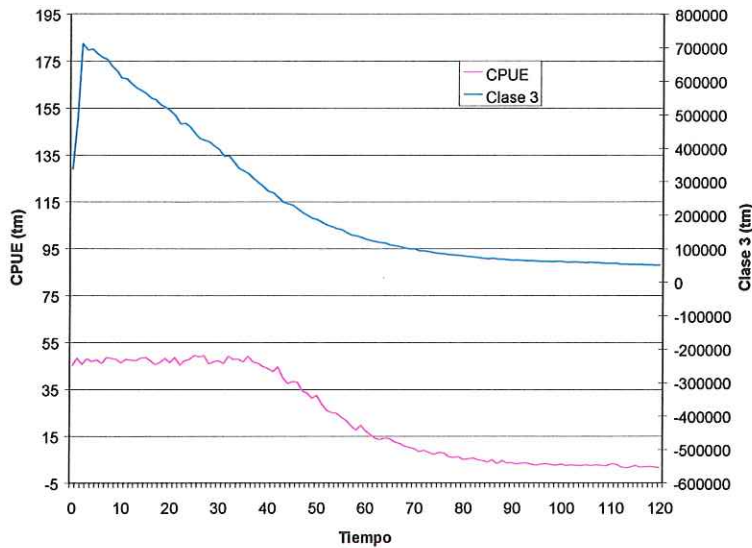


Figura 68. CPUE y la biomasa estimada por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-4, con un factor de iteración igual a 1 en la dinámica de la población.

Se utilizaron nuevamente las estrategias E-3 y E-4 para realizar sistemas de explotación, pero ahora con un factor de iteración igual a 0.5. Se sabe de antemano que un factor de iteración menor que 1, mantiene en niveles de biomasa más altos durante un periodo de tiempo relativamente más largo, debido a que en este caso, el valor del factor de iteración disminuye las tasas de la natalidad y la mortalidad en la dinámica de la población. La figura 69 muestra las CPUE y la biomasa estimada por unidad de tiempo, obtenidas por el sistema de explotación basado en la estrategia E-3, y la figura 70 las obtenidas utilizando la estrategia E-4.

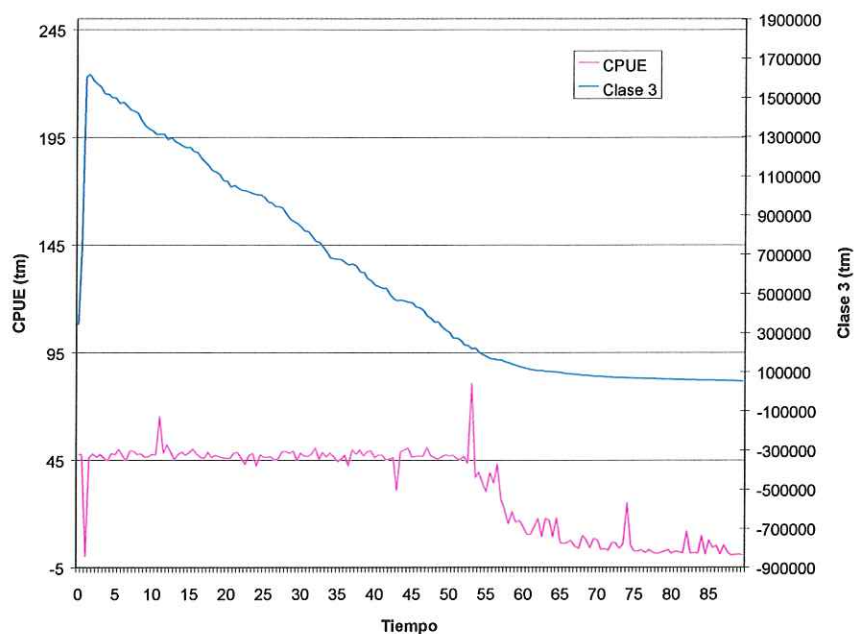


Figura 69. Las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomasa estimada por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.

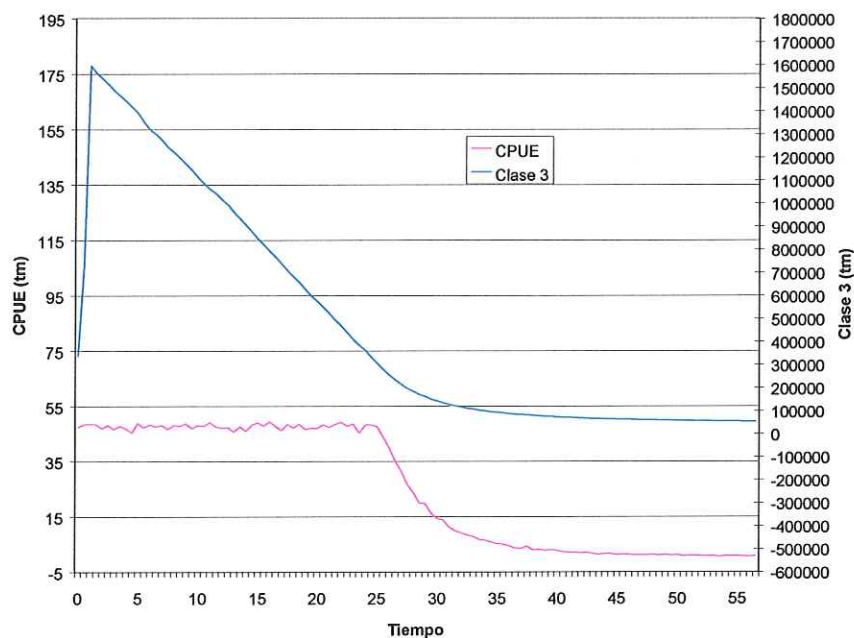


Figura 70. Las capturas por unidad de esfuerzo (CPUE) y biomasa generada por unidad de tiempo. Sistema de explotación basado en la estrategia E-4, con un factor de iteración igual a 0.5 en la dinámica de la población.

Se puede observar que los niveles de las CPUE en ambas figuras, 69 y 70, son similares a los niveles de las CPUE de las figuras 62 y 64, a pesar de que en este estudio el nivel de biomasa se incremento por el valor del factor de iteración (ver figura 71).

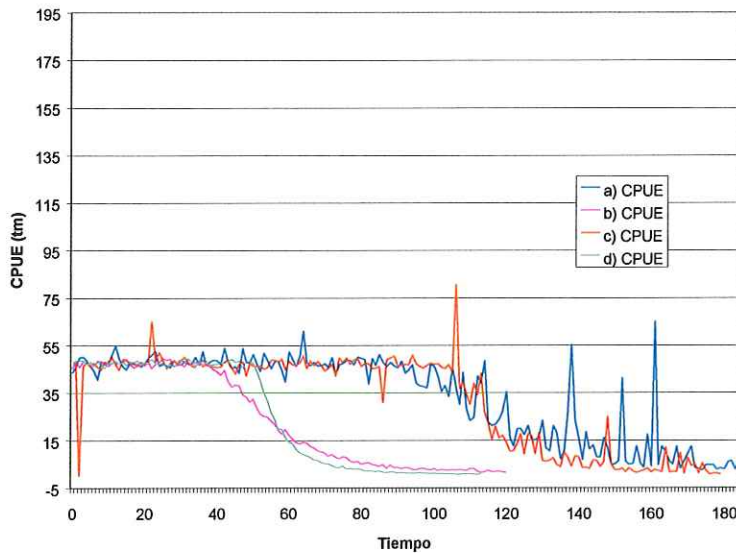


Figura 71. CPUE obtenidas por diferentes sistemas de explotación. a) estrategia E-3, factor de iteración igual a 1 (figura 65). d) estrategia E-4, factor de iteración igual a 1 (figura 68). c) estrategia E-3, factor de iteración igual a 0.5 (figura 69). d) estrategia E-4, factor de iteración igual a 0.5 (figura 70).

Si se realiza un sistema de explotación basado en cualquiera de las dos estrategias, E-3 o E-4, con un factor de iteración menor a 0.5, se observará que los niveles de la CPUE seguirán siendo similares a las presentadas en la figura 71. Dado que la capacidad de carga de la flota pesquera en ambas estrategias es la misma, las gráficas de CPUE correspondientes presentan el mismo límite de captura. La diferencia entre los resultados presentados por las figuras 69 y 70, además del nivel de biomasa inicial, es el periodo de explotación. Se sabe que cuando el número de barcos es uniforme el nivel de biomasa llega más rápido al umbral de viabilidad.

Además, cualquier sistema de explotación basado en las estrategias E-3 y E-4 tendrán un periodo de explotación menor, debido a que las estrategias E-3 y E-4 distribuyen los barcos a zonas de mayor abundancia, y las estrategias E-1 o E-2, distribuyen los barcos hacia zonas aleatorias, aún cuando en la estrategia E-2 el número de barcos por salida sea uniforme. La figura 72 muestra una gráfica con la CPUE obtenida para la E-2 y la CPUE obtenida para la E-4, ambas estrategias con un factor de iteración igual a 0.5. En esta figura se observa la diferencia marcada al inicio de este párrafo.

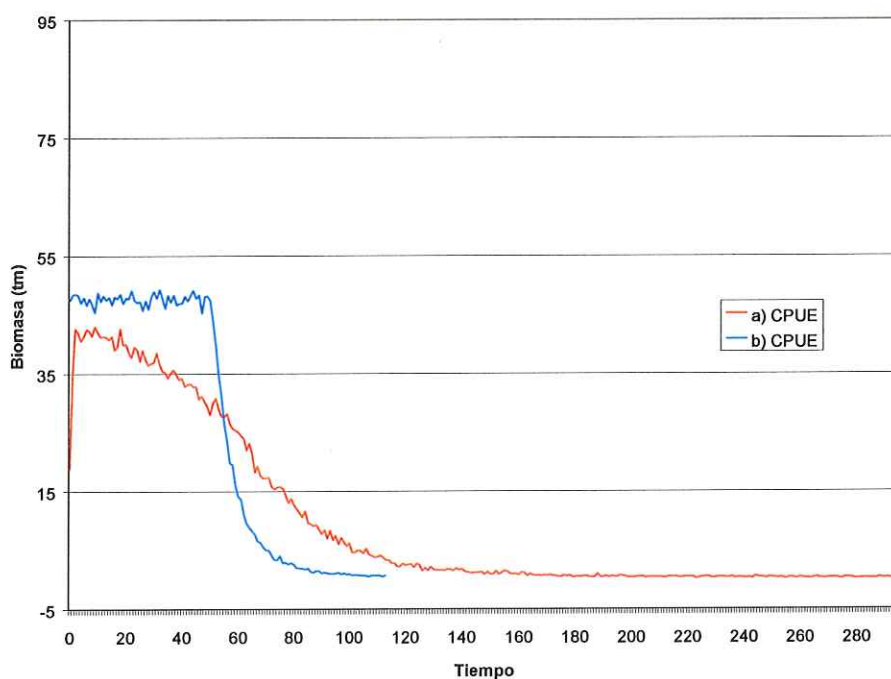


Figura 72. a) CPUE obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 0.5 (figura 69). b) CPUE obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-4, con un factor de iteración igual a 0.5 (figura 70).

La figura 73 marca la diferencia en cuanto al periodo de explotación, de ésta figura y la figura 72, mostrando las CPUE obtenidas por un sistema de explotación basado en las mismas estrategias E-3 y E-4, pero con un factor de iteración igual a 1.

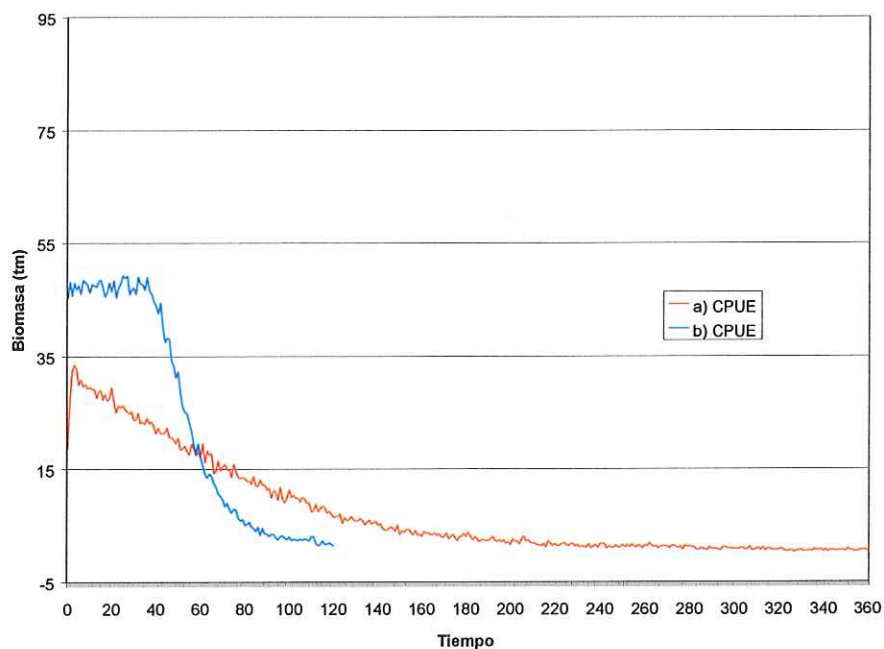


Figura 73. a) CPUE obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-3, con un factor de iteración igual a 1 (figura 65). b) CPUE obtenidas con un sistema de explotación basado en la estrategia E-4, con un factor de iteración igual a 1 (figura 68).

De los análisis anteriores podemos concluir que existe una dependencia de la CPUE con relación a la estrategia de explotación y también con relación a la disponibilidad de biomasa capturable relativa a la eficiencia de la estrategia de explotación observándose que mayores niveles de biomasa disponible generarán mayores niveles de captura por unidad de esfuerzo. En resumen, se desprende de los estudios anteriores que, desde un punto de vista matemático, existe una relación entre la biomasa capturable y la CPUE caracterizada por una familia de curvas que pasan por el origen, es decir podemos esperar que a biomasa disponible en niveles extremadamente bajos correspondan valores también extremadamente bajos para la CPUE correspondiente. Una alta disponibilidad de biomasa relativa a la estrategia de captura generará curvas CPUE-biomasa disponible, que parten del origen y tienden asintóticamente al nivel de saturación determinado por la capacidad de carga de los

barcos. La relación matemática que describe la variación de la CPUE como función de la biomasa disponible tiene asociada una tasa de cambio con valores positivos, pudiendo tomar un valor constante, o bien podría ésta presentar una variación unimodal que decae asintóticamente a cero, siendo la magnitud y la posición de su máximo valor los parámetros que determinan la rapidez con la cual se alcanza el nivel de saturación para la CPUE.

VII.2. Conclusiones

El análisis de los resultados aportados por el GtkPDS nos permite concluir que este puede ser considerado una herramienta capaz de reproducir el comportamiento de las trayectorias de variación de biomasa poblacional con el tiempo. Esto puede verse en la sección VII.1 de este mismo capítulo, donde se observan tendencias a la explosión y a la extinción, oscilaciones de amplitud variable alrededor de niveles de equilibrio, lo cual llamamos en este trabajo propiedad de estabilidad relativa.

