

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

MODELO BIDIMENSIONAL DE REPRODUCCION COMO FRACTURA  
DE UNA UNIDAD AUTOPOIETICA

Tesis para optar al grado  
de Licenciada en Ciencias  
con mención en BIOLOGIA.

Profesor guía: Dr. Humberto Maturana

ROSA LIZANA BALLVE

1 9 8 1

# I N D I C E

	Página
RESUMEN	i
CAPITULO I Introducción	
I.1 Antecedentes	1
I.2 Sistemas autopoieticos	2
I.3 Fenómenos biológicos	3
I.4 Este trabajo	7
CAPITULO II Descripción del modelo	
II.1 Bases para la elaboración del modelo	14
II.2 Diagrama de flujo del programa computacional	18
II.3 Algoritmo	19
CAPITULO III Establecimiento de unidades autopoieticas	24
CAPITULO IV Selección ontogénica	35
CAPITULO V El fenómeno reproductivo en sistemas autopoieticos	43
CAPITULO VI Comentarios finales	
VI.1 El modelo	47
VI.2 Los componentes	49
VI.3 Los fenómenos biológicos	50
Referencias	52

## RESUMEN

Un sistema en el espacio físico se considera un sistema vivo si cumple con los requerimientos de la organización autopoietica, y es esta condición de autopoiesis el punto desde el cual se derivaría la fenomenología biológica. Así el fenómeno de la reproducción no debe ser visto como rasgo definitorio de los seres vivos, sino como secundario a la constitución de éstos y es de esta forma que la reproducción surgiría de modificaciones en la manera como se realiza un sistema autopoietico en el espacio físico. Desde el punto de vista de la teoría de la autopoiesis, el fenómeno reproductivo se da como un proceso de simple división que consiste en la fractura de una unidad autopoietica en que los componentes y procesos que ellos generan están distribuídos uniformemente en la unidad y con todos los componentes en dosis múltiple, de modo que una simple división puede separar fragmentos que tienen la misma organización que la unidad original.

Este trabajo consiste en establecer un modelo gráfico bidimensional mediante procedimientos computacionales, el cual permite observar la generación de la organización autopoietica y su reproducción. El único rol del programa es realizar las propiedades de los elementos del espacio gráfico. En este espacio existen en un comienzo los llamados catalizadores y los llamados sustratos, que se mueven aleatoriamente en él. Estos elementos tienen propiedades específicas que determinan interacciones que resultan en la producción de nuevos elementos, eslabones libres, con características tales que de sus interacciones puede resultar la formación de cadenas. Una cadena puede cerrarse alrededor del elemento catalizador, y si esto

ocurre, y los eslabones de la cadena que decaen con una probabilidad determinada por su vida media, son reemplazados por otros producidos por el catalizador que la cadena engloba, resulta una unidad autopoietica.

El fenómeno de la reproducción en este modelo, aparece como parte de la realización de una unidad estabilizada en el tiempo, y se da como consecuencia de cambios locales sucesivos determinados por las propiedades de los componentes que participan. Estos cambios llevan a la unidad a una condición de fractura, de la cual resulta la formación de dos nuevas unidades con las mismas características que la original.



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### I.1 Antecedentes

Uno de los problemas más antiguos y difíciles para la biología ha sido y sigue siendo aquel relacionado con el origen y caracterización de los seres vivos. A través de la historia se han intentado diversos tipos de explicaciones donde se incluyen algunas, como el pensamiento vitalista en que se atribuyen las propiedades características de los seres vivos a una "fuerza vital" sobrenatural, la idea de la creación especial que tiene una interpretación literal en el relato bíblico del Génesis, y el tipo de explicación que ha ganado más adeptos en los últimos años, la teoría mecanicista, que niega la necesidad de alguna fuerza inmaterial organizadora de lo vivo y se basa en la creencia de que las propiedades de lo vivo derivan de las leyes naturales. Esta última actitud es la única de las nombradas que ubica a los seres vivos como posibles de analizar e investigar, y permite en principio la caracterización de la organización de lo viviente y su reconocimiento.

H.R. Maturana y F. Varela con un enfoque mecanicista han intentado contestar la pregunta que ellos aducen como siempre presente: ¿Qué tienen en común los sistemas vivos que nos permiten calificarlos de tales?

Ellos plantean que el rasgo esencial de los seres vivos es su autonomía y mantienen que ésta queda determinada por una organización común

a todos ellos, cualquiera que sea la naturaleza de sus componentes, apuntando que esta organización definitoria debe ser expresada exclusivamente en términos de relaciones y no de propiedades de los componentes. Esto en circunstancias en que la organización de un sistema o unidad compuesta está constituida por las relaciones que determinan, en el espacio en que están definidas, la dinámica de interacciones y transformaciones de los componentes, y con ello, los estados posibles del sistema (Maturana y Varela, 1973, 1980).

Más aún, los autores han formulado la teoría de la autopoiesis (Maturana y Varela, 1973, 1980), en su intento de explicar la organización de lo viviente sosteniendo que la noción de autopoiesis es necesaria y suficiente para caracterizar la organización de los seres vivos.

## I.2 Sistemas autopoieticos

Un sistema autopoietico es un sistema organizado como una red de procesos de producción de componentes concatenados de tal manera que producen componentes que:

- i) generan los procesos de producción que los producen a través de sus continuas interacciones y transformaciones, y
- ii) constituyen al sistema como una unidad en el espacio en que ellos (los componentes) existen.

Dicho en otras palabras, un sistema autopoietico está especificando y produciendo continuamente su propia organización mediante la producción de sus componentes, y esta organización significa solamente procesos concatenados de una forma tal que producen los componentes que constituyen y especifican al sistema como unidad. Es esta organización la que perma-

nece invariante en un sistema autopoietico mientras es un sistema autopoietico.

Un sistema autopoietico existe en el espacio en que sus componentes quedan definidos. En el caso de un sistema en el espacio físico, si éste es autopoietico, es un sistema vivo. Esta condición de autopoiesis de los seres vivos constituye el punto de partida desde el cual se derivaría toda la fenomenología biológica.

El presente trabajo tiene como objeto ilustrar y discutir aspectos de la fenomenología de los seres vivos como son su origen, ontogenia y reproducción, mediante un modelo que realiza un sistema autopoietico en un espacio grafico bidimensional, con la sola especificación de las propiedades locales de los componentes, sin recurrir a nociones de control o regulación que implican una referencia al sistema como totalidad y no tiene carácter local.

Por último, ya que la organización autopoietica se ha postulado como el único requisito para que un sistema dado en el espacio físico sea un ser vivo, de modo que todos los fenómenos biológicos estarían subordinados a la existencia de esta organización, es mi intención en este trabajo mostrar mediante la modelación de un sistema autopoietico que los fenómenos biológicos pueden de hecho surgir de simples modificaciones en la manera como éste se realiza.

### I.3 Fenómenos biológicos

El fenómeno de la reproducción, que tantas veces ha aparecido como un rasgo definitorio de los seres vivos, debe ser visto como secundario a



la constitución de éstos, ya que previo a la ocurrencia de este fenómeno debe haberse establecido una organización autopoietica. Esto no es raro, si aceptamos el hecho de que estar vivo es independiente del hecho de reproducirse, aún cuando el fenómeno reproductivo aparece como fundamental para que puedan existir los fenómenos de herencia, cambio genético y evolución.