Por lo que respecta a la utilización del GtkPDS como una herramienta de manejo en los sistemas de explotación pesquera se concluye que este proporciona valiosa orientación para la evaluación de hipótesis relevantes a la dinámica de dichos sistemas. En particular el estudio realizado con diferentes estrategias de pesca permite establecer la validez de la hipótesis de existencia de una relación matemática entre la captura por unidad de esfuerzo y la biomasa susceptible de ser capturada.

En efecto, en la sección anterior se concluyó que la expresión de la CPUE como función de la biomasa debía cumplir propiedades especiales. Esta expresión puede tener una derivada positiva, con variación unimodal tendiendo a cero por valores de la biomasa capturable tanto pequeños como relativamente grandes. La hipótesis anterior implica que la función que describa la variación de la CPUE en términos de la biomasa disponible deba poseer una gráfica creciente a partir del origen y con tendencia hacia un nivel de saturación determinado por la capacidad de carga de la flota. Dicho modelo de variación puede esperarse para los casos en donde se utiliza un sistema de explotación basado en las estrategias E-1, E-2, E-3 y E-4. Sin embargo las estrategias E-1, E-2 se tiene una menor eficiencia relativa para el desempeño de la flota, efecto asociado con la distribución de los barcos. Esto, no permite que el nivel de saturación de la flota se alcance antes de llegar al umbral de viabilidad, pudiéndose asociar a esto la hipótesis de variación proporcional de la captura por unidad de esfuerzo con la biomasa capturable (Schnute, 1977). Lo anterior equivale a suponer la existencia de una forma lineal para la mencionada variación. En efecto, el modelo lineal

$$U = qx(t)$$

en donde U es igual a la CPUE, $x(t)$ es la biomasa capturable, y q es la tasa de cambio, de U con respecto a x fue ajustado a los datos de la figura 55, los cuales libres de valores extremos presentaron normalidad (ver gráfica 74). Los resultados del ajuste realizado, mediante el paquete STATITSTICA versión 5.5, presentaron una $R^2 = 0.97$ y el valor de $q = 0.00004$.

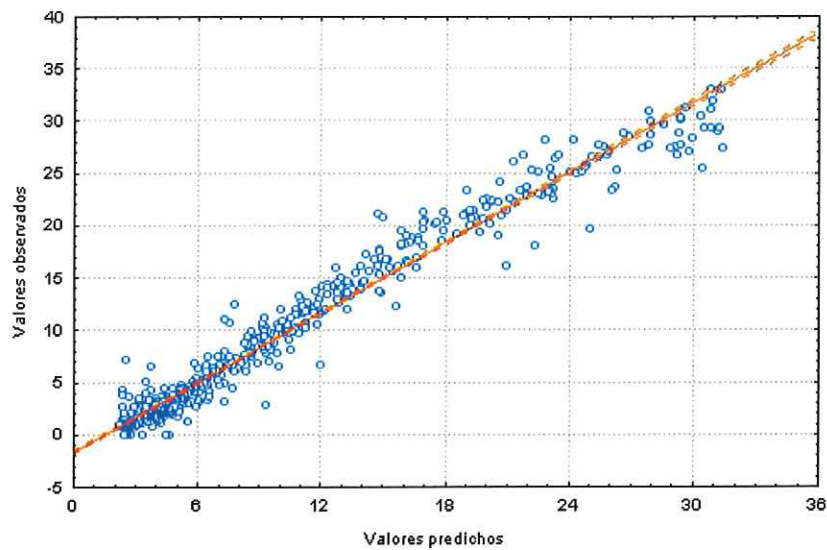


Figura 74. Valores predichos contra valores observados. Regresión lineal realizado con los datos de la CPUE y la biomasa capturable correspondientes a la figura 55.

La gráfica que corresponde a los valores residuales muestra una distribución aleatoria aceptable (ver figura 75).

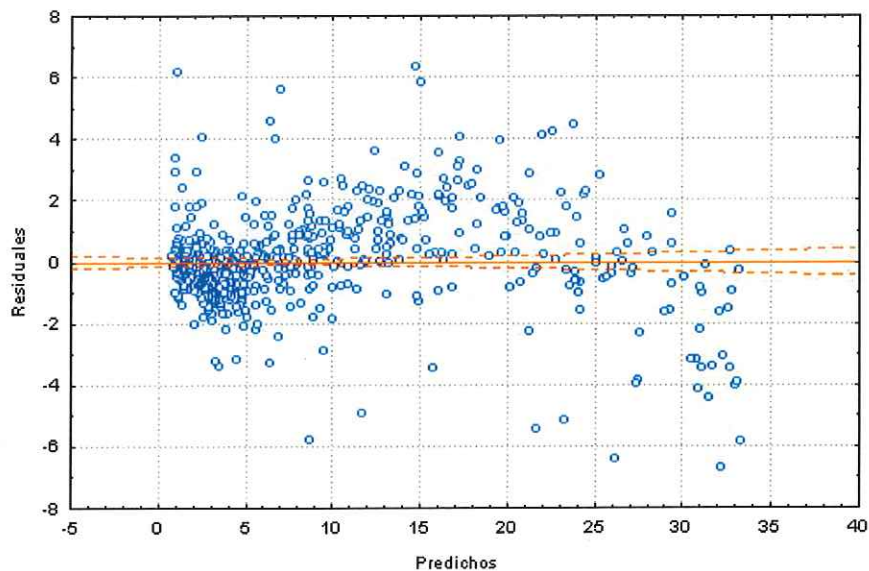


Figura 75. Valores predichos contra valores residuales. Regresión lineal realizada con los datos de la CPUE y la biomasa capturable correspondientes a la figura 55.

Lo anterior permite concluir que el modelo lineal cumple la primera condición para la existencia de bondad de ajuste dado que el valor esperado de los residuales es cero. Sin embargo, cabe mencionar que el modelo lineal podría tener validez estadística solo en los casos en los cuales no hay una alta disponibilidad relativa de biomasa para la flota pesquera, como se observa en las CPUE obtenidas con un sistema de explotación basados en las estrategias E-2, E-3 y E-4. Se concluye que para esas estrategias un modelo con variación unimodal para la tasa de cambio de la CPUE en términos de la biomasa sería más afortunado en el sentido de poder producir una mejor bondad de ajuste. No obstante, la selección del modelo que presente mayor bondad de ajuste, para las estrategias E-2, E-3 y E-4, escapa a los objetivos del presente trabajo.

Consecuente se puede establecer una conclusión general. Esta se relaciona con el uso de la hipótesis lineal para la variación de la CPUE en términos de la biomasa. Esta suposición según el análisis aquí presentado carece de validez general y posiblemente ha sido invocada regularmente en ejercicios de modelación de sistemas de explotación pesquera más por la conveniencia a nivel matemático que por su capacidad predictiva.

El simulador presentado en este trabajo aporta elementos valiosos para contribuir en la discusión sobre la idoneidad de los métodos de estimación de biomasa basados en la captura por unidad de esfuerzo como índice de abundancia. En efecto, dichos métodos que se basan en la suposición de existencia de una relación funcional entre la captura por unidad de esfuerzo y la biomasa susceptible de ser captura serán válidos desde un punto de vista cuantitativo solo en aquellos casos en los cuales se establezcan hipótesis que tomen en

cuenta la contribución de la estrategia de explotación en la determinación de la relación entre ambas variables, pues como se observó en este capítulo no puede haber una relación entre dichas variables que se cumpla de manera general, es decir esta puede ser lineal solo para un determinado tipo de estrategia de pesca mientras que para otras podría presentarse en una forma creciente a partir del origen y con tendencia asintótica hacia un nivel de saturación determinado por la capacidad de carga de los barcos y el número de barcos. Será entonces el conocimiento de la estrategia de pesca lo que determinará el tipo de relación esperada entre las variables en cuestión. Salvado este requisito los modelos de producción serán una valiosa herramienta auxiliar en el manejo de sistemas de explotación pesquera, pues producirán buenas estimaciones de la biomasa capturable y proveerán también en un marco de análisis bioeconómico general.

APENDICE

Simulador de dinámica poblacional - GtkPDS

Cuando se comienza a trabajar con el sistema GtkPDS, en la pantalla aparece la ventana principal que muestra la figura A1.

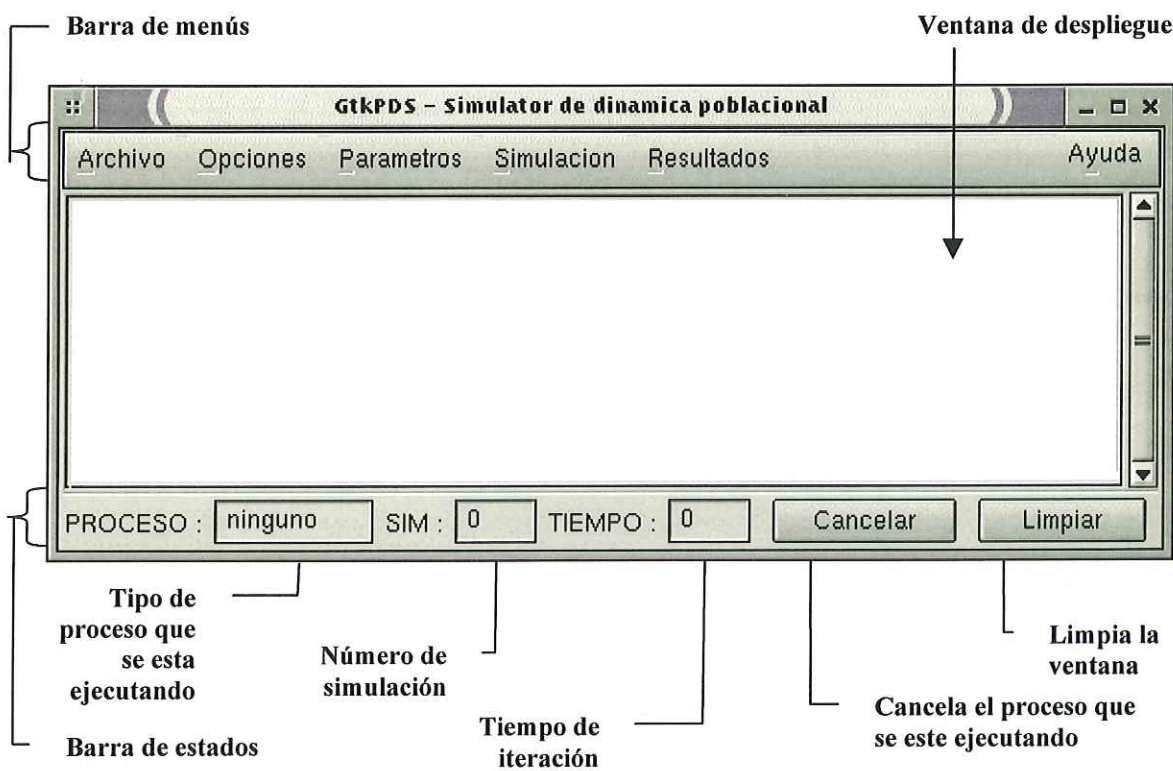


Figura A1. Ventana principal del sistema GtkPDS.

El sistema consiste de una barra de menús, una ventana de despliegue y una barra de estados. Cada selección en la barra de menús despliega un menú vertical sobre la ventana de despliegue de esta misma figura, listando opciones o comandos adicionales para trabajar

con el sistema. Muchas de estas opciones despliegan ventanas flotantes, las cuales extienden otras opciones para controlar dicho sistema. Este apéndice contiene seis secciones, cada una de ellas muestra la funcionalidad de cada uno de los menús de la barra de menús del sistema GtkPDS. La ventana de despliegue esta diseñada para desplegar información específica, en donde dicha información no puede ser editada. La barra de estados contiene tres indicadores que muestran el estado de un proceso cuando éste es activado. Además, la barra de estados contiene dos botones, uno de ellos cancela un proceso cuando éste esta activo, el otro borra la información que se encuentra en la ventana de despliegue. En el ambiente principal del sistema (figura A1), alternativamente, los menús de la barra pueden ser activados mediante el uso de teclas claves. Por ejemplo, si se quiere activar el menú de Archivo solo hay que presionar las teclas **Alt+A**, al mismo tiempo. La tecla de la letra A corresponde a la letra que tiene subrayada el menú Archivo (ver figura A1). En el caso de que se quiera activar alguno de los demás menús hay que hacer lo mismo.

Después de examinar los menús de la barra, la barra de estados, la ventana de despliegue y en general el ambiente del sistema, el usuario podrá realizar simulaciones, las cuales generan datos que el usuario podrá utilizar para hacer análisis estadísticos.

A.1 El menú Archivo – [Alt+A].

El menú Archivo contiene una variedad de comandos para trabajar con los archivos. Estos comandos pueden ser usados para abrir y leer un archivo desde el disco, para trabajar con

un directorio, para salvar información en un archivo o para terminar la ejecución del sistema GtkPDS. Este menú contiene una lista de tres comandos, los cuales son fáciles de utilizar (ver figura A2). Estos comandos son examinados en esta sección en el orden en el cual aparecen en el menú.



Figura A2. Comandos del menú Archivo.

A.1.1 El comando Abrir – [Ctrl+A].

Abrir, el primer comando en el menú Archivo, puede ser activado por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+A. Este comando activa la ventana de selección de archivos y directorios (ver figura A3) para abrir un archivo existente, con formato texto, y desplegar su contenido en la ventana de despliegue de la figura A1. Este contenido no puede ser editado por el usuario, ya que la ventana de despliegue no fue diseñada para edición, solo puede ver la información y utilizar la barra espaciadora que esta justo a la derecha de la ventana para observar la información del archivo en caso de que esta no pueda ser desplegada por completo en dicha ventana. En el momento en que el usuario

desea borrar la información desplegada en ésta ventana, solo tiene que presionar el botón de **Limpiar** que se encuentra en la barra de estados de la ventana principal del sistema GtkPDS (ver figura A1).

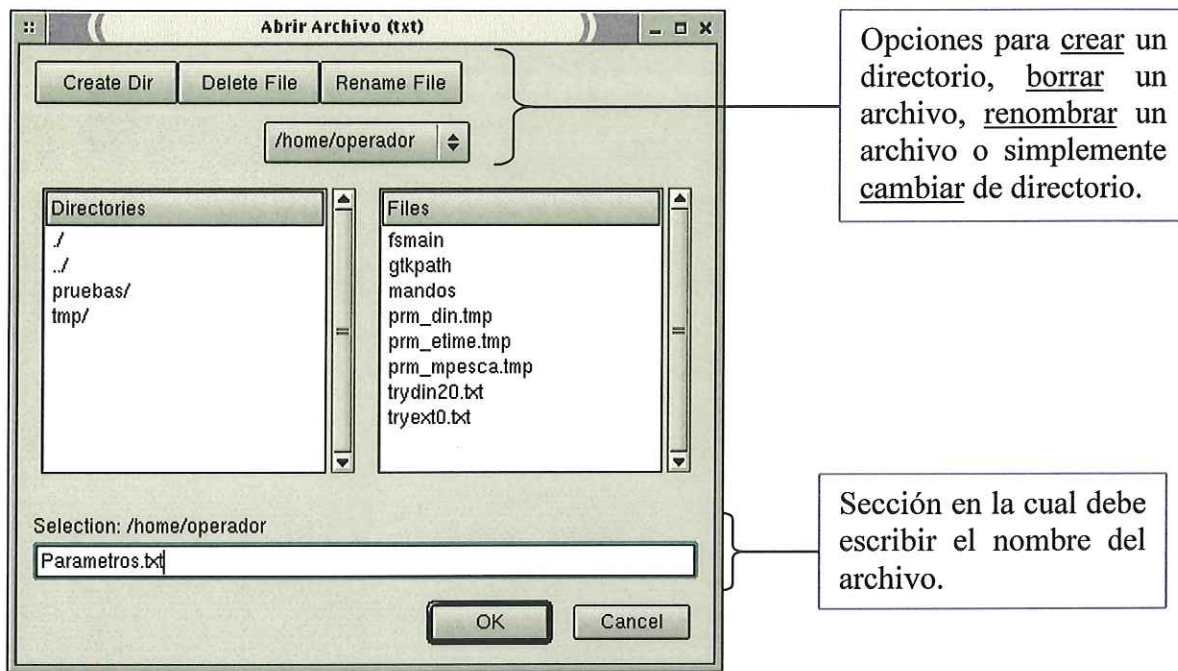


Figura A3. Ventana de selección de archivos y directorios.

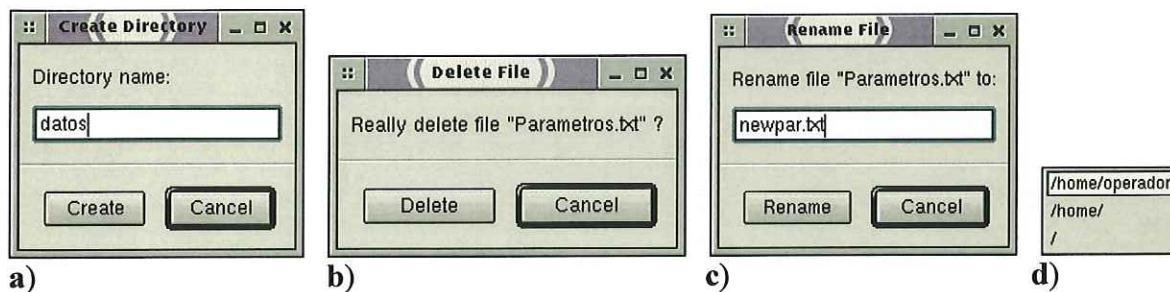


Figura A4. Diálogos correspondientes a las opciones de la ventana de la figura A3 para el manejo de archivos y directorios: **a)** crear un directorio, **b)** borrar un archivo, **c)** renombrar un archivo, y **d)** cambiar de directorio.

La ventana de selección de archivos y directorios (figura A3) permite además crear un directorio, borrar un archivo, renombrar un archivo y cambiar de directorio. La figura A4 muestra los diálogos que corresponden respectivamente a las opciones antes escritas.

A.1.2 El comando Guardar.

Despliega una lista de tres opciones: Dinámica, Extinción y Explotación (figura A5). Cada una de las opciones de lista se activa por selección utilizando el mouse, o presionando las teclas: Ctrl+B, Ctrl+R y Ctrl+W respectivamente. Cualquiera de estas tres opciones activa la ventana de selección de archivos y directorios, a través de la cual se selecciona el archivo o se le da el nombre al archivo en el cual se guardan los valores de los parámetros, en formato texto, del proceso correspondiente a la opción seleccionada. Esta ventana es frecuentemente usada por el sistema, por lo que siempre hay que conocer la acción que se quiere realizar, la cual se muestra en la parte superior de la ventana y entre paréntesis el formato del archivo sobre el cual se ejecutará dicha acción (ver figura A6).

El estudio de la dinámica de la población (proceso de la dinámica), el estudio de la dinámica de la población hasta su extinción de la población (proceso de extinción) y el estudio de dinámica de la población con un sistema de explotación (proceso de explotación), son estudios que engloban un conjunto de variables de control (parámetros) diferentes y que son manejados como procesos de cómputo, en este sistema, cuyos parámetros se encuentran estructurados de manera independiente, es por esto, que se tiene una lista de tres opciones, una opción para cada proceso.



Figura A5. Submenú de opciones del comando Guardar del menú de Archivo.

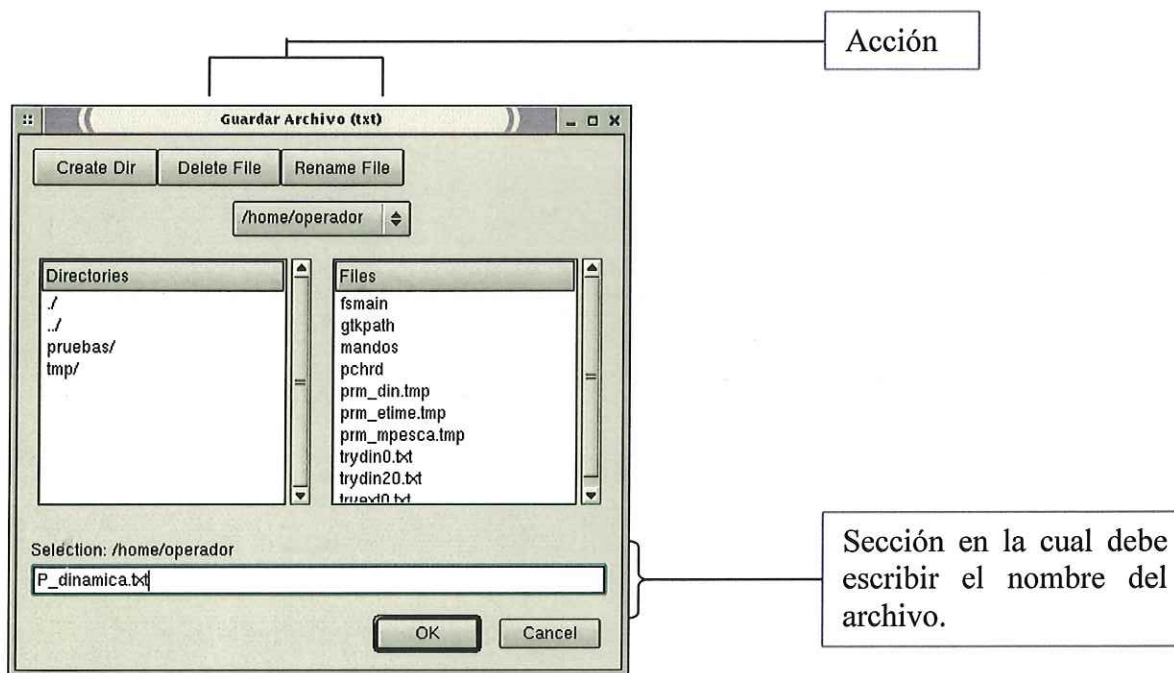


Figura A6. Ventana de selección de archivos y directorios configurada para guardar los valores de los parámetros de un proceso.

A.1.3 El comando Salir – [Ctrl+Q].

El comando Salir termina la ejecución del sistema GthPDS. Este comando es activado por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+Q. Si se selecciona Salir y hay un proceso activo, el sistema mostrará al usuario un mensaje avisando que se encuentra un proceso activo, en ese momento el usuario puede decidir cancelar el proceso (ver sección A.4) o esperar hasta que el proceso termine para poder salir del sistema. Antes de terminar la ejecución del sistema, éste guarda en archivos temporales el estado de todas sus variables, de tal forma que cuando el usuario inicia nuevamente la ejecución del sistema, éste recupera el estado de las variables a través de los archivos temporales.

A.2 El comando Opciones – [Alt+O].

El menú Opciones contiene dos comandos que controlan algunos recursos del sistema GthPDS (figura A7).



Figura A7. Comandos del menú Opciones.

A.2.1 El comando Preferencias – [Ctrl+P].

El comando Preferencias es activado por selección, utilizando el mouse, o presionado las teclas Ctrl+P. El comando activa una ventana flotante, a través de la cual el usuario escribe los nombres de los archivos que el sistema GtkPDS crea para guardar los datos de salida generados por las simulaciones (ver figura A8). Esta ventana contiene tres secciones: DINAMICA, EXTINCIÓN Y EXPLOTACION. Cada sección corresponde a un proceso, lo cual quiere decir que el usuario debe escribir un nombre diferente en cada sección. El usuario debe escribir los nombres de los archivos sin su extensión, cuando el sistema los crea les agrega la extensión `.txt` debido a que el formato de los archivos es texto. Cuando se inicia el sistema GtkPDS, éste asigna los nombres por omisión a los archivos en cada una de las secciones. El usuario debe cambiar los nombres de los archivos cada vez que quiera iniciar una simulación. Si los nombres no son cambiados, siempre que se realice una simulación el sistema guardará los datos de salida en los mismos archivos.



Figura A8. Ventana flotante a través de la cual el usuario escribe los nombres de los archivos que el sistema GtkPDS crea para guardar los datos de salida generados por la simulación de cada uno de los procesos.

Los datos tienen un orden dentro del archivo. Todos los archivos, excepto el que contiene los datos que representan las capturas por unidad de esfuerzo (ver capítulo IV), definido en la sección EXPLOTACION que se muestra en la figura A8, contienen 5 columnas de datos (ver figuras A9 y A10).

Time	Biomass Class 1	Biomass Class 2	Biomass Class 3	Total Biomass
0.000000	333.333405	333.333405	333.333405	1000.000214
0.000000	500.294098	169.127441	324.099548	993.521088
1.000000	495.046906	230.262680	229.482422	954.792007
2.000000	467.557037	275.788879	205.486481	948.832397
3.000000	509.444489	205.628326	244.473145	959.545959
4.000000	500.501465	235.218918	223.369568	959.089951
5.000000	515.004761	261.075989	236.754730	1012.835480
6.000000	479.857788	248.059189	217.471573	945.388550
7.000000	479.040009	222.165421	238.798126	940.003555
8.000000	446.201233	256.769012	219.493973	922.464218
9.000000	467.236969	202.870377	233.731781	903.839127
10.000000	475.961426	261.320190	236.220459	973.502075
11.000000	445.965149	234.359116	247.391678	927.715942
12.000000	433.262939	208.806061	237.123016	879.192017
13.000000	458.747162	238.617142	220.694366	918.058670
14.000000	466.665680	225.161362	231.796036	923.623077
15.000000	463.774567	195.045166	226.990570	885.810303
16.000000	438.555603	248.471954	206.673080	893.700638
17.000000	467.545441	207.765274	238.521225	913.831940
18.000000	450.807278	241.050098	225.373184	917.330460

Figura A9. Archivo “trydin0.txt” de datos generados por la simulación del proceso de la dinámica.

La primera columna contiene los datos que representan el tiempo transcurrido durante la ejecución de la simulación, la segunda, tercera y cuarta columnas contienen los datos que representan la biomasa de la primera, segunda y tercera clase de edad respectivamente, por cada unidad de tiempo de la primera columna. La quinta columna contiene los datos que representan el total de biomasa por cada unidad de tiempo de la primera columna. El

sistema GtkPDS tiene una opción que permite graficar los datos contenidos en estos archivos (ver menú de **Resultados**). De manera independiente, fuera del sistema, el usuario puede utilizar otro programa para graficar los datos.

Time	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5
0.000000	333.333405	333.333405	333.333405	1000.000214	
1.000000	494.555573	168.831818	328.905792	992.293182	
2.000000	520.168030	254.735550	236.277420	1011.181000	
3.000000	515.818359	264.582001	255.562622	1035.962982	
4.000000	510.849640	254.577866	248.926270	1014.353775	
5.000000	519.946960	257.275909	273.325745	1050.548615	
6.000000	514.059387	254.557755	242.386215	1011.003357	
7.000000	569.566772	248.028458	264.031067	1081.626297	
8.000000	561.555054	240.611282	279.450989	1081.617325	
9.000000	537.540649	306.168213	277.113281	1120.822144	
10.000000	575.961304	273.177094	295.922333	1145.060730	
11.000000	595.772400	309.703491	257.355103	1162.830994	
12.000000	573.254395	338.291718	320.295746	1231.841858	
13.000000	607.381165	305.164185	303.501801	1216.047150	
14.000000	567.570801	296.144287	304.809296	1168.524384	
15.000000	617.796631	273.153198	318.780365	1209.730194	
16.000000	555.520203	331.629700	283.949432	1171.099335	
17.000000	576.035278	247.166885	264.928741	1088.130905	
18.000000	518.831604	276.559784	257.298370	1052.689758	
19.000000	502.603695	240.503632	280.001733	1033.000000	

Figura A10. Archivo “tryext0.txt” de datos de salida generados por la simulación del proceso de extinción.

La simulación del proceso de extinción crea tres archivos que llevan el mismo nombre del archivo que crea para guardar los datos que representan la biomasa por unidad de tiempo. Los tres archivos tienen formato texto, sin embargo los nombres de cada uno de los archivos tiene una extensión diferente entre sí, y a su vez estos tienen una extensión diferente a la extensión .txt, extensión que caracteriza el formato texto. El nombre del primero de estos tres archivos tienen la extensión .inf (ver figura A11). El archivo

contiene datos que representan conceptos relacionados con el estudio de la dinámica de la población hasta la extinción, los cuales son vistos en el capítulo IV del presente trabajo.

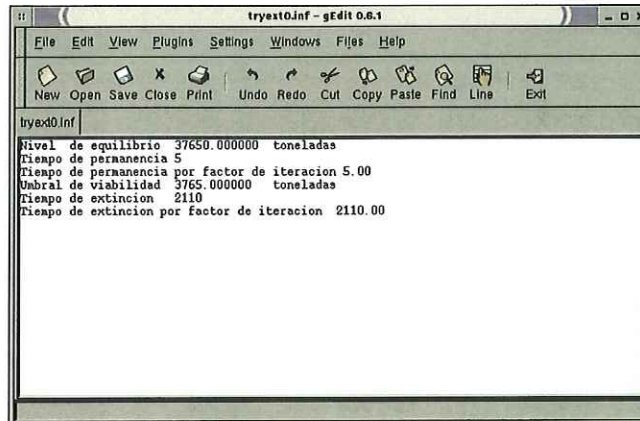


Figura A11. Archivo “tryext0.inf” de datos generados por la simulación del proceso de extinción.

El nombre del segundo de estos tres archivos tiene la extensión .int. El archivo contiene los datos que el sistema utiliza para calcular el nivel de equilibrio y el umbral de viabilidad (ver capítulo IV).

int	Cont	Tfirst	Tlast	Tsun
1	571	6483	7149	548
2	134	6213	7033	101
3	169	6186	6993	153
4	144	5957	6415	116
5	113	5942	6390	84
6	39	962	6153	25
7	119	938	6112	95
8	168	936	6105	120
9	249	926	6069	165
10	305	920	5901	204
11	250	911	5884	158
12	180	907	5815	98
13	175	904	5874	94
14	216	899	5872	118
15	187	893	5850	98
16	133	862	5846	61
17	156	835	5838	76
18	172	832	5803	88
19	154	845	5700	71

Figura A12. Archivo “tryext0.int” de datos generados por la simulación del proceso de extinción.