Desde el punto de vista de la teoría de la autopoiesis el fenómeno de la reproducción se da como un proceso de simple división que consiste en la fractura de una unidad autopoietica en que los componentes y procesos que ellos generan están uniformemente distribuídos en la unidad y con todos los componentes en dosis múltiple, de tal forma que una simple división puede separar fragmentos que tienen la misma organización que la unidad original. De hecho, en las células modernas la reproducción está asociada a un proceso de descompartmentalización que involucra particularmente a los ácidos nucleicos, de modo que la profase mitótica consiste en el establecimiento de un plano de fractura sin interrupción de la autopoiesis y sin que esto dependa de ninguna especie molecular particular, sino de la dinámica celular completa (Maturana, 1979). A esto se le llama corrientemente autoreproducción, fenómeno que con esta características es peculiar a los seres vivos terrestres.

Antes de continuar, creo necesario destacar la diferencia entre los términos organización y estructura. Organización, se refiere a relaciones entre componentes que deben permanecer invariantes en una unidad, de modo que no ocurra cambio en su identidad de clase y se transforme en alguna otra cosa. El término estructura, se refiere a los componentes y sus relaciones efectivas que en un instante determinado constituyen una

unidad como entidad concreta en el espacio en que sus componentes la de  
finen.

Se desprende que las relaciones entre componentes que consfituyen la estructura de una unidad particular incluyen las relaciones que definen su organización y, por lo tanto, que la estructura de una unidad puede variar sin cambiar su identidad de clase, mientras las relaciones propias de la organización permanezcan invariantes. Si como resultado de los cam  
bios estructurales cambian las relaciones de la organización de la unidad, ésta pierde su identidad de clase. Así, un ser vivo se desintegra si la organización autopoietica que lo define como unidad es destruida.

El fenómeno de la herencia es consecuencia directa del fenómeno de re  
producción, si se entiende por herencia la aparición de la misma organización y características que estaban presentes en la unidad original, en las unidades resultantes.

Asociado con la reproducción está el fenómeno evolutivo. En general, para que ocurra evolución en un sistema de unidades, se requiere de reproducción secuencial, lo que determina una historia, y de la posibilidad de cambio estructural en cada etapa reproductiva, de modo que pueda darse el proceso de selección como una realización diferencial de las unidades producidas en la reproducción. En el caso particular de los seres vivos la evolución es una consecuencia de la autoreproducción, y en ellos toda perturbación, en la medida en que gatilla un cambio estructural sin pérdida de identidad de clase, puede participar en la selección de un cierto linaje que tendrá características propias según el modo de producción de los componentes involucrados. Así, si en las células modernas ocurre un

cambio en el ADN en la medida que el mecanismo de su producción asegura que el nuevo ADN aparezca en las células resultantes de la autoreproducción, este cambio puede participar en la formación de un linaje según las características de la genética nuclear.

La estructura de un sistema autopoietico especifica en todo instante cual configuración estructural adoptará como resultado de una transición de estado, ya sea éste resultado de un cambio en su dinámica interna o de una interacción con el medio. Así, el medio actúa a través de sus interacciones, no especificando qué configuración estructural adoptará el sistema, sino que actúa como gatillador selectivo de alguna configuración que está dentro de las posibles según sea la dinámica interna del sistema (Maturana, 1979). En estas circunstancias, el proceso de selección se da en dos dominios operacionalmente diferentes, pero históricamente interdependientes. Uno, la selección ontogénica, donde la ontogenia efectiva de una unidad autopoietica es su historia individual de cambio estructural mientras realiza su autopoiesis bajo un continuo acoplamiento estructural al medio ambiente; el otro, la selección filogénica, donde una filogenia es una secuencia de unidades producidas secuencialmente por autotoreproducción.

Así, la selección ontogénica estabiliza la realización de la autopoiesis, y la selección filogénica estabiliza la realización de la reproducción. De este modo, cualquier unidad autopoietica es el resultado del operar de unidades autopoieticas en estos dos dominios de selección que son históricamente dependientes, debido a que la reproducción es un estado de la autopoiesis y como tal, tiene lugar mientras la autopoiesis se conserve durante la ontogenia de la unidad que se autoreproduce.



Por último, de esto resulta que aunque el proceso selectivo en los seres vivos tiene lugar a través de su operar como unidades autopoieticas en un medio y el fenómeno selectivo se realiza en la relación ser vivo-medio, lo seleccionado tanto en la ontogenia como en la filogenia, es una estructura, es decir, una configuración de componentes y sus relaciones.

#### I. 4 Este trabajo

El trabajo que detallaré a continuación, consiste en un modelo computacional que permite observar la generación espontánea en un espacio gráfico de la organización autopoietica, en sistemas mucho más simples que cualquier sistema vivo conocido y esto, mediante la sola especificación de propiedades de elementos primarios y componentes resultantes. Las ideas centrales de este modelo, fueron originalmente propuestas por F. Varela, H. Maturana y R. Uribe en 1974, en un trabajo en el que desarrollaron un primer modelo del tipo que presento aquí. Este modelo consiste de un universo gráfico bidimensional, donde en el comienzo existen dos tipos de elementos, los llamados catalizadores y los llamados sustratos, que se mueven aleatoriamente en él. Estos elementos tienen propiedades específicas que determinan interacciones que pueden dar como resultado la producción de nuevos elementos, eslabones inestables, con características tales que de sus interacciones puede resultar la formación de cadenas permeables a los sustratos pero no a eslabones libres. Más aún, como resultado de sus interacciones, una cadena puede cerrarse sobre sí misma alrededor del elemento catalizador. Si todo esto ocurre, y los eslabones



de la cadena cerrada que decaen con una probabilidad determinada por su vida media, son reemplazados por otros que se encuentran en la cercanía, producidos por el catalizador que la cadena engloba, resulta una unidad dinámica que constituye una red de producción de componentes que generan y participan en la red de producción que los produce. El sistema así generado, satisface la organización autopoietica en un espacio gráfico. Las reglas de interacciones y transformaciones de los elementos y componentes en el espacio gráfico, se muestran en la Fig. I.1.

Este modelo, tanto como otros construídos en espacios gráficos, bidimensionales, modulares o no (von Neuman, 1966; Burks, 1970) tiene como base una simplificación de situaciones físicas reales, a través de reemplazar el espacio físico por otro más simple (de menos dimensiones). La diferencia fundamental que presenta el enfoque con que se genera el modelo que utilizo en este trabajo con respecto a los otros, es que todos los procesos generados en éste ocurren sólo como resultado de especificaciones locales de las propiedades de los elementos y componentes participantes, sin ninguna referencia a la totalidad que integran.