Cada una de las cinco columnas del archivo de datos de la figura A12 representa uno de los siguientes conceptos (consulte capítulo IV para mayores detalles):

- **Int:** significa intervalo. La trayectoria generada por los cambios de la población durante la simulación es dividida en intervalos, los cuales representan biomasa de tamaño uniforme. El número de intervalos varía entre las trayectorias generadas por cada simulación.
- **Cont:** significa contador. Contiene el número de veces que la biomasa generada durante la simulación llegó a estar dentro de cada uno de los intervalos.
- **Tfirst:** significa primera vez. Contiene el tiempo en el cual la biomasa generada durante la simulación llegó a estar por primera vez en el intervalo i de la columna uno.
- **Tlast:** significa ultima vez. Contiene el tiempo en el cual la biomasa generada durante la simulación llegó a estar por última vez en el intervalo i de la columna uno.
- **Tsum:** significa la suma de los tiempos. Contiene el número de veces que la biomasa generada durante la simulación llegó a estar dentro del intervalo i de la columna uno.

El nombre del último de los tres archivos tiene la extensión `.niv`. El archivo contiene los datos que representan el tiempo en el cual se extinguió la población, el nivel de equilibrio y el umbral de viabilidad. Estos datos son para el sistema Gnuplot (ver sección **Resultados**).

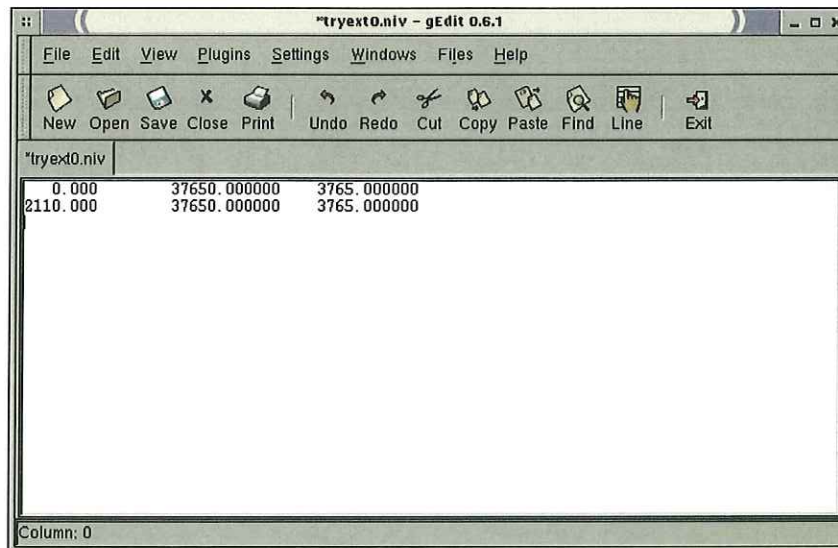


Figura A13. Archivo “tryext0.niv” de datos generados por la simulación del proceso de la extinción.

A.2.2 El comando Pc Hardware – [Ctrl+H].

El comando Pc Hardware muestra en la ventana de despliegue del sistema GtkPDS, los recursos de hardware y software que contiene la computadora en la cual se inició el sistema (ver figura A14).

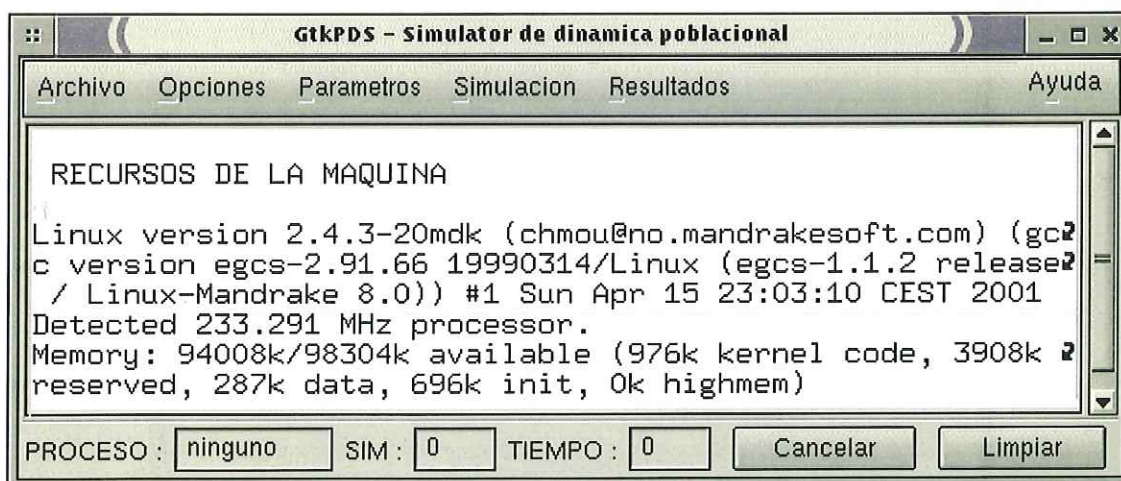


Figura A14. Recursos de hardware y software de la computadora.

El comando Pc Hardware es activado por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+H. No todos los recursos que tiene la computadora son desplegados por el comando, solo se muestran aquellos de importancia para el funcionamiento del sistema (procesador, memoria RAM, capacidad de espacio en disco duro y sistema operativo). A través de este comando, el usuario puede comparar los recursos desplegados sobre la ventana de despliegue con los recursos mínimos que requiere el sistema (ver capítulo IV).

A.3 El menú Parámetros – [Alt-P].

El menú Parámetros contiene cinco comandos que manejan, cada uno, un grupo de opciones relacionados con los parámetros que controlan a cada uno de los procesos implementados en el sistema. La figura A15 muestra la lista de los comandos del menú, los cuales son examinados en el orden en el cual aparecen en dicha lista.



Figura A15. Comandos del menú Parámetros.

A.3.1 El comando Asignar.

El comando Asignar activa una lista de tres opciones: Dinámica, Extinción y Explotación (figura A16). Cada una de las opciones es activada por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas: Ctrl+D, Ctrl+T y Ctrl+M respectivamente. Estas opciones son presentadas de manera independiente en esta sección.



Figura A16. Lista de opciones del comando Asignar del menú Parámetros.

A.3.1.1 La opción Dinámica – [Ctrl+D].

La opción Dinámica activa una ventana flotante, la cual contiene el conjunto de parámetros que controlan al proceso de la dinámica (ver figura A17). A través de esta ventana el usuario modifica los valores iniciales de los parámetros. Cada uno de éstos parámetros es visto de manera independiente para describir su función en el proceso.

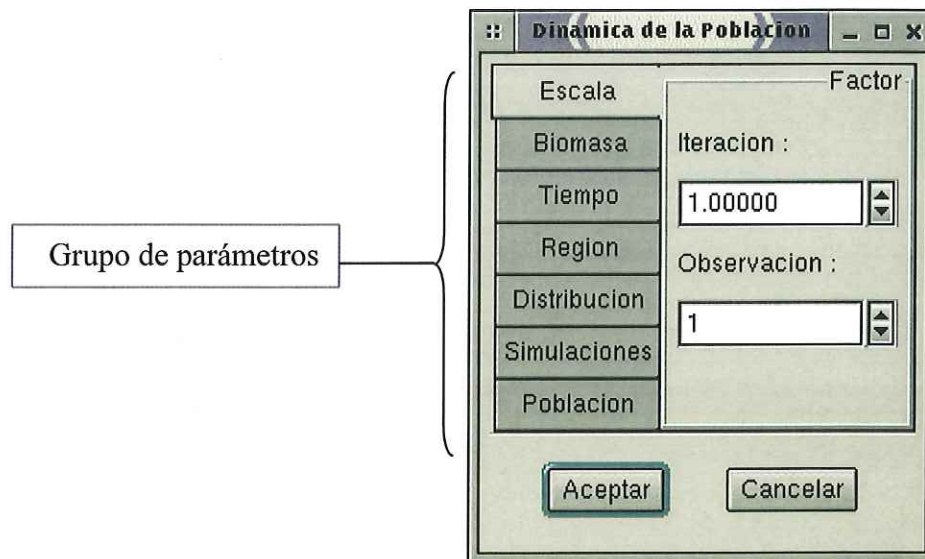


Figura A17. Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica.

Escala: se asignan los valores iniciales a los parámetros *factor de iteración* y *factor de observación* (ver figura A17). El *factor de iteración* representa la frecuencia con la cual ocurren cambios en el tamaño de la biomasa en la simulación. Si el factor de iteración multiplica las tasas de natalidad y de mortalidad en la ecuación de balance de la dinámica poblacional (ver capítulo IV sección 6). El *factor de observación* representa la frecuencia con la cual se toma una muestra de la cantidad de biomasa a un tiempo dado. Este factor es un número entero a diferencia del *factor de escala*, además su valor no debe ser mayor al valor del parámetro *tiempo de iteración*.

Biomasa: se asigna el valor al parámetro de la *biomasa inicial* (ver figura A18), la cual se distribuye en la región del autómata celular.

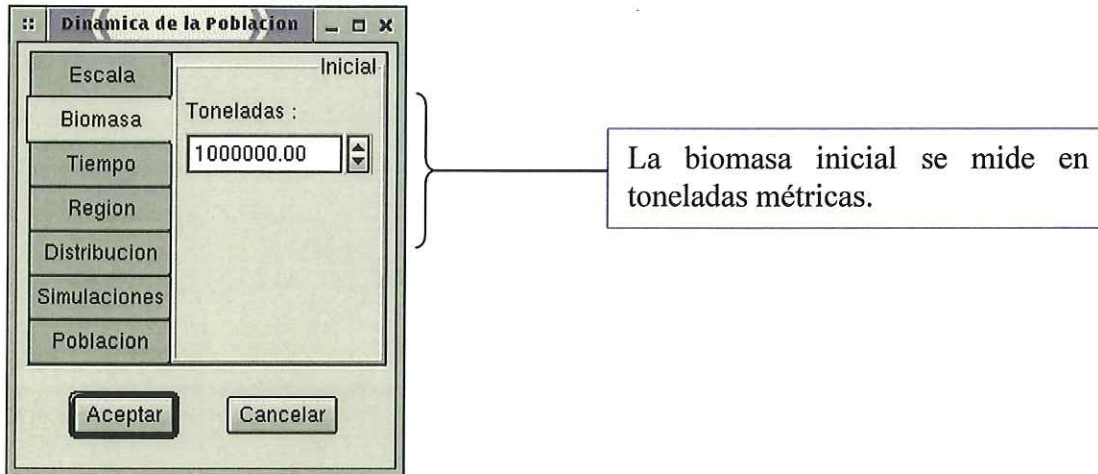


Figura A18. Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica. Se muestra el contenido de la sección **Biomasa**.

Tiempo: se asigna el valor al parámetro *tiempo de iteración* (ver figura A19), el cual corresponde al tiempo que la simulación iterará para generar una trayectoria. El *tiempo de iteración* esta directamente relacionado con el *factor de iteración* y el *factor de observación*. La tabla A1 muestra la relación entre estos tres parámetros.

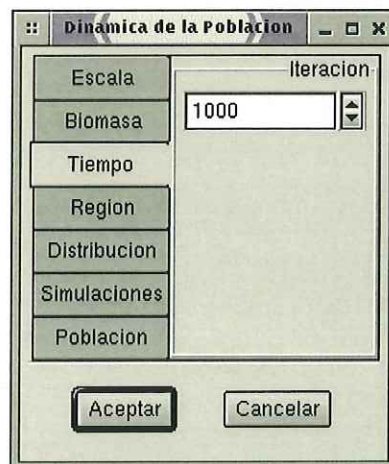


Figura A19. Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica. Se muestra el contenido de la sección **Tiempo**.

Región: se asigna el número de *celdas* en *X* y en *Y* (ver figura A20) que tendrá la región del autómatas celular, sobre la cual se distribuye la *biomasa inicial* y se lleva a cabo la dinámica de la misma. El autómatas celular puede tener a lo más 10000 celdas en su región, ya que el espacio en memoria que se necesita para representarlo es limitado por los recursos de la computadora en la cual se desarrolló este trabajo. Sin embargo, esta limitante puede ser cambiada en versiones futuras.

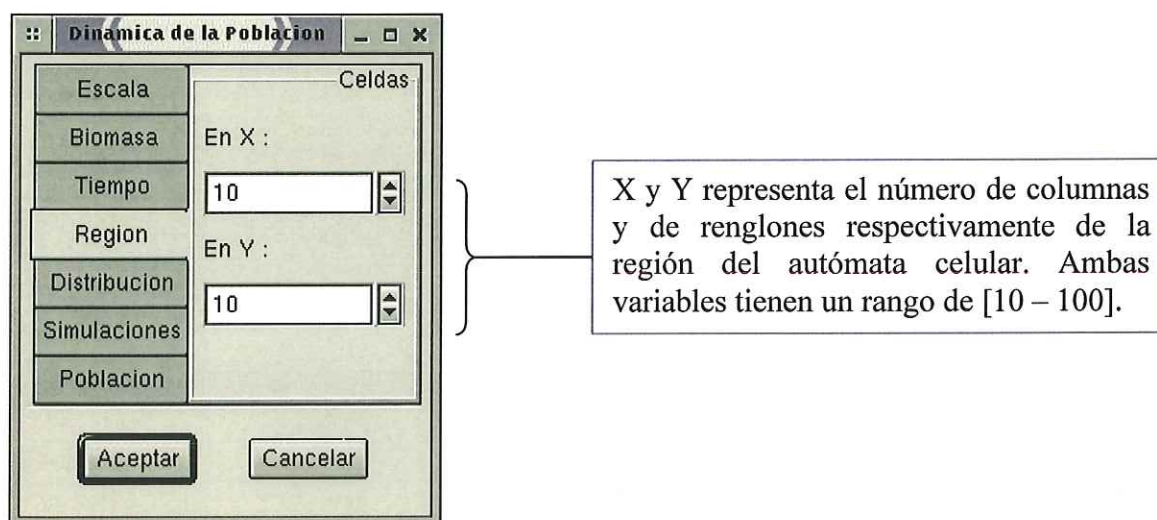


Figura A20. Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica. Se muestra el contenido de la sección **Región**.

Distribución: se determina el tipo de *distribución inicial* (ver figura A21) que tendrá la *biomasa inicial* sobre la región del autómatas celular. Solo hay dos tipos de distribución implementadas en el sistema GtKPDS, uniforme y aleatoria.

Simulaciones: se asigna el número de simulaciones que se realizarán bajo los mismos valores iniciales asignados al grupo de parámetros (ver figura A22). Por cada simulación

realizada se crea un archivo, el cual contiene los datos que representan la biomasa por unidad de tiempo. Además el parámetro *promedio* indica que después de realizar el número de simulaciones correspondiente, se debe obtener un archivo de datos, los cuales representan la biomasa promedio por unidad de tiempo. Este archivo lleva la extensión *pmd*.

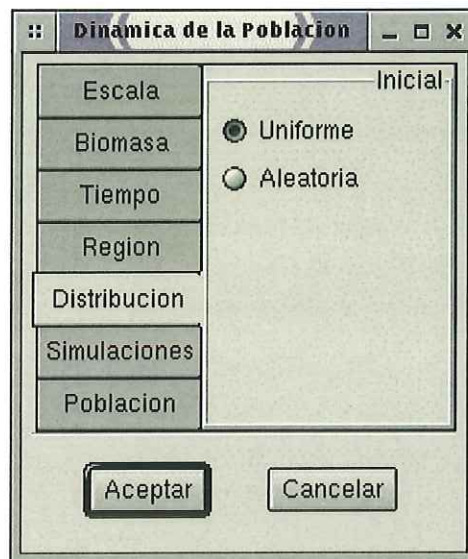


Figura A21. Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica. Se muestra el contenido de la sección **Distribución**.

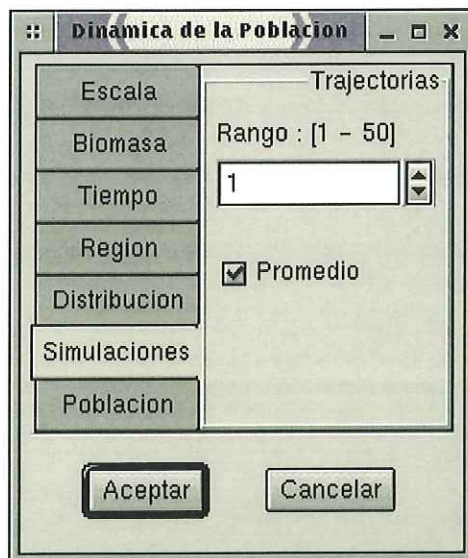


Figura A22. Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica de una población. Muestra el contenido de la sección **Simulaciones**.

Los valores que toman los parámetros que se encuentran en la sección **Simulaciones** provocan cambios en los nombres de los archivos que el sistema GtKPDS crea para guardar los datos que generan las simulaciones. La tabla AI muestra cuatro casos donde la primer columna contiene el nombre del archivo que tendrá los datos generados por la simulación (ver sección A.2.1), la segunda y tercera columna contienen los valores de los parámetros que se encuentran dentro de la sección **Simulaciones** de la figura A22, por último la cuarta columna contiene los nombres de los archivos creados por el sistema por cada simulación realizada.

Tabla AI. Archivos que el sistema GtkPDS crea para guardar los datos generados por la simulación en cuatro casos diferentes.

CASO 1:

Archivo	No. de trayectorias	Promedio	Resultados
Trydin	1	Desactivado	Trydin0.txt

CASO 2:

Archivo	No. de trayectorias	Promedio	Resultados
Trydin	1	Activado	Trydin0.txt
			Trydin.pmd

CASO 3:

Archivo	No. de trayectorias	Promedio	Resultados
Trydin	3	Desactivado	Trydin0.txt
			Trydin1.txt
			Trydin2.txt

CASO 4:

Archivo	No. de trayectorias	Promedio	Resultados
Trydin	3	Activado	Trydin0.txt
			Trydin1.txt
			Trydin2.txt
			Trydin.pmd

Población: se asigna el peso de la población de cada clase de edad (ver figura A23). El valor del peso debe estar toneladas, por lo tanto el usuario tendrá que hacer la conversión del peso en gramos o en kilogramos a toneladas, en caso de que no esté en toneladas.

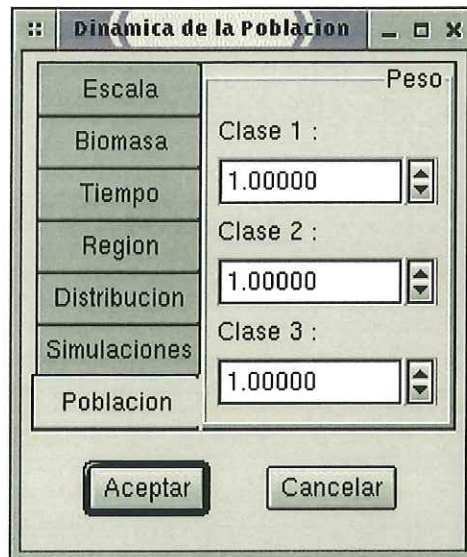


Figura A23. Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica de una población. Muestra el contenido de la sección **Población**.

A.3.2 La opción Extinción – [Ctrl+T].

La opción Extinción activa una ventana flotante, la cual contiene el conjunto de parámetros que controlan al proceso de extinción (figura A24). A través de esta ventana el usuario puede modificar los valores iniciales de dichos parámetros. El proceso de extinción está determinado por el proceso de la dinámica. El grupo de parámetros asociados al proceso de extinción es el mismo grupo de parámetros asociados al proceso de la dinámica, excepto el parámetro *Tiempo de iteración*, por lo que son las mismas descripciones y condiciones para los parámetros asociados al proceso de extinción (ver sección A.3.1). El parámetro *tiempo de iteración* no se determina arbitrariamente por el usuario en este proceso, ya que la dinámica de la población se da hasta su extinción, por lo tanto cuando esto ocurre entonces el tiempo de extinción es obtenido por la simulación. Por otra parte, hay dos parámetros más asociados al proceso de extinción.

Análisis: se indica la clase de población que se analizará hasta su extinción (ver figura A26). Esto es, la simulación de la dinámica poblacional se dará en forma conjunta, pero solo parará de iterar hasta que la clase de población seleccionada se extinga o en su totalidad si éste es el caso.

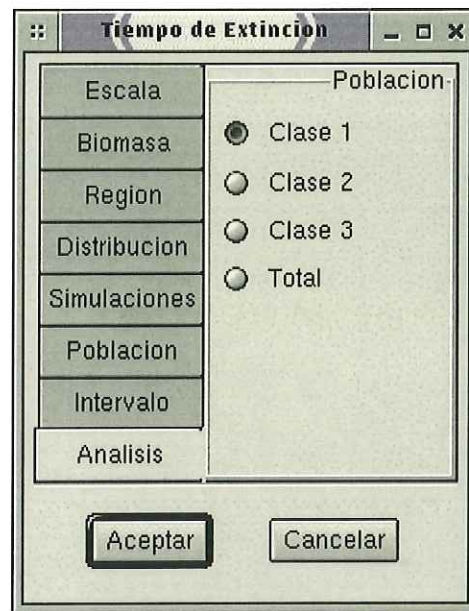


Figura A26. Grupo de parámetros que controlan el proceso de la dinámica de una población hasta su extinción. Muestra el contenido de la sección **Análisis**.

A.3.3 La opción Explotación – [Ctrl+M].

La opción Explotación activa una ventana flotante, la cual contiene el grupo de parámetros que controlan al proceso de explotación (figura A27). A través de esta ventana el usuario puede modificar los valores iniciales de los parámetros. La simulación del proceso de explotación obtiene como resultado los datos que representan las capturas por unidad de esfuerzo y los datos que representan la biomasa por unidad de tiempo (ver capítulo IV). La

simulación del proceso de explotación esta asociado con la simulación del proceso de la dinámica. Esto es, cuando se inicia la simulación del proceso de explotación, automáticamente la simulación toma los valores de los parámetros que controlan el proceso de la dinámica. Por lo que el usuario debe tomar en cuenta los valores asignados a los parámetros que controlan dicho proceso. Para la implementación del proceso de explotación se hizo una selección de parámetros que se asocian a este proceso, en dicha selección quedaron los parámetros más generales, los cuales contribuyen al diseño de estrategias de explotación en la simulación de este proceso (ver capítulo IV). A continuación, se hace una descripción de la función que cada uno de estos parámetros tiene en la simulación.

Figura A27. Grupo de parámetros que controlan al proceso de explotación.

Flota pesquera: se asigna el número de barcos que participan en la pesca, el cual esta dentro del rango de 10 a 10000 barcos. El rango de números de barcos es directamente

proporcional al rango de número de celdas que tiene el autómata celular. Esto es, si la región del autómata celular tiene 10000 celdas entonces mi flota pesquera puede tener hasta 10000 barcos, considerando que puede haber un barco por celda. El número de barcos no debe ser mayor que el número de celdas.

Salida de barcos: se selecciona el tipo de salida que tendrá la flota en cada unidad de tiempo. Si la salida es uniforme, entonces el número de barcos que saldrá a pescar será el número de barcos que tiene la flota. Si la salida es aleatoria, entonces el número de barcos que saldrá a pescar será un número aleatorio entre 0 y el número de barcos que tiene la flota.

Zona de pesca: se selecciona las zonas de pesca hacia donde serán dirigidos los barcos en cada unidad de tiempo. Solo hay dos posibilidades, dirigir los barcos a *zonas aleatorias* o a *zonas con mayor abundancia* de biomasa.

Capacidad de la flota: se determina la capacidad de carga que tienen los barcos para guardar la biomasa, se mide en toneladas métricas. Si se selecciona *homogénea* significa que todos los barcos tendrán la misma capacidad de carga, la cual se asigna en la sección de capacidad de carga como se muestra en la figura A27. Si se selecciona *heterogénea* significa que cada uno de los barcos tendrá una x capacidad de carga, la cual también se asigna en la sección de capacidad de carga como se muestra en la misma figura.

Capacidad de carga: se asigna la biomasa que cada uno de los barcos de la flota pesquera puede arrastrar o atrapar en un solo lance. Si el usuario seleccionó como *homogénea* la capacidad de la flota, entonces cuando éste presione el botón de **Asignar** que se encuentra en la figura A27 activará la ventana flotante **a)** que se muestra en la figura A28, a través de la cual el usuario selecciona la capacidad de arrastre para todos los barcos. Si el usuario seleccionó como *heterogénea* la capacidad de la flota, entonces el botón **Asignar** activará la ventana flotante **b)** que se muestra en la figura A28, a través de la cual el usuario selecciona la capacidad de arrastre para cada uno de los barcos.

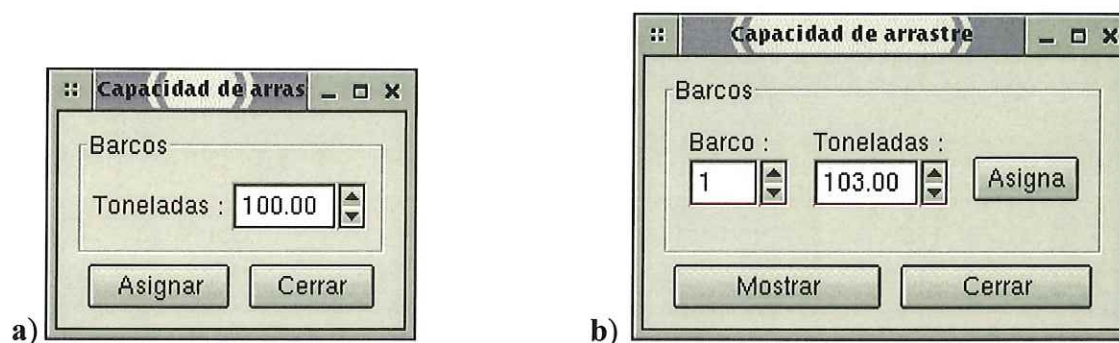


Figura A28. Ventanas flotantes a través de las cuales el usuario selecciona y asigna la capacidad de arrastre a los barcos de la flota pesquera. **a)** Si la capacidad de la flota es *homogénea*, **b)** si es *heterogénea*.

El usuario debe utilizar el botón **Asignar** que se encuentra en las ventanas flotantes **a)** y **b)** de la figura A28, para que el sistema GtkPDS asigne la capacidad de arrastre a cada uno de los barcos. Si el usuario presiona el botón **Cerrar** en cualquiera de las dos ventanas flotantes, sin haber presionado el botón de **Asignar** que se encuentra en estas mismas ventanas, entonces el sistema no realizará las asignaciones. El usuario puede desplegar la capacidad de arrastre (ver figura A29) asignada a cada uno de los barcos

de la flota pesquera presionando el botón **Mostrar** de la ventana flotante **b)** de la figura A28.



Figura A29. Capacidad de arrastre asignada a los barcos de la flota pesquera.

Por otro lado, la *rentabilidad* representa el porcentaje mínimo, sobre la capacidad de arrastre, que puede ser considerado como pesca. Este porcentaje esta dentro del rango de 1% a 100%.

Población a explotar: se selecciona la clase de edad de la población que será explotada. Solo puede seleccionar una de las tres clases.

Periodo de pesca: se asigna el tiempo de iteración que durará la simulación en el proceso de explotación.

Umbral: se asigna el nivel mínimo de biomasa que debe mantener la simulación durante la explotación. Este valor debe introducirse en toneladas.

A.3.4. El comando Default.

El comando Default activa una lista de tres opciones: Dinámica y Explotación (figura A30).

Cada una de estas opciones se activa por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+L y Ctrl+S respectivamente.



Figura A30. Lista de opciones del comando Default del menú Parámetros.

El usuario puede asignar valores iniciales por omisión a los parámetros que controlan al proceso que corresponde a la opción seleccionada. El sistema GtkPDS tiene definidos los valores por omisión para los parámetros de cada proceso (ver tablas AII, AIII y AIV). Cuando el usuario selecciona alguna de estas opciones, el sistema asigna éstos valores a los parámetros y enseguida despliega dichos valores en la ventana de despliegue del sistema. Un ejemplo de esto se muestra en la figura A31, el cual corresponde a la asignación de valores iniciales por omisión a los parámetros que controlan el proceso de la dinámica.

Tabla AII. Valores iniciales por omisión, correspondientes al grupo de parámetros asociados al estudio de la dinámica de la población.

Sección (fig. A19)	Parámetros	Valores
Escala:	Factor de iteración.	1
	Factor de observación.	1
Biomasa:	Población inicial.	1000000
Tiempo:	Tiempo de iteración.	1000
Región:	Numero de celdas en X y en Y.	X = 10 Y = 10
Distribución:	Tipo de distribución inicial.	Uniforme
Simulaciones:	Numero de trayectorias.	1
	Promedio.	No
Población:	Clase de edad 1	1
	Clase de edad 2	1
	Clase de edad 3	1

Tabla AIII. Valores iniciales por omisión, correspondientes al grupo de parámetros asociados al estudio de la dinámica de una población hasta su extinción.

Sección (fig. A25)	Parámetros	Valores
Escala:	Factor de iteración.	1
	Factor de observación.	1
Biomasa:	Población inicial.	1000
Región:	Numero de celdas en X y en Y.	X = 10 Y = 10
Distribución:	Tipo de distribución inicial.	Uniforme
Simulaciones:	Numero de trayectorias.	1
	Promedio.	No
Población:	Clase de edad 1	1
	Clase de edad 2	1
	Clase de edad 3	1
Intervalo:	Tamaño	100
Análisis:	Clase de edad	Todas

Tabla AIV. Valores iniciales por omisión, correspondientes al grupo de parámetros asociados con el estudio de la dinámica de la población con un sistema de explotación.

Sección (fig. A28)	Parámetros	Valores
Flota pesquera:	Numero de barcos.	10
Salida de barcos:	Uniforme	Si
	Aleatoria	No
Zona de pesca:	En zonas aleatorias.	No
	En zonas con mayor biomasa.	Si
Capacidad de la flota:	Homogénea.	No
	Heterogénea.	Sí
Población a explotar:	Clase de edad 1.	No
	Clase de edad 2.	No
	Clase de edad 3.	Sí
Umbral:	Tonelaje.	100
Rentabilidad:	Porcentaje.	25
Periodo de pesca:	Días de pesca.	100
Capacidad de carga:		

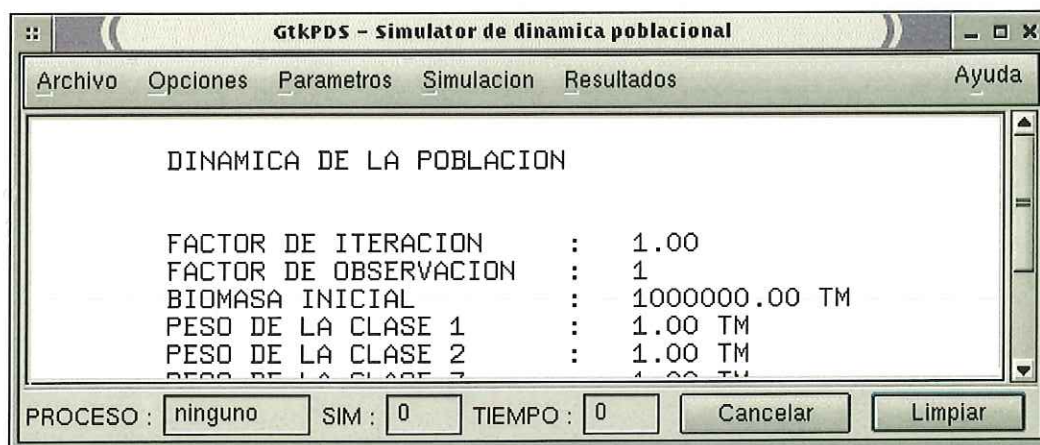


Figura A31. Valores iniciales asignados por default a los parámetros que controlan el proceso de la dinámica.