Mi trabajo, con este modelo, ha consistido en 4 etapas:

i) una etapa inicial, que consistió en elaborar una nueva forma computacional del modelo, más amplia y flexible, capaz de generar elementos gráficos regidos por las mismas reglas de interacciones y transformaciones que los de 1974 (ver Fig. I.1). En sentido estricto, este es un nuevo modelo que permite no sólo la generación de unidades, sino que es capaz de ilustrar otros aspectos de la fenomenología biológica, como explicaré más adelante. La elaboración de este programa inicial, presenta un alto grado de dificultad computacional, dada la complejidad del sistema que se quiere generar (sistema autopoietico), y dado que lo que se está haciendo es

es representar fenómenos naturales en que los procesos ocurren simultáneamente en el tiempo, mediante procesos que en el computador ocurren secuencialmente.

Además, debo insistir nuevamente en este punto, que la generación de unidades autopoieticas en el espacio gráfico, generado por el programa de computación, debe estar determinada exclusivamente por fenómenos de interacciones locales debidas a la naturaleza de las propiedades de los elementos del espacio usado. En caso contrario, no se cumple el objetivo de generar un sistema autopoietico. De modo que, un programa óptimo será aquel capaz de generar elementos en un espacio gráfico con propiedades que permitan interacciones locales capaces de concatenarse en una organización autopoietica de una manera isomórfica a lo que ocurre en el auto ensamblaje molecular.

ii) Una vez producido este programa óptimo, el paso siguiente de este estudio ha consistido en variar algunos parámetros en sus condiciones iniciales, en el ámbito de las propiedades de los elementos participantes, con el fin de buscar límites aproximados en la generación de unidades autopoieticas bidimensionales; es decir, en buscar qué condiciones son aquellas que como resultado de una serie de interacciones y transformaciones, llevan al establecimiento de estas unidades. Algunos de estos parámetros por ejemplo, son las vidas medias de los componentes utilizados o las velocidades de síntesis de estos componentes. Este aspecto del estudio, permite no sólo encontrar una población muy diversa de unidades en que aparecen límites en su generación, sino que entrega una clara mostración de la importancia de las relaciones entre componentes como factor suficiente en la generación de la organización autopoietica y donde se hace evidente

que las nociones de regulación y control, sólo tienen un valor descriptivo y no operacional. El intentar mostrar la importancia de la mantención de las relaciones que definen una unidad, constituye la diferencia fundamental entre el modelo que presento y otros del mismo tipo genérico, como son el conocido juego de la "vida" (Gardner, 1971), o las máquinas construídas por von Neuman. En este tipo de modelos, el énfasis está puesto en la modelación formal de descripciones de fenómenos como reproducción y cambio, y el problema de la mantención de la identidad de los sistemas generadores y la modelación de los procesos de generación de estos fenómenos como dependientes de la organización de la unidad generadora se deja de lado. Mi estudio en cambio, se centra en la modelación de los procesos mismos que pueden resultar en los fenómenos de reproducción y selección de una unidad autopoietica.

iii) Cualquier unidad con características de sistema autopoietico, tendrá una historia en el tiempo y su ontogenia dependerá de los cambios estructurales adoptados en cada momento de su historia. De este modo, el modelo que planteo es adecuado para mostrar aspectos del proceso de selección ontogénica y posteriormente, del fenómeno evolutivo ya que los sistemas gráficos que resultan de la ejecución de los programas permiten visualizar la secuencia de los instantes de cambio estructural que ocurren durante la ontogenia de las unidades autopoieticas modeladas.

A una unidad con una estructura propia, se la somete a diferentes cambios estructurales que resultan en cambios en su dinámica interna, generando con esto, distintas posibilidades selectivas que según la trayectoria de acoplamientos estructurales seguida en la mantención de la identi-



dad de clase de la unidad permitirán la realización de diferentes ontog<sub>e</sub>nias. La referencia operacional en el proceso de selección ontogénica del cambio estructural en el sistema autopoietico modelado va a estar constituida en este trabajo, por la estabilidad temporal que los distintos cambios estructurales den en distintas instancias del modelo, tomando como un criterio de estabilidad la cantidad de instantes sucesivos en que las unidades en su dinámica permanecen abiertas en relación a la cantidad de instantes que permanecen cerradas durante un tiempo determinado.

iv) La última etapa de este trabajo ha consistido en la obtención del fenómeno reproductivo como parte de la realización de una unidad autopoietica, ya que desde el punto de vista de la teoría de la autopoiesis, la reproducción aparece como resultado de procesos de la dinámica interna de la unidad que llevan a una fractura determinada en un cierto momento de su ontogenia.

Así, he podido comprobar mediante el modelo, que efectivamente basta tener todos los componentes en dosis múltiple y una condición de fractura como resultado de fenómenos locales, para obtener dos nuevas unidades con la misma organización que la original. Esto muestra que lo que está ocurriendo en definitiva, es una reproducción de la organización autopoietica y, por lo tanto, el fenómeno de la herencia. Con la aplicación del modelo para estudiar el fenómeno de reproducción y algunas de sus consecuencias se da por finalizado el trabajo que aquí se presenta.

Resumiendo, este estudio consiste en la elaboración de un modelo gráfico de autopoiesis, mediante procedimientos computacionales y su desarrollo en algunos aspectos de la fenomenología biológica. A pesar de que

el fenómeno evolutivo no es tratado explícitamente aquí, en el sentido que no se genera una secuencia de reproducciones con cambios en las etapas reproductivas, en este trabajo se entregan las bases que hacen la posibilidad de su existencia una consecuencia simple de la reproducción, por lo que la simulación del proceso de evolución en sistemas autoreproductores gráficos aparece como el paso siguiente en el desarrollo del modelo.

Como volveré a indicar más adelante, según mi revisión de la literatura, estos resultados son los primeros obtenidos en la modelación de estos fenómenos en un espacio gráfico generados por relaciones locales entre elementos participantes sin referencia directa o implícita a la participación de la unidad resultante en la dinámica de sus componentes.



## CAPITULO II

## DESCRIPCION DEL MODELO

II.1 Bases para la elaboración del modelo

El lenguaje que genera el modelo gráfico está elaborado en lenguaje FORTRAN y se ha desarrollado en un computador IBM-370 de propiedad de la Universidad de Chile.

El espacio de interacción en este modelo, es generado mediante un arreglo o matriz bidimensional, en que cada posición queda identificada por un valor de fila (I) y otro de columna (J). Cada posición (I, J) de la matriz tiene una vecindad numerada de radio 1 como lo muestra la Fig. II-1, siendo el número 5 el lugar donde el algoritmo está siendo aplica

1	4	7
2	5	8
3	6	9

Fig. II-1

do. De este modo, cada número de 1 a 9 determina una nueva posición  $(I_1, J_1)$  relativa a la anterior (I, J). Cada una de las posiciones de la matriz puede estar ocupada por sólo 1 de los elementos participantes en el espacio gráfico y la forma en que estos elementos interactúen dependerá de sus propiedades como componentes de

una red en este espacio. Existen los componentes llamados primarios, que son aquellos que están presentes desde el comienzo que uno aplica el algoritmo, y los llamados secundarios, que como su nombre lo indica, aparecen durante el desarrollo del programa. A continuación se muestra una tabla ilustrando los elementos participantes y sus propiedades.