A.3.5 El comando Desplegar.

El comando Desplegar, activa una lista de tres opciones: Dinámica, Extinción y Explotación (figura A32). Cada una de estas opciones es activada por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+F, Ctrl+U y Ctrl+N respectivamente. El usuario puede ver los valores de los parámetros que controlan al proceso correspondiente a la opción seleccionada.

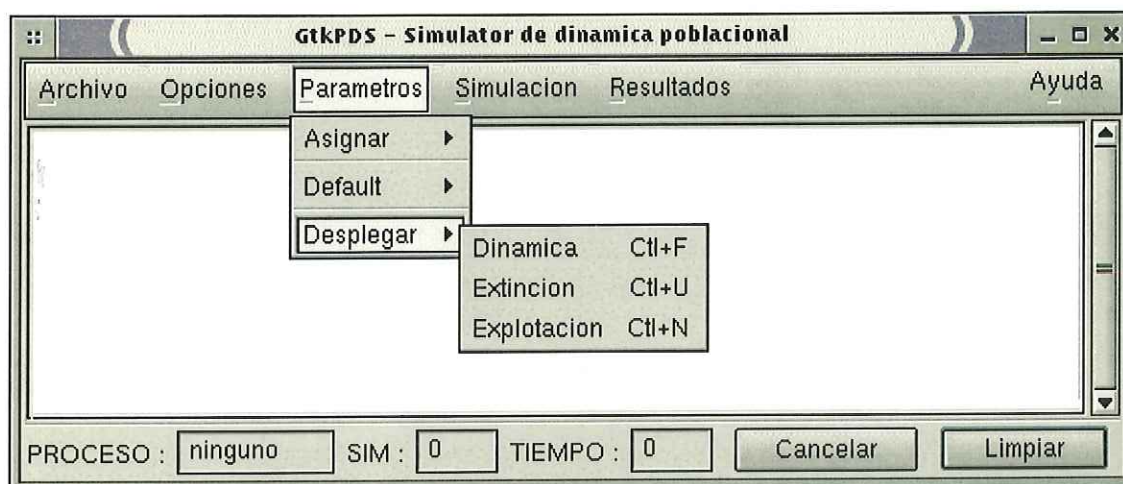


Figura A32. Lista de opciones del comando Desplegar del menú Parámetros.

A.4 El menú Simulación – [Alt+S].

El menú Simulación contiene tres comandos, los cuales controlan la simulación de los procesos desde su inicio hasta su terminación o cancelación (ver figura A33).

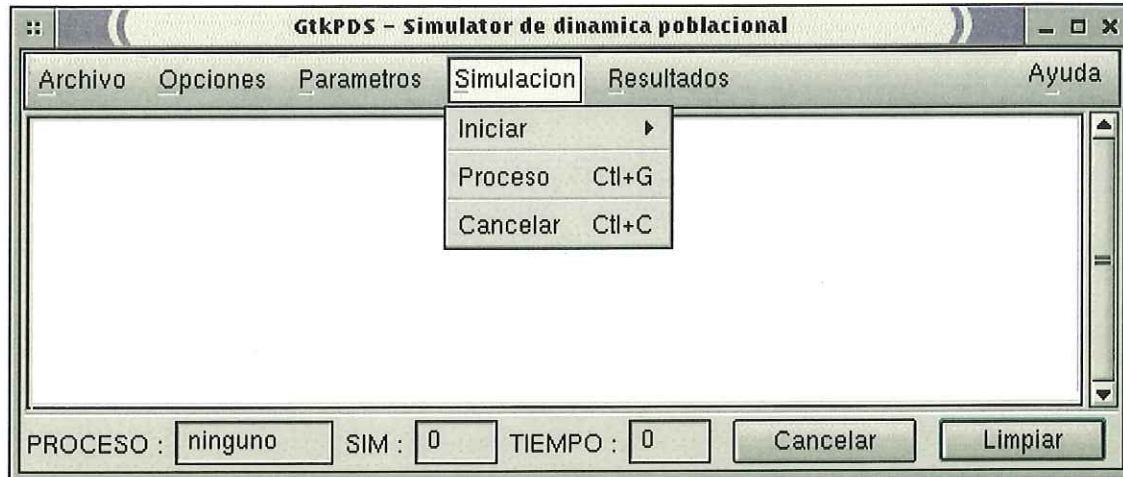


Figura A33. Comandos del menú **Simulación**.

A.4.1 El comando **Iniciar**.

El comando **Iniciar** activa una lista de tres opciones: Dinámica, Extinción y Explotación (figura A34). Las opciones de la lista son activadas por selección, utilizando el mouse, o presionando teclas Ctrl+I, Ctrl+E y Ctrl+O respectivamente.



Figura A34. Lista de opciones del comando **Iniciar** del menú **Simulación**.

A través de cada una de estas opciones se inicia la simulación de un proceso. Cuando se inicia la simulación, las ventanas PROCESO, SIM Y TIEMPO que están en la barra de estados del sistema GtkPDS, se activan para dar información sobre el estado de la simulación. La ventana PROCESO indica el nombre del proceso que se está simulando, en la ventana SIM se muestra el número de iteraciones de la simulación y por último, en la ventana TIEMPO, se indica el tiempo que x número de simulación lleva iterando. Cuando se inicia una simulación el usuario no puede iniciar otra hasta que la simulación que se esta realizando termine o se cancele. Esta condición se implementó en el sistema con la única finalidad de tener todos los recursos disponibles para realizar una sola simulación a la vez (procesador y memoria), de esta manera se puede obtener los resultados en un tiempo más corto. Sin embargo, se puede cambiar esta condición en el sistema para versiones futuras.

A.4.2 El comando Proceso – [Ctrl+G].

El comando Proceso es activado por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+G (figura A33). Este proceso activa las ventanas SIM y TIEMPO, las cuales se encuentran en la barra de estados del sistema GtkPDS, para desplegar información sobre el estado de la simulación. El comando Proceso responde solamente durante el tiempo de vida de la simulación, de otra manera, el comando no responde y el sistema muestra un mensaje, el cual avisa al usuario, que no hay proceso activo.

A.4.3 El comando Cancelar – [Ctrl+C].

El comando Cancelar es activado por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+C (figura A33). Este comando cancela la simulación de un proceso. Existe otra

alternativa para cancelar procesos, ésta es a través del botón **Cancelar** que se encuentra en la barra de estados del sistema GtkPDS. Cuando no hay proceso activo y el usuario selecciona el comando Cancelar, el sistema muestra un mensaje, el cual le avisa al usuario que no hay proceso activo.

A.5 El menú Resultados – [Alt+R].

El menú **Resultados** contiene tres comandos (ver figura A35). Todos los comandos de este menú grafican los datos generados por las simulaciones. Para graficar, éstos utilizan un programa externo para graficar, el cual es ejecutado desde el sistema GtkPDS a través de una interface. Este programa se llama Gnuplot, y es un comando de línea manejado por una función interactiva. Gnuplot realiza gráficas en dos y tres dimensiones de muchos tipos de funciones y grupos de datos, además puede guardar las gráficas en un archivo en diferentes formatos, según sea la preferencia del usuario, como PostScript, gif, HP-PCL (Deskjet and laserjet compatible printers), Epson, LaTeX y muchos más. Gnuplot es de distribución gratuita y puede ser obtenido a través de muchas páginas en Internet, en las cuales el usuario puede consultar las nuevas versiones de Gnuplot y los manuales de referencias.

Algunas de éstas páginas son:

- www.brandpoint.tmfweb.nl/riscos/gnuplot.html
- www.ncftpd.com/ncftpd/doc/reports/gnuplot.html

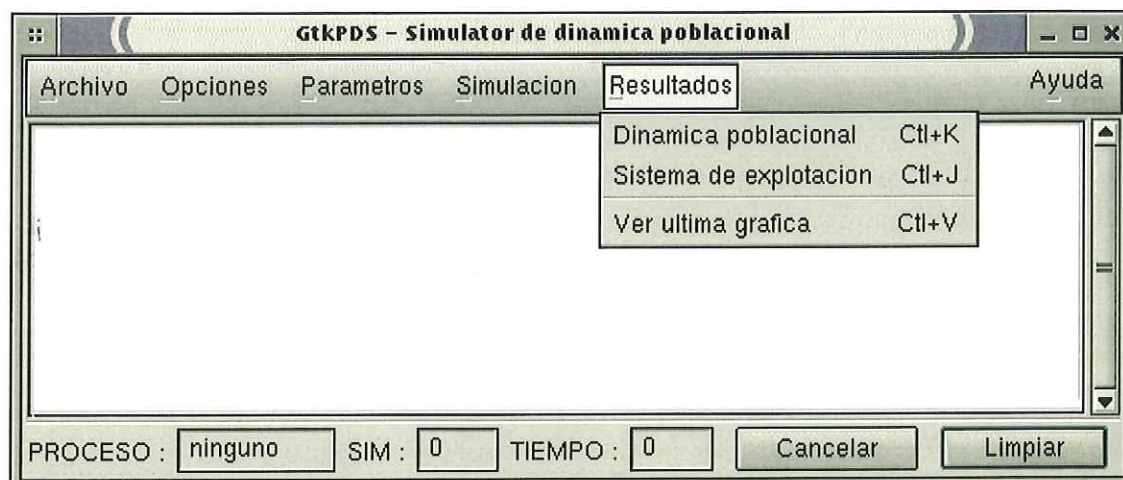


Figura A35. Comandos del menú **Resultados**.

A.5.1 El comando Dinámica poblacional – Ctrl+K.

El comando Dinámica poblacional se activa por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+K. Este comando activa una ventana flotante (ver figura A36), a través de la cual el usuario puede graficar las trayectorias obtenidas por la dinámica de la población de cada una de las clases de edad y también en la de su conjunto. Además, cuando se tratan con los datos obtenidos por la simulación de la dinámica de la población hasta su extinción, este comando traza una recta en el nivel de equilibrio y otra el umbral de viabilidad.

A través de la ventana flotante de la figura A36, el usuario selecciona algunas preferencias sobre el contenido de la gráfica. Hay algunas cosas que el usuario debe respetar sobre los datos que se introducen o seleccionan en esta ventana. Primero, el usuario debe escribir el nombre del archivo, el cual contiene los datos que representan la biomasa por unidad de

tiempo, sin extensión. Segundo, el nombre de este archivo, las etiquetas y el nombre del archivo con formato Postscript, en el cual el programa Gnuplot guarda la gráfica, tienen hasta un máximo de 30 caracteres. Tercero, las series son las trayectorias generadas por la biomasa por unidad de tiempo de cada una de las clases de edad. El usuario puede seleccionar todas las series o solamente aquellas que desee ver en la gráfica. Cuarto, solamente si el archivo de datos contiene aquellos generados por la simulación del proceso de extinción entonces el usuario debe seleccionar la opción **Trayectoria en extinción?** para que Gnuplot trace una recta en el nivel de equilibrio y otra en el umbral de viabilidad. Por último, si el usuario selecciona la opción **Guardar gráfica en Poscript?**, éste debe escribir el nombre del archivo con extensión .ps.



Figura A36. Ventana flotante, a través de la cual el usuario puede graficar los datos de cualquier serie.

Las figuras A37, A38 y A39, muestran un ejemplo sobre la manipulación de los datos contenidos en la ventana flotante de la figura A36. Los datos graficados en las tres figuras pertenecen al mismo archivo de datos “trydin20.txt”. Aunque en estos ejemplos no se muestran los valores de los parámetros bajo los cuales se realizaron las simulaciones, el usuario puede utilizar este comando para ver los resultados de las simulaciones realizadas bajo sus propias condiciones iniciales y obtener una interpretación de éstas. Lo mismo ocurre para el caso de las gráficas de la sección A.5.2.

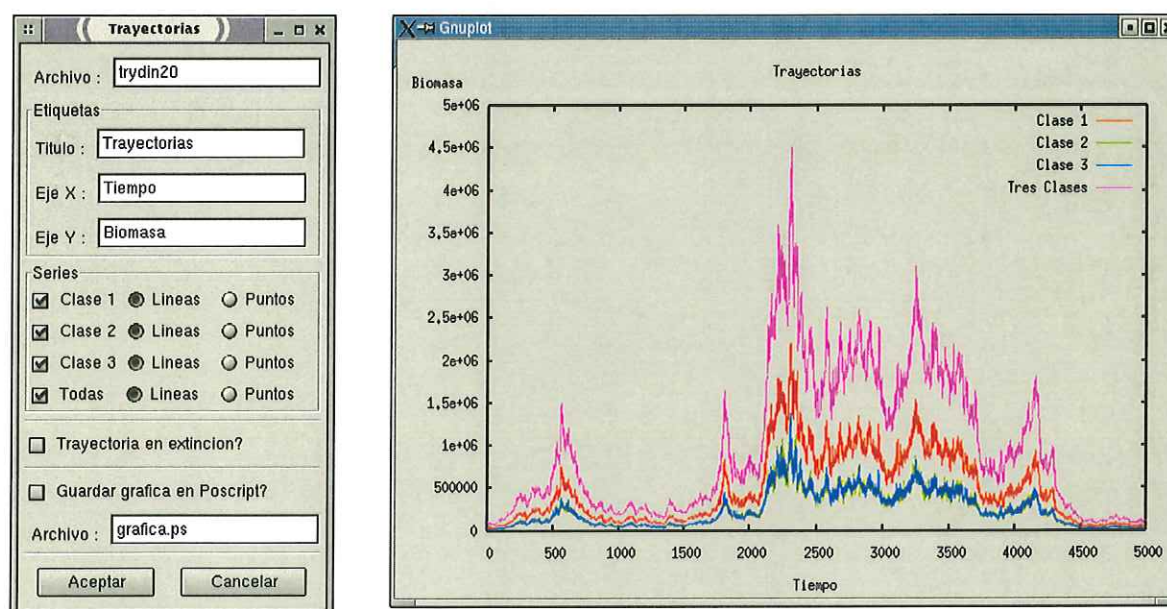


Figura A37. Archivo “trydin20.txt” de datos generado por la simulación del proceso de la dinámica. En esta gráfica se muestran las cuatro series de datos que describen las trayectorias de la dinámica de cada una de las clases y la de la suma de todas éstas.