TABLA II-1

Elemento primario	Sustrato	Puede moverse hacia cualquier posición de la matriz que contenga un hueco, por lo que se considera capaz de atravesar una cadena de eslabones. Si en su vecindad inmediata se encuentra otro sustrato y un catalizador participa activamente en la formación de 1 eslabón libre. Elemento estable en el tiempo no sufriendo desintegración, y en principio en continua agitación térmica
	Catalizador	En caso de movimiento, este es a radio 1 hacia una posición que contenga un hueco o un sustrato. En caso de ser sustrato, éste se desplaza hacia un hueco. No puede atravesar una cadena. Elemento estable en el tiempo cuya propiedad fundamental es participar pasivamente en la formación de eslabones, sin perder sus características.
Elementos secundarios	Eslabón libre	Su movimiento es a radio 1 hacia una posición que contenga un hueco o un sustrato. En caso de sustrato, éste se desplaza hacia 1 hueco. No puede atravesar una cadena. Elemento intermedio inestable en el tiempo de vida media corta. Posible de concatenarse cuando el ángulo formado entre el eslabón libre y una cadena abierta u otro eslabón libre no es inferior a 90°.
	Eslabón enlazado por un lado	No tiene movimiento. Elemento inestable en el tiempo de vida corta, dado que sus enlaces no están saturados. Puede concatenarse siempre que el ángulo de enlace no sea inferior a 90°.
	Eslabón enlazado saturado	No tiene movimiento. Sus enlaces están saturados y tiene una vida media, el doble de la del eslabón enlazado por un lado. La cadena de la cual forma parte es permeable sólo al paso de los sustratos.

Se puede ver que para obtener sistemas autopoieticos, aún cuando es tén generados en un modelo mínimo, como es el caso, los componentes no pueden ser simples en sus propiedades. Se requiere que los componentes tengan propiedades precisas que se manifiestan en sus interacciones, con catenaciones, movimientos y decaimientos. Quiero hacer notar que ningún componente, ni ninguna de estas propiedades en forma particular es responsable de la generación y mantención de la organización autopoietica. Esta estará constituida por relaciones, en este caso de vecindad, entre los componentes.

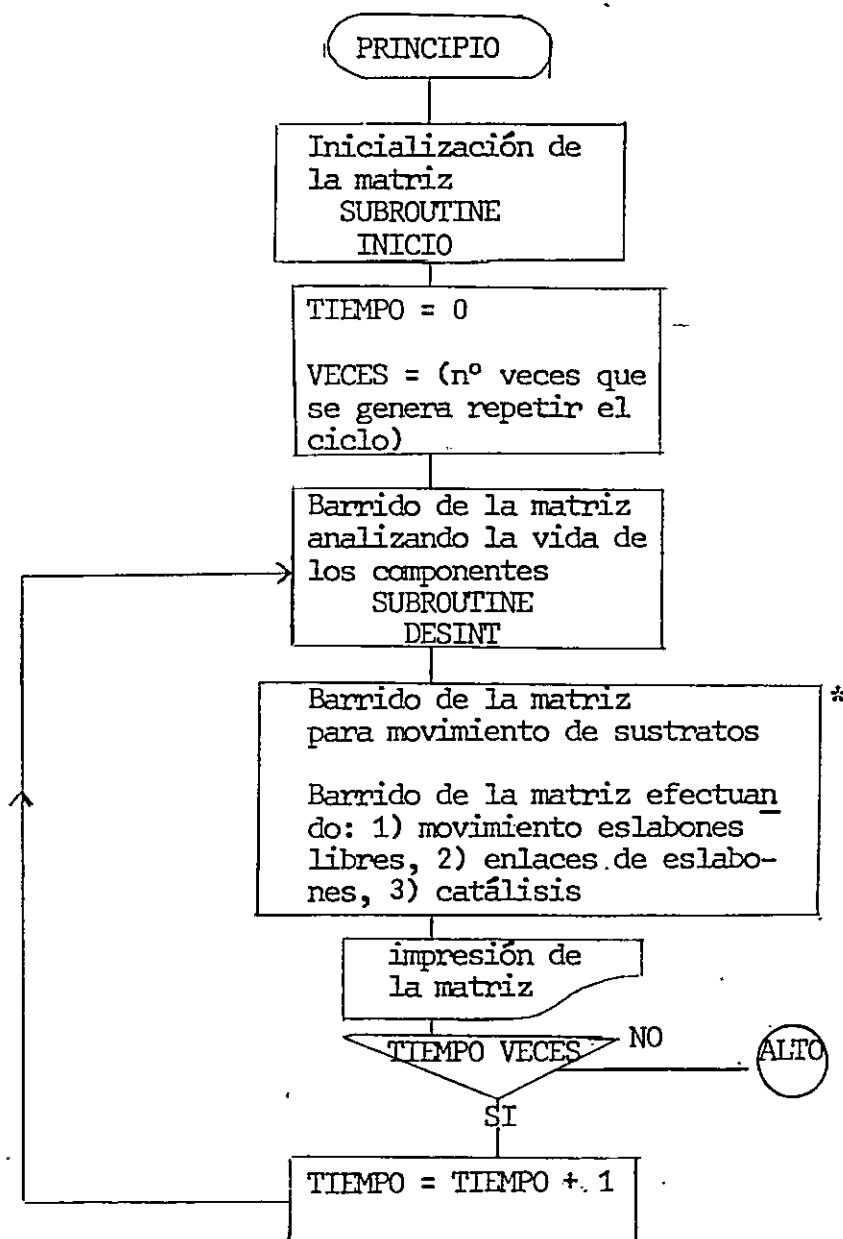
La dinámica de interacciones y transformaciones generada por el pro grama de computación que en el modelo puede llevar al establecimiento de unidades autopoieticas, consiste de cuatro puntos principales:

- i) Movimiento aleatorio de elementos sustratos en lo que se refiere a la dirección, pero dirigido en cuanto a que su posibilidad de movimiento está restringida al encuentro de lugares vacíos en el espacio utilizado, generando con esto en cada instante una nueva distribución de estos elementos, y por lo tanto, un cambio en las relaciones de vecindad en cada instante sucesivo. Al cambiar las vecindades de cada sustrato, se puede dar la relación que se debe satisfacer para la formación de eslabones. Este movimiento de los sustratos puede servisto como una analogía del mo vimiento de difusión y por agitación térmica que presentan las moléculas en el espacio físico.
- ii) Producción de eslabones que quedará determinada, como se dijo en el párrafo anterior, por la distribución de los elementos sustratos en torno del catalizador.

iii) Concatenación de eslabones, es decir, la formación de un borde que, en definitiva será lo que define al sistema como una unidad distinguible de un fondo. Este proceso quedará determinado por las propiedades que tienen los eslabones libres y las relaciones de vecindad que se den entre ellos como resultado de su movimiento.

iv) Desintegración de eslabones. Este aspecto está dado por un proceso que es uno de los participantes principales en la mantención de la dinámica de la unidad. Cada eslabón tiene una vida media asignada al azar de entre un rango de valores y, en el instante del término de ésta, el eslabón se desintegra. Si el eslabón en cuestión está enlazado, aparece un cambio en la vecindad de los elementos concatenados, quedando la unidad en un estado diferente de su dinámica. La desintegración de eslabones puede ser vista como análoga a los decaimientos moleculares que resultan de cambios energéticos por choques moleculares o absorciones de radiaciones no especificadas en la dinámica del sistema.

II-2 Diagrama de flujo del programa  
computacional



\*El movimiento de los sustratos corresponde a cambios en la distribución de los elementos del medio. El movimiento de los eslabones libres, la formación de enlaces, y la producción de eslabones, son procesos que participan en la formación del sistema o unidad que nos interesa. En estas circunstancias el orden elegido en esta secuencia se justifica solo bajo la noción de que el sistema a producir está contenido en un medio que lo perturba. En la práctica, sin embargo, como el proceso se reitera, la inversión de este orden no hace diferencia.



### II.3 Algoritmo

Este algoritmo, visto desde la forma más general, debe contener la posibilidad de que se cursen los procesos nombrados en la Sección II-1, como resultado de que los componentes adquirieran relaciones específicas entre ellos. Estas relaciones, en este caso, son de vecindad, es decir, relaciones de orden.

#### a) Movimiento de sustratos

- 1) Ubicar un hueco mediante iteración de los índices I, J que forman el arreglo  $MA(I, J)$  hasta llegar al valor máximo determinado para I y J.
- 2) Para cada hueco ubicado, elija al azar 2 números,  $I_1$  y  $J_1$ , entre 1 y un valor elegido como máximo para I y J, determinando así, una nueva posición  $(I_1, J_1)$ .
- 3) Si  $MA(I_1, J_1)$  contiene un sustrato intercambie las posiciones del sustrato y el hueco, y vuelva al punto 1.
- 4) Si  $MA(I_1, J_1)$  contiene cualquier otro elemento que no sea sustrato, vuelva al punto 1.

#### b) Movimiento de eslabones libres

- 1) Iteración de los índices I y J que forman el arreglo  $MA(I, J)$  analizando cada posición de la matriz, hasta llegar al máximo determinado para I y J.

- 2) Si la posición  $(I, J)$  contiene un hueco o un sustrato, vuelva al punto 1.
- 3) Si la posición  $(I, J)$  contiene un eslabón libre, siga los siguientes pasos:
  - 3.1) Tome un número al azar entre 1 y 9, determinando con esto una nueva posición vecina  $(I1, J1)$ .
  - 3.2) Si la nueva posición  $(I1, J1)$  es la misma  $(I, J)$  o está fuera de la matriz, repita la operación 3.1.
  - 3.3) Si  $(I1, J1)$  contiene cualquier elemento que no sea hueco o sustrato, vuelva al punto 1.
  - 3.4) Si la posición  $(I1, J1)$  contiene un hueco, mueva el eslabón libre de la posición  $(I, J)$  a  $(I1, J1)$  y ponga el hueco en  $(I, J)$  y vea si puede enlazar el eslabón según el algoritmo de enlace.
  - 3.5) Si la posición  $(I1, J1)$  contiene un sustrato busque en su vecindad inmediata un hueco con el que pueda intercambiar su posición el sustrato. En caso positivo vuelva al punto 3.3. En caso contrario, intercambie la posición  $(I, J)$  del eslabón libre con  $(I1, J1)$  del sustrato y vea la posibilidad de enlazar el eslabón libre en su nueva posición (ver algoritmo de enlace).
- 4) Si la posición  $(I, J)$  contiene un ESLE1, vea si éste puede enlazarse según el algoritmo de enlace.
- 5) Si la posición  $(I, J)$  contiene un catalizador, siga los siguientes pasos:
  - 5.1) Elija un número al azar entre 1 y 9, determinando con esto una nueva posición  $(I1, J1)$ .

- 5.2) Si  $(I1, J1)$  corresponde a la posición  $(I, J)$  o está fuera de la matriz, repita la operación 5.1.
- 5.3) Si la posición  $(I1, J1)$  contiene cualquier elemento que no sea hueco, pase al punto 5.5.
- 5.4) Si la posición  $(I1, J1)$  contiene un hueco, mueva el catalizador a  $(I1, J1)$  y el hueco queda en la posición  $(I, J)$ .
- 5.5) Vea la posibilidad de formación de eslabones según el algoritmo de producción y vuelva al punto 1.

c) Enlace

- 1) Haga 2 listas, una que contenga los ESLE1 y otras los ESL que es tén en la vecindad inmediata del elemento cuestionado.
- 2) Si el elemento es un ESLE1 pase al punto 4.
- 3) Si el elemento es un eslabón libre, siga los siguientes pasos:
  - 3.1) En caso de encontrar más de 1 ESLE1 en la vecindad, elija 1 al azar y pase al punto siguiente. En caso negativo pase al punto 3.3.
  - 3.2) Si hay 1 ESLE1 en la vecindad del eslabón y sus posiciones relativas cumplen con una relación de ángulo  $\geq$  que  $90^\circ$  efectúe las transformaciones correspondientes:
    - a) ESLE1 se transforma en ESLE2.
    - b) ESL se transforma en ESLE1 asignándole a este nuevo ESLE1 una nueva vida media, tomando el valor de la vida media mínima asignado para los ESLE1 y ESLE2 y sumándole un número al azar elegido entre el rango de vida media mínima y vida



media máxima asignados.

- 3.3) Si la lista hecha en el punto 1 para los ESL contiene más de 1, elija 1 al azar y pase al punto siguiente.
- 3.4) Si se encuentra 1 ESL en la vecindad, efectúe los enlaces correspondientes transformando ambos ESL en ESLE1 y se les asigna una nueva vida media de la misma forma que en el punto 3.2.
- 4) Para el caso que el elemento cuestionado es un ESLE1 el método a aplicar es similar al punto 3, tomando en cuenta que la transformación en este caso corresponde a ESLE2.

d) Producción

- 1) Para cada catalizador haga una lista de las posiciones vecinas que contienen un elemento sustrato.
- 2) Determine mediante esta lista, parejas de sustratos que estén adyacentes entre sí y adyacentes al catalizador.
- 3) Para cada una de las parejas encontradas, siga los siguientes pasos:
  - 3.1) En la posición que se encuentra 1 de los sustratos ponga en su lugar un hueco.
  - 3.2) En la posición que el encuentra el 2º sustrato, ponga un ESL.
  - 3.3) Al eslabón libre formado, se le asigna una vida media, tomando un valor asignado para vida media mínima y sumándole un número al azar entre el rango de la vida media mínima y la vida media máxima asignadas para los eslabones libres.
  - 3.4) Vea la posibilidad de mover el eslabón formado según el algoritmo

no de movimiento de eslabores libres (b-3).

e) Desintegración

- 1) Busque mediante iteración de los índices I y J, los elementos ESL, ESLE1 o ESLE2, hasta llegar al valor máximo determinado para I y J.
- 2) Para cada uno de ellos encontrado, si su vida media asignada no ha concluído vuelva al punto 1.
- 3) Si su vida media asignada concluye, ponga un sustrato en la posición que encontró un eslabón y busque en su vecindad inmediata un hueco que pueda llenar con un sustrato y vuelva al punto 1.

Nota: Por razones de espacio no se ha incluído aquí el programa computacional.