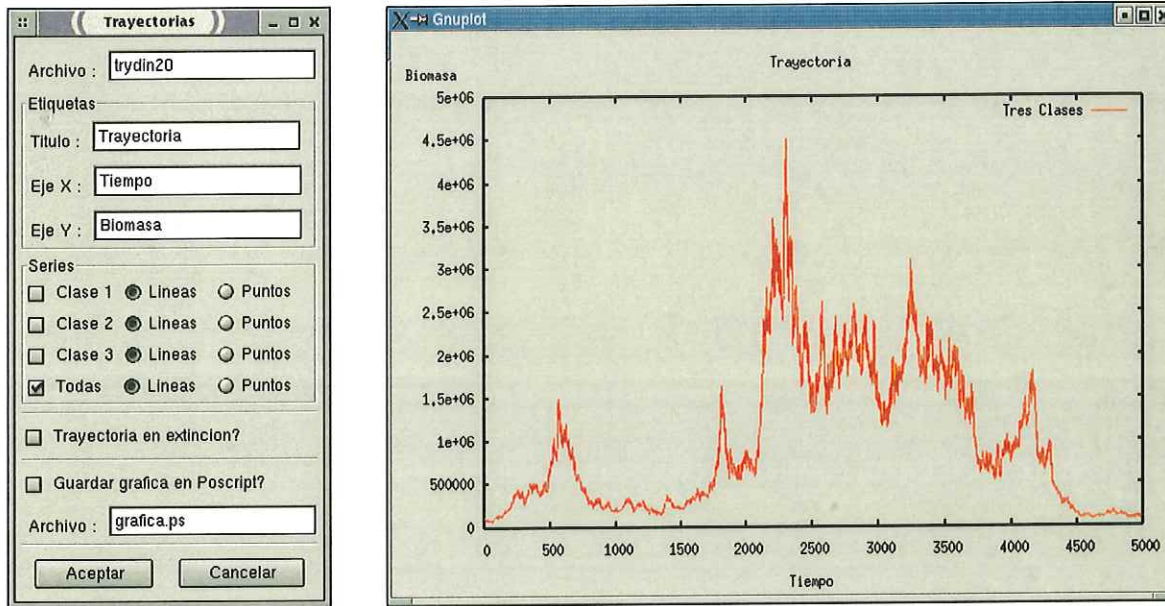


Figura A38. Archivo “trydin20.txt” de datos generado por la simulación del proceso de la dinámica. En esta gráfica se muestra la serie de datos que describen la trayectoria de la dinámica de la población de la suma de todas las clases.

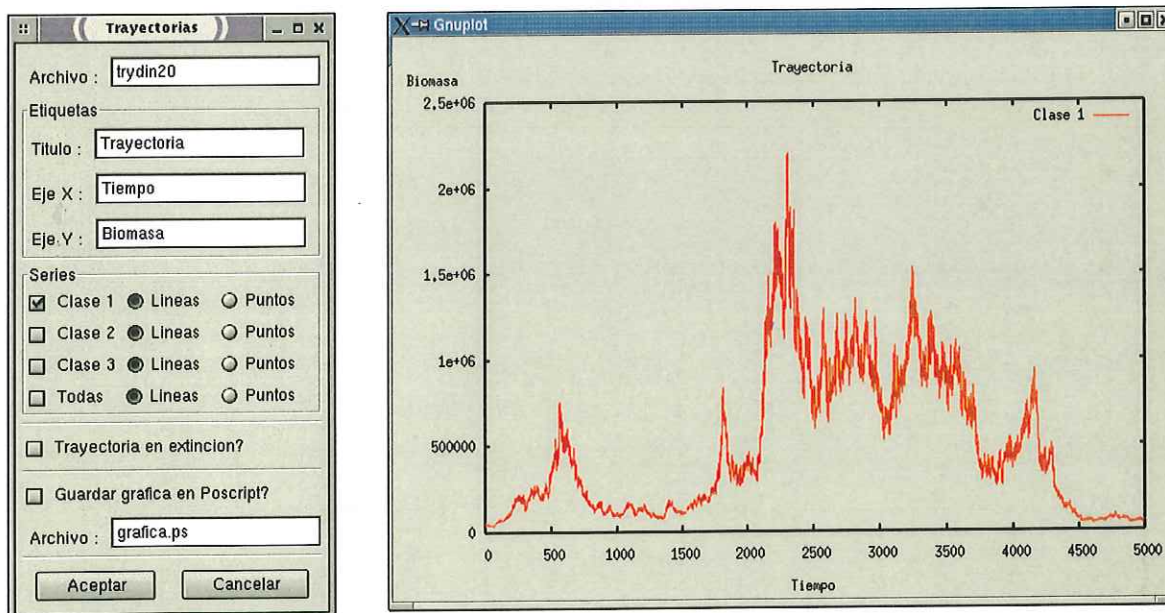


Figura A39. Archivo “trydin20.txt” de datos generado por la simulación del proceso de la dinámica. En esta gráfica se muestra la serie de datos que describen la trayectoria de la dinámica de la población de la clase uno.

Las figuras A40, A41 y A42, muestran un ejemplo sobre la manipulación de los datos contenidos en la ventana flotante de la figura A36. Para estos ejemplos se utilizó el archivo de datos, `tryext0.txt`, generado por la simulación del proceso de extinción. Al igual que los ejemplos anteriores, en estos no se muestran los valores de los parámetros bajo los cuales se realizaron las simulaciones. El archivo que genera las gráficas que se muestran en las figuras A40 y A41 es el mismo, pero los datos que contiene el archivo son diferentes entre una y otra gráfica, esto es, se hicieron dos simulaciones utilizando el mismo nombre del archivo. Además, en la figura A41 aparecen el nivel de equilibrio (K) y el umbral de viabilidad ($0.10K$). En la figura A42 se utiliza el mismo archivo de datos que en la figura A40.

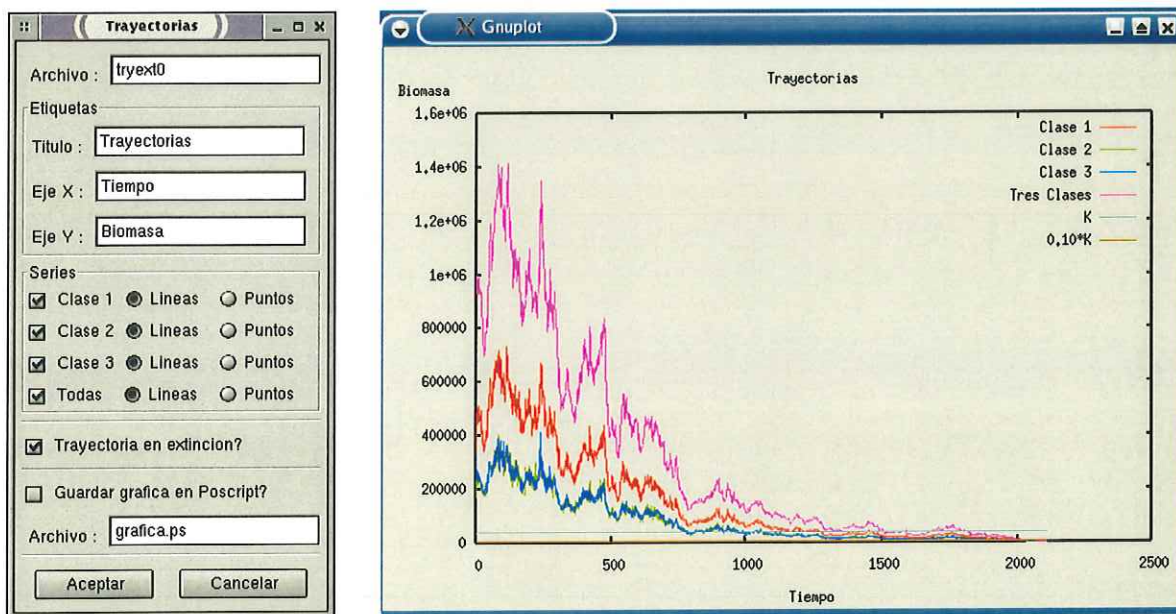


Figura A40. Archivo “`tryext0.txt`” de datos generado por la simulación del proceso de extinción. En esta gráfica se muestran las cuatro series de datos que describen las trayectorias de la dinámica de cada una de las clases y la de la suma de todas éstas.

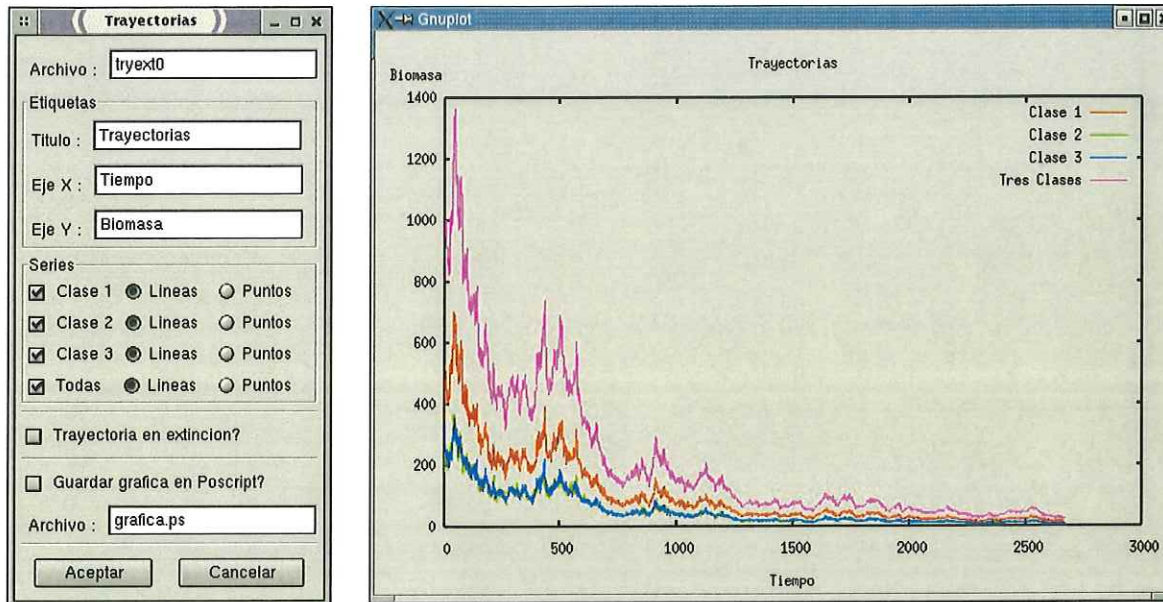


Figura A41. Archivo “tryext0.txt” de datos generado por la simulación del proceso de extinción. En esta gráfica se muestran las cuatro series de datos que describen las trayectorias de la dinámica de cada una de las clases y la de la suma de todas éstas.

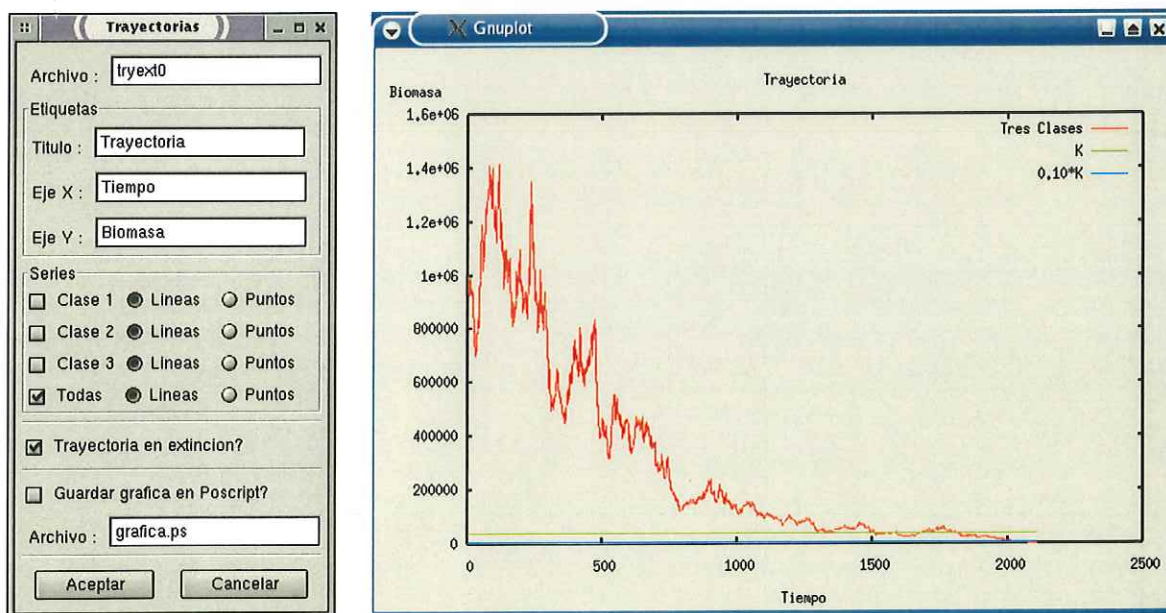


Figura A42. Archivo “tryext0.txt” de datos generado por la simulación del proceso de extinción. En esta gráfica se muestra la serie de datos que describen la trayectoria de la dinámica de la suma de todas las clases.

A.5.2 El comando Sistema de explotación – Ctrl+J.

El comando Sistema de explotación se activa por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+J. Este comando activa la ventana flotante de la figura A43, a través de la cual el usuario puede graficar la biomasa capturada, el número de barcos en cada unidad de tiempo y las capturas por unidad de tiempo.

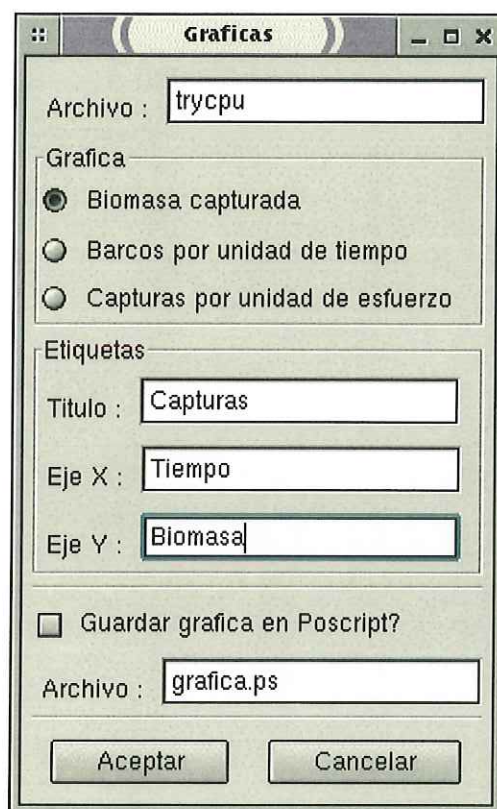


Figura A43. Ventana flotante, a través de la cual el usuario puede seleccionar graficar los datos de cualquier opción.

Las figuras A44, A45 y A46, muestran un ejemplo sobre la manipulación de los datos contenidos en la ventana flotante de la figura A43. Para estos ejemplos se utilizó el archivo de datos, `trycpu.txt`, generado por la simulación del proceso de explotación. Al igual

que los ejemplos anteriores, en estos no se muestran los valores de los parámetros bajo los cuales se realizaron las simulaciones.