### CAPITULO III

#### ESTABLECIMIENTO DE UNIDADES AUTOPOIETICAS

Una unidad queda definida mediante una operación de distinción que la separa de un fondo. En un sistema autopoietico, es la autopoiesis la operación de distinción que lo define porque especifica su separación de un medio, y su origen tiene que ver con el establecimiento de dicha operación, es decir, con el establecimiento de la autopoiesis (Maturana y Varela, 1973, 1975). De modo que la pregunta sobre el origen de un sistema autopoietico en un espacio particular, debe contestarse haciendo referencia a las relaciones que para su establecimiento deben cumplir sus componentes cualesquiera que estos sean.

En general, podemos distinguir tres tipos de relaciones:

- i) relaciones de constitución, que tienen que ver con relaciones espaciales que adquieren los componentes debido a las propiedades que los definen. Sería el caso de las propiedades geométricas de las moléculas que determinan la posibilidad de ciertas relaciones de proximidad física.
- ii) Relaciones de especificidad, en que su participación en la dinámica autopoietica determina las propiedades que deben tener los componentes que participan en la realización de una unidad autopoietica y, por lo tanto, su factibilidad real. Son ejemplo de esto las propiedades químico energéticas de cada clase molecular, que determinan las interacciones en que éstas pueden participar.

iii) Relaciones de orden, las que determinan la concatenación de las relaciones constitutivas y de especificidad y hacen posible la realización efectiva de la dinámica de la organización autopoietica.

En las células modernas estas relaciones se satisfacen con la participación de los ácidos nucleicos en la producción de las proteínas, y la participación de las proteínas en la producción de ácidos nucleicos y otras especies moleculares, proteínas inclusive, que participan en las producciones moleculares incluso al constituir los límites celulares físicos en la forma de una membrana envolvente. Pero, lo que de hecho hace de la célula una unidad es el clivaje con respecto a los procesos del medio que resulta del cierre operacional de la red de producciones moleculares que la constituyen, es decir, su organización autopoietica.

En general, el problema del establecimiento de un sistema autopoietico es el del cierre operacional de la red de producciones que determina la separación de la red como unidad. Si esto ocurre se da la autopoiesis y se tiene un sistema autopoietico. Por esto, al plantearse el problema del origen de los seres vivos, ya sea de un modo conceptual o de un modo operacional al proponer algún modelo, deben satisfacerse dos condiciones:

a) Debe quedar en claro que se trata de la constitución de una unidad especificando la organización que la define, y b) debe considerarse la factibilidad operacional de la realización de dicha unidad como unidad concreta.

La condición a) define la postura teórica y puede existir sin la condición b). El intento de realizar la condición b) solamente, sin embargo, puede tener un valor eurístico pero es insuficiente tanto para la realización intencional, como para determinar si se ha tenido éxito o no. Desde nuestro punto de vista, la organización a que hace referencia el punto a) es la or



ganización autopoietica.

Las consideraciones anteriores son válidas para cualquier intento de modelar fenómenos relacionados con el origen de los sistemas vivos, o de los fenómenos que dependen de ellos. Entre los antecedentes a nuestro intento de modelar la constitución espontánea de un sistema autopoietico y su reproducción, hay dos tipos de trabajos que se plantean el problema del origen de los sistemas vivos que merecen mención. El primero de ellos se encuentra en los experimentos realizados por Fox y Dose (1972) en un estudio de neobiogénesis en que muestran la posible constitución espontánea mediante reacciones químicas de sistemas discretos que ellos consideran de tipo celular como son los liposomas y las microsferas. Por otro lado, Eigen y Schuster (1977) proponen como modelo de origen de un sistema molecular relacionado con los sistemas vivos, uno que consiste básicamente en ciclos de reacciones químicas estabilizadas que, según ellos, bajo presiones selectivas podrían formar ciclos de ciclos, es decir hiperciclos, como una condición precelular. En este modelo, los autores hablan de selección, pero no dejan claro la unidad que permanecería invariante en la historia selectiva, y no hay en su planteamiento algo que revele claramente su evolución del rol central que tiene la formación de una unidad en la dinámica selectiva.

Ambos trabajos se incluyen dentro de la condición b) y la condición a) no es tratada explícitamente de modo que el reconocimiento del tipo de unidad a que se están refiriendo no se hace posible.

El modelo que aquí propongo, aunque también pertenece a la condición b) tiene una postura teórica claramente definida que, como he dicho, se refiere a la constitución de una unidad autopoietica, lo que satisface la

condición a).

Así, en este modelo, las interacciones y transformaciones de la Figura I-1 corresponden a relaciones de orden en el espacio gráfico, en que están concatenados los procesos de constitución y especificidad mediante las propiedades de los elementos participantes. Estos componentes son específicos en sus interacciones, ya sea en cuanto a sus movimientos o a sus transformaciones. Sin embargo, ninguna de las propiedades en forma particular constituye un rasgo fundamental en el criterio de establecimiento de un sistema autopoietico. Lo esencial en este criterio de distinción es la presencia necesaria de un borde, que es producido por una dinámica tal, que a su vez, este mismo borde es capaz de crear las condiciones requeridas para esta dinámica. De modo que, en el espacio gráfico presentado en este modelo, se considerará establecida la organización autopoietica cuando se constituya una secuencia de aperturas y cierres de la cadena que engloba al catalizador, de modo que aperturas producidas en el decaimiento de los eslabones son cerradas por nuevos eslabones producidos en el ámbito de la cadena. Cuando esto ocurre se establece el dominio fenoménico propio de la autopoiesis. Mi reconocimiento de la formación de una unidad autopoietica no puede ser instantáneo, requiere la observación de la dinámica productiva ya que la unidad autopoietica está definida como una red de producciones. Sin embargo, el establecimiento de una unidad autopoietica no es un proceso gradual, un sistema es un sistema autopoietico o no lo es. No hay sistemas intermedios. Nosotros podemos describir una situación de algún sistema y especular acerca de qué es lo que tendría que ocurrirle a este sistema para que fuera autopoietico, pero esta situación sólo existiría en nuestro dominio de descripciones y no se la podría tratar como un sistema de

transición en lo que a organización se refiere.

En la medida en que lo central en la comprensión del fenómeno del origen de los sistemas vivos es la comprensión de la constitución de la unidad, mi atención se ha dirigido a algunos factores que intervienen en ella. Así, los resultados obtenidos en el modelo gráfico aquí propuesto muestran que distintas condiciones de realización pueden llevar a distintas consecuencias con respecto a la formación de unidades. Esto en el entendido de que, por ejemplo, con condiciones en este caso específico, me estoy refiriendo a variaciones de la distribución de sustratos, lo que visto como una situación molecular correspondería a variaciones en las concentraciones locales de distintas moléculas por difusión o a variaciones en sus niveles energéticos producidos por variaciones térmicas. Así, se ve que el mismo programa ejecutado con distintas condiciones aleatorias en el movimiento de los sustratos, no siempre lleva al establecimiento de una unidad autopoietica (Ver Figura III-1).

Como está dicho, la cadena cerrada determina la interioridad del sistema, ya que es permeable al sustrato, pero no a los eslabones libres o al catalizador. Como consecuencia de este cierre, se establece una unidad que, en el espacio gráfico, queda definida por su dinámica de apertura y cierre de la cadena que encierra al catalizador y a eslabones libres producidos con su participación, aunque ésta se desintegre en unos pocos instantes posteriores a su establecimiento.

Por esto, es que se ha requerido de un criterio de tamaño mínimo aceptable para la formación de unidad, y este debe ser de 12 eslabones de modo que haya espacio para la formación de eslabones en el ámbito encerrado por la cadena y pueda generarse una dinámica interna una vez cerrada



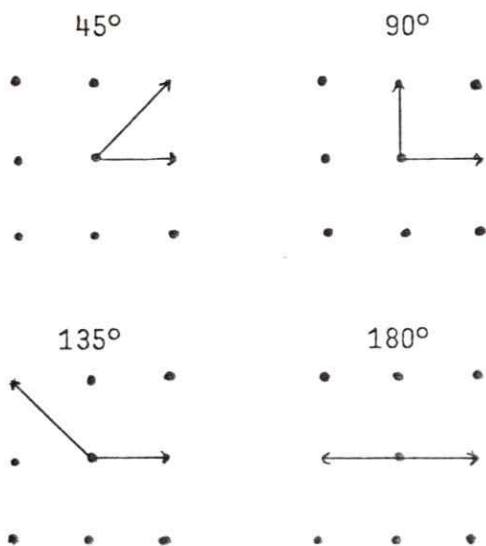
ésta sin caer en una situación de estabilidad cristalina, como veremos posteriormente ( pp 30 ).

Un modelo como este, que nos entrega unidades autopoieticas, por la forma en que ha sido construído (computacional), permite en principio, visualizar dentro de un dominio descriptivo, un análisis de las condiciones básicas de la fenomenología biológica con mayor facilidad que si el sistema fuese un ser vivo natural particular. Así, la Tabla III-1 ilustra diferentes resultados encontrados para variaciones en las propiedades de los componentes que, como he dicho, llevan a diferentes posibilidades de desarrollo de situaciones locales en la dinámica de formación de unidades. Esta tabla, por contener escasos representantes de cada uno de los diferentes programas, no es adecuada para un buen estudio estadístico de las condiciones límites exactas en la generación de unidades, pero de ellas se puede obtener suficiente información para fijar dichos límites de manera cualitativa<sup>(1)</sup>.

Se puede estimar la eficiencia de apertura y cierre de las unidades producidas según los casos de la Tabla III-1 combinando, el tiempo transcurrido hasta el primer cierre de la cadena, el tamaño promedio y la cantidad de instantes que la unidad permanece cerrada respecto del tiempo total de desarrollo del programa. Los distintos cambios de propiedades de los componentes, modelados en las variaciones del programa, están de acuerdo con lo esperable para variaciones locales en la dinámica de la membrana. Así,

(1) Un estudio con números validables estadísticamente es económicamente prohibitivo.

si tomamos el caso N° 4, en que el ángulo menor de enlace permitido es de  $135^\circ$  (Figura III-2), el proceso de concatenación de los eslabones que



da restringido a sólo 2 ángulos posibles, bajando la efectividad en la formación de cadena cerrada, pues disminuyen las situaciones posibles de cierre de ésta (Figura III-3).

El tamaño mínimo aceptable en este caso analizado, se da en una relación de 8 ángulos de  $135^\circ$  con 4 ángulos de  $180^\circ$  en una geometría octogonal precisa. Si esta relación

Figura III-2

cambia, el número de eslabones necesarios va aumentando progresivamente, y si tomamos en cuenta que los eslabones tienen una cierta vida media, para que la situación resulte en la generación de una unidad dinámica deben coordinarse en el tiempo los procesos de concatenación y desintegración.

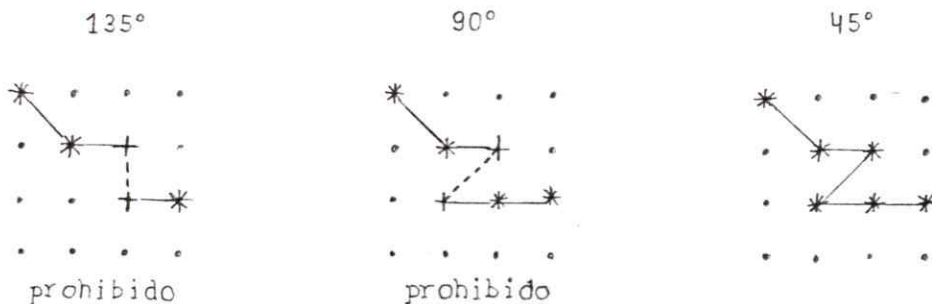


Figura III-3

El caso N° 6, en que no hay ángulo prohibido, se encuentra que las cadenas se producen más fácilmente, pero si analizamos mejor la situación veremos que se dan frecuentemente casos en que la cadena se enrosca dando vueltas sobre sí misma, enredándose, lo que en definitiva también lleva a bajar la eficiencia en la producción de unidades autopoieticas, porque no se produce el englobamiento del catalizador y la formación de unidad dependiente de este cierre. De este modo, se encuentra que la situación intermedia respecto de los ángulos permitidos ( $\text{ángulo} \geq 90^\circ$ ) es la situación más eficiente, ya que no hay ángulos preferenciales, por lo que se optimiza la combinación entre posibilidad de cierre de la cadena y su forma.

Variaciones en la vida media de los componentes, era un aspecto interesante de probar, y nuevamente aquí los resultados encontrados fueron los esperables. Vida media corta para los eslabones enlazados lleva a que algunos de éstos puedan desintegrarse durante la formación de la cadena y una vida media larga lleva a que la cadena en formación tenga muy pocas posibilidades de cambiar de forma, por lo que, cuando ésta ha adquirido una secuencia que lleva a alejar los eslabones terminales entre sí, esta secuencia se mantendrá durante un tiempo prolongado, llevando a una baja en la eficiencia de producción de unidades autopoieticas.

En los tres primeros casos, el elemento catalizador actúa como fuente constante de producción de eslabones y es aquí, específicamente en el caso N° 1, que se encuentran situaciones en que las unidades generadas tienen características de cristales, es decir, en que son las relaciones



espaciales entre los componentes las que definen a la unidad formada y estas relaciones permanecen fijas en el tiempo (Figura III-4). Como una unidad autopoietica no se define en términos geométricos, debe haber en ella una generación recursiva de los procesos involucrados. Por esto la condición cristalina no es lo que se espera para una unidad autopoietica, ya que en una unidad cristalina no hay una organización dinámica en términos de relaciones de orden. Sin embargo, estrictamente hablando, en este modelo no se genera ninguna estructura cristalina propiamente tal, ya que las vidas medias de los componentes no lo permiten, pero la comparación hecha se refiere a que unidades como la de la secuencia mostrada en la Figura III-4, permanecerán invariantes, sin dinámica interna hasta que haya decaimiento de alguno de sus eslabones enlazados.

Desde el caso N° 4 en adelante, el catalizador no sólo actúa como fuente de producción, sino que tiene una función inhibitoria del proceso de concatenación de eslabones en su vecindad inmediata. Consecuencia de ésto, es que los eslabones pueden difundir antes de enlazarse y, por lo tanto, se aumenta la posibilidad de que cadena se cierre con un número de eslabones que permita una dinámica interna.

El último caso de la Tabla III-1, es muy semejante al caso N° 5, excepto porque la vida media de los eslabones terminales es la misma de los eslabones libres y la mitad de los enlazados por los 2 lados. Esto permite la coordinación entre concatenación y desintegración, y además la posibilidad de que la cadena pueda cambiar de forma más fácilmente y sin que se produzcan sinusidades que imposibiliten su cierre. Por estas razones y porque el tamaño que se encuentra permite una buena dinámica



mica interna, es que se tomara este caso para el siguiente estudio, que es el de selección ontogénica en unidades autopoieticas planas (Fig. III-5).

Con lo expuesto anteriormente, se ve que este modelo permite mostrar que la producción de unidades autopoieticas resulta del establecimiento de un conjunto particular de relaciones entre componentes determinado por las propiedades específicas de éstos. En particular, permite ver que lo que restringe el rango de variaciones posibles en las propiedades de los componentes de un sistema de esta naturaleza, es la necesidad de coordinación entre los procesos de producción y desintegración, requerida en el establecimiento de la organización autopoietica. En esta etapa, se han acotado en un rango aproximado, algunos parámetros de variación posibles para las propiedades de estos componentes.

CARACTERISTICAS	Promedio		Tamaño promedio	Instante promedio	Caso
	Tiempo cerrado	% tiempo cerrado			
	Tiempo total			1° cierre	
<p>catálisis mínima (1)</p> <p>enlaces permitidos a distancia 1 del catalizador ángulo menor de enlace: 90° vida eslabón libre: 4-8 tiempos vida ESLE1 y ESLE2: 8-16 tiempos</p>	$\frac{5,6}{35}$	16	7,0	11,6	1
<p>catálisis máxima (2)</p> <p>catalizador fijo producción eslabones radial (radio 2) enlaces no permitidos a distancia 1 del catalizador</p>	$\frac{21}{71}$	29,5	6,1	16,1	2
<p>catalizador móvil producción eslabones radial (radio 2)</p>	$\frac{11}{65}$	16,9	8,8	25,3	3
<p>ángulo menor de enlace: 135°</p>	$\frac{7,5}{83}$	9	13	12,5	4
<p>ángulo menor de enlace: 90°</p>	$\frac{0}{83}$	0	-	-	5
<p>ángulo menor de enlace: 45°</p>	$\frac{4}{35}$	11,4	13	13	6
<p>vida eslabón libre: 4-8 tiempos vida ESLE1 y ESLE2: 8-16 tiempos</p>	$\frac{2}{83}$	2,4	15	17	7
<p>catálisis máxima</p> <p>catalizador fijo producción eslabones radial (radio 2) enlaces no permitidos a distancia 1 del catalizador</p>	$\frac{0}{83}$	0	-	-	8
<p>ángulo menor de enlace: 90°</p>	$\frac{7}{83}$	8,4	14,8	14	9

(1) Producción de solo 1 eslabón por unidad de tiempo  
(2) Producción simultánea hasta 4 eslabones por unidad de tiempo.

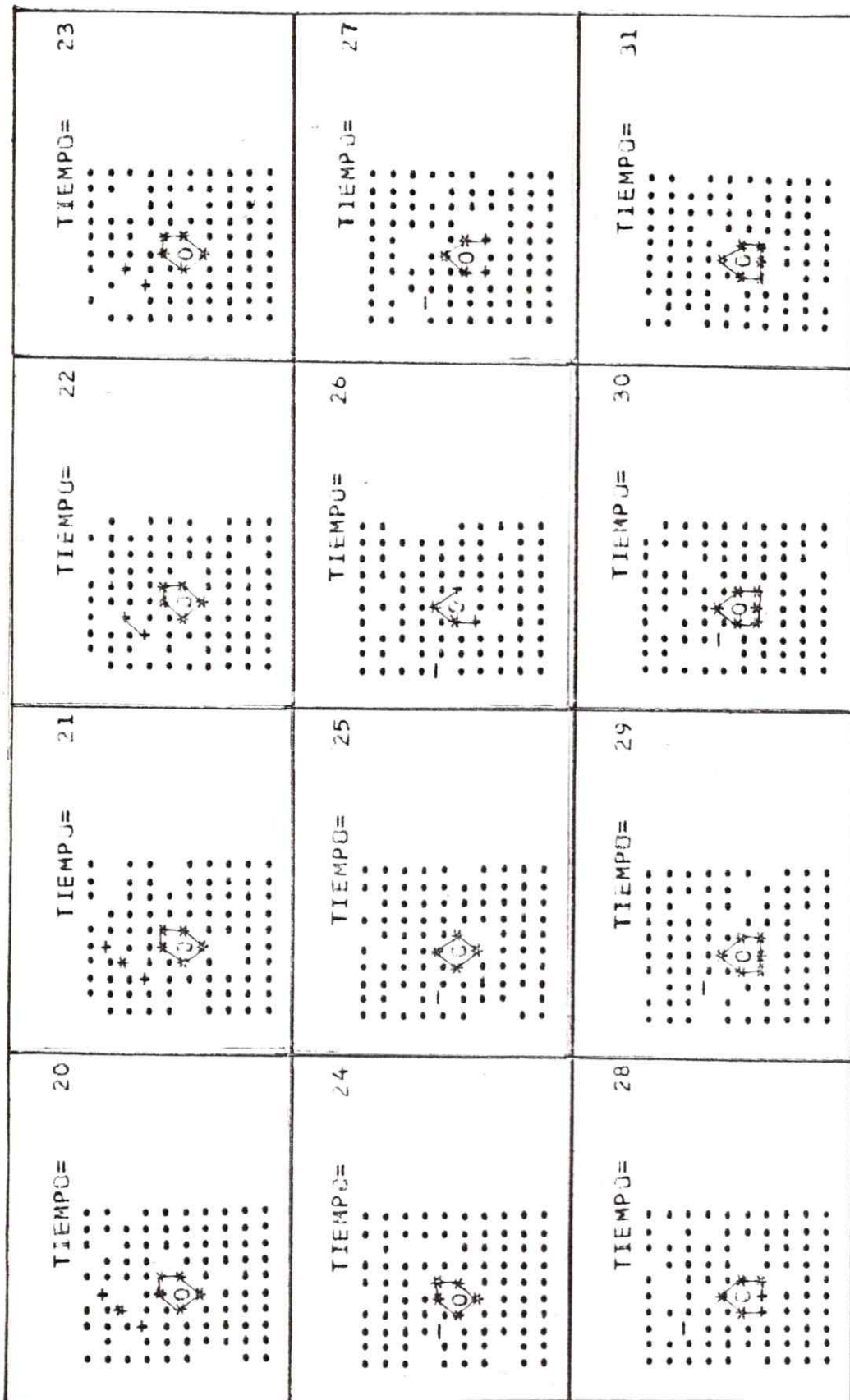