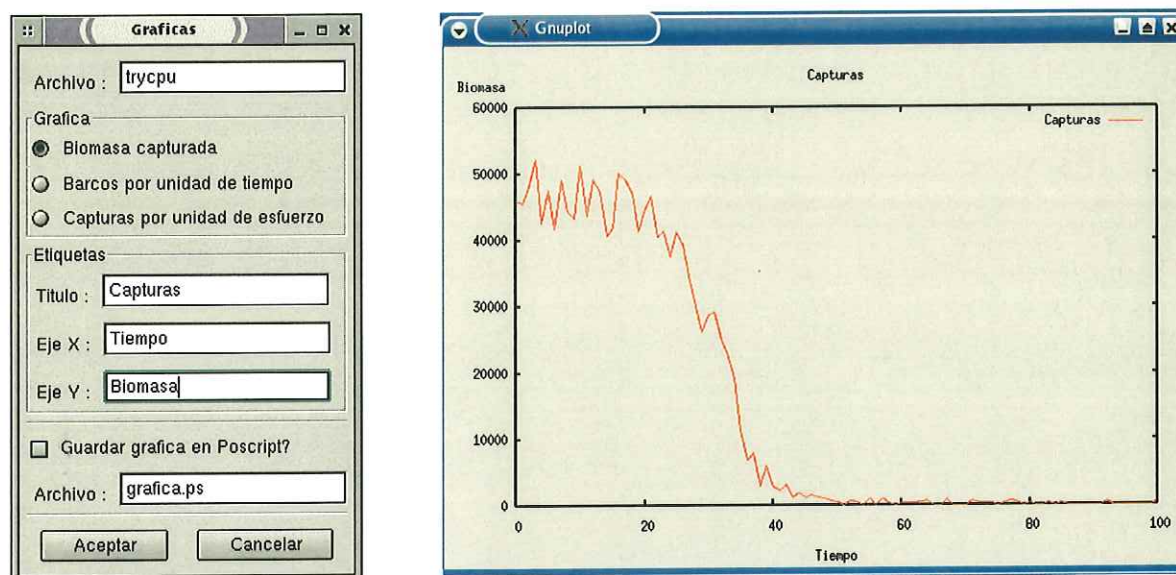


Figura A44. Archivo “trycpu.txt” de datos generado por la simulación del proceso de explotación. En esta gráfica se muestran la biomasa capturada por toda la flota en cada unidad de tiempo.

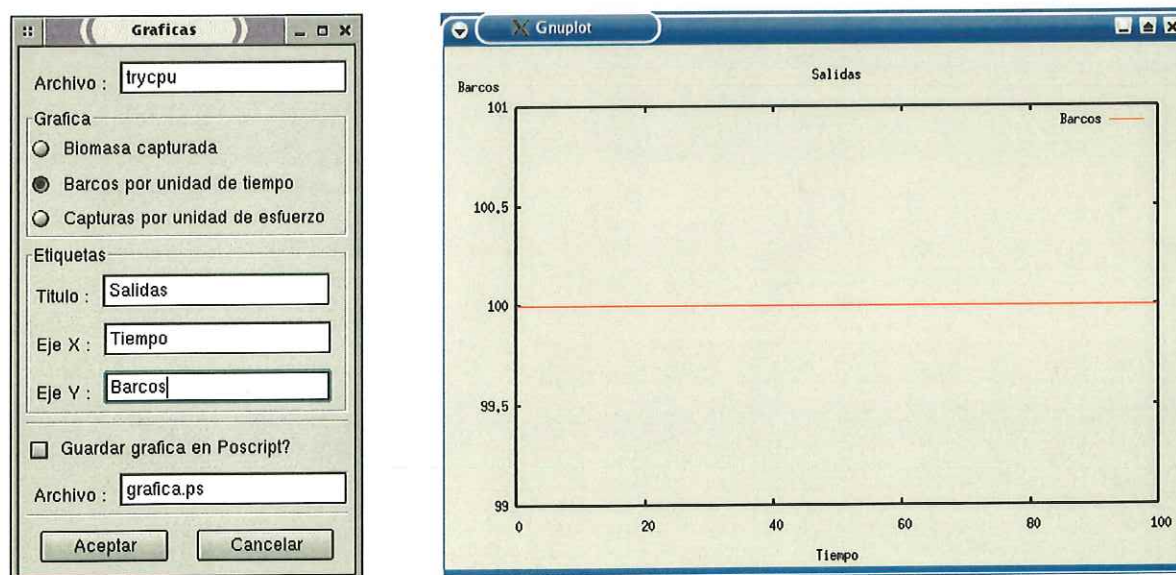


Figura A45. Archivo “trycpu.txt” de datos generado por la simulación del proceso de explotación. En esta gráfica se muestra el número de barcos que salió a pescar en cada unidad de tiempo. En este ejemplo el número de barcos que salió a pescar fue constante.

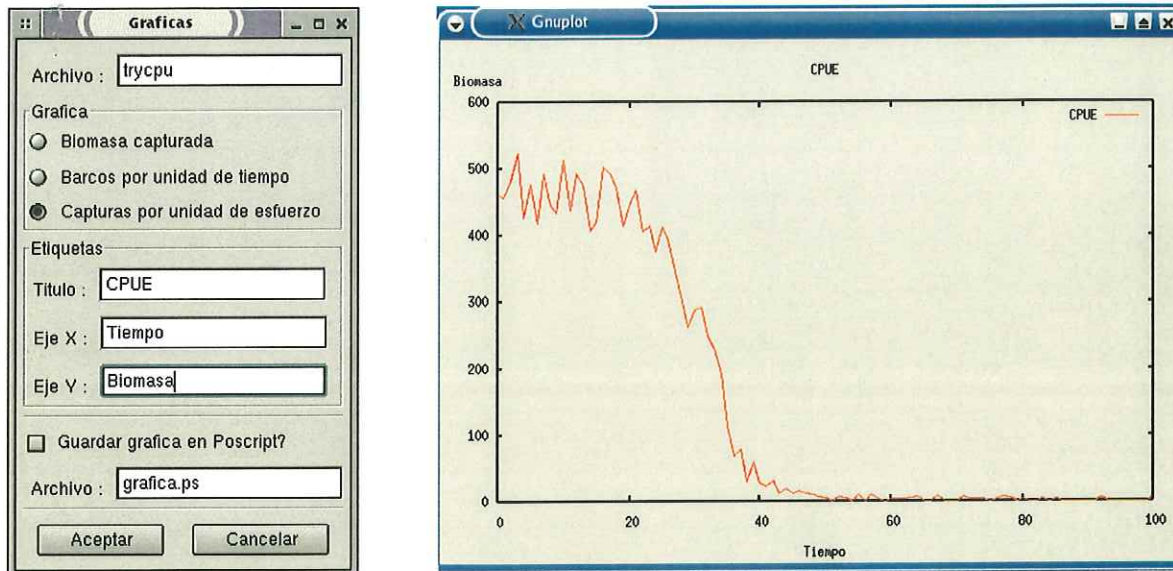


Figura A46. Archivo “trycpu.txt” de datos generado por la simulación del proceso de explotación. En esta gráfica se muestra las capturas por unidad de esfuerzo.

A.5.3 El comando Ver última gráfica – [Ctrl+9].

El comando Ver última gráfica es activado por selección, utilizando el mouse, o presionando las teclas Ctrl+V. Este comando despliega la última gráfica generada por GnuPlot a través de cualquiera de los comandos vistos en las secciones A.5.1 y A.5.2 sin la necesidad de utilizar las ventanas flotantes que se muestran en las figuras A36 y A43 respectivamente.

A.6 El menú Ayuda – Alt+Y.

El menú Ayuda contiene dos comandos, los cuales son utilizados para desplegar información acerca del funcionamiento y desarrollo del sistema GtkPDS (figura A47). En esta misma sección se hace una descripción de ambos comandos.

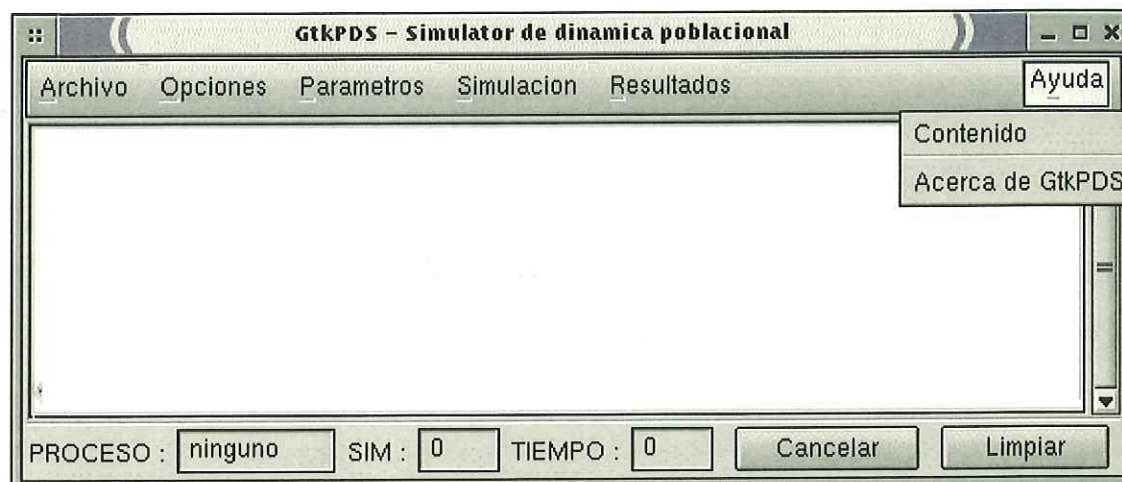


Figura A47. Comandos del menú Ayuda.

El comando Contenido abre un archivo a través de un visualizador de archivos con formato .pdf, y muestra el contenido de este mismo apéndice como manual de apoyo para el usuario. El comando Acerca de GtKPDS, activa la ventana flotante de la figura A48, la cual contiene información acerca de cuándo, dónde, para qué, y quién desarrolló este sistema.

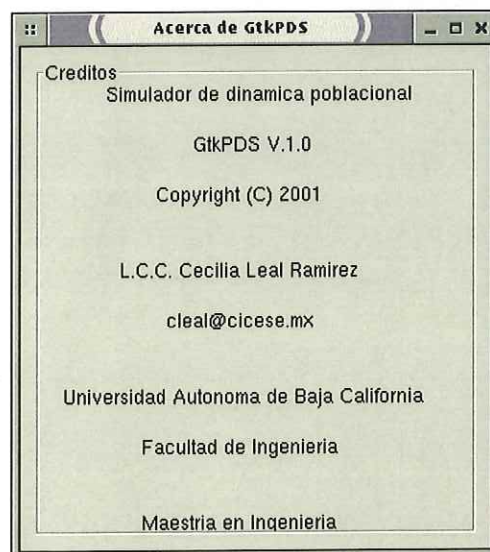


Figura A48. Ventana informativa acerca del sistema GtKPDS.

DEFINICIÓN DE TERMINOS

Autómata Celular: modelo formal compuesto por un conjunto de entes susceptibles de encontrarse en un cierto estado y de alterarlo de un instante al siguiente, donde el tiempo transcurre en forma discreta.

Biomasa: peso total de los individuos que componen una población.

Captura por unidad de esfuerzo (CPUE): la biomasa que se captura durante la acción de cada unidad de esfuerzo pesquero. Ejemplo: toneladas por viaje.

Ente ó celda: punto de coordenada de la región rectangular del autómata celular.

Hábitat: espacio que reúne los elementos necesarios para que una población u organismo desarrolle su acción vital.

Metapoblación: conjunto de poblaciones locales o bien subpoblaciones de la misma especie que interactúan por medio de la dispersión de los individuos entre las subregiones del hábitat que ocupan, donde ocurren los eventos de inmigración y emigración, extinciones locales y colonizaciones (Levins, 1970; Taylor, 199-; Hanski y Gilpin, 1991; Verboom et al., 1991b).

Modelo: es una representación formal o abstracción de un sistema o proceso.

Población uniespecífica: conjunto de individuos de una sola especie que habitan una determinada región.

Simulación: arte y ciencia de crear una representación de un proceso o sistema para el propósito de experimentación y evaluación.

BIBLIOGRAFIA

Allee W. C., 1931. "Animal aggregations, a study in general sociology". The University of Chicago Press. Chicago. 431pp.

Andrewartha H. G. y Birch L. C., 1954. The Distribution and abundance of Animals. University of Chicago Press, Chicago, Illinois.

Banks J., 1998. Principles of Simulation. En Jerry Banks (compilador), Handbook of Simulation, principles, methodology, advances, applications, and practice, (pp. 3-30). USA. John Wiley & Sons, Inc.

Bax N. J., 1986. Age structure – is it necessary in biomass-based ecosystem simulations?. Repor for NOAA, NMFS Contract No. 83-ABC-051.

Berryman A. A., 1981. Population systems: a general introduction. Plenum Press, New York.

Fox W., 1970. An Exponential Surplus-Yield Model for Optimizing Exploited Fish Populations. Trans. Amer. Fish. Soc. No 1. Pag 80-88.

Fox Jr. y William W., 1975. Fitting the generalized stock production model by least-squares and equilibrium approximation. Fishery Bulletin. Vol. 73, No. 1.

González-Dávila G., 1998. Evaluación de la pesquería de anchoveta *Engraulis Mordax* Girard, 1856 de Baja California, México y perspectivas de su regulación. Tesis de Maestría. CICESE.

Getz W. M y Haight R. G., 1989. Population Harvesting, Demographic Models of Fish, Forest, and Animal Resources. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, 392 pages.

Hanski I. y M.Gilpin., 1991. Metapopulations dynamics: brief history and conceptual domain. Biological Journal of the Linnean Society, 42: 3-16.

Hilborn R. y Walter C. J., (1992). Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics & uncertainty. New York, USA. Chapman and Hall.

Jetschke G., 1992. Stochastic population models and their relevance for the conservation of species. Ecological Modelling. Vol. 63, 71-89.

Ludwing D. y Walters C., 1985. Are age structured models appropriate for catch effort data?. Can J. Fish. Aquat. Sci. 42:1066-1072.

Levins R., 1970. Extincion In: "Some Mathematical Questions in Biology", Lectures in Mathematics in the Life Sciences, p. 75-108. American Mathematical Society, Vol. 2, Providence, R. I, USA.

Pella J. J. y Tomlinson P. K., 1969. A generalized stock production model. Inter-American Tropical Tuna Commission. Bulletin, vol. 13, No. 3.

Piña V. P. Simulación de dinámica poblacional inducida por gradiente de favorabilidad ambiental. Tesis de Maestría 1997.

Reed W. J., 1986. Analyzing catch-effort data allowing for randomness in the catching process. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 174-186.

Sissenwine M.P., 1977. The effect of random fluctuations on a Hypothetical Fishery. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries, Selected Pappers No. 2. Pag. 137-144.

Schaefer M. B., 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. Bulletin, Vol. 1, No. 2.

Schnute J., 1977. Improved stimates from the Schaefer production model: theoretical considerations. J. Fish. Res. Board Can. 34: 583-603.

Taylor A. D., 1990. Metapopulations, dispersal, and predator-prey dynamics: an overview. Ecology, 71:429-433.

von Neumann J. y Burks. A. W, 1966. Theory of Self-Reproducing Automata, Univ. of Illinois Press, Urbana IL.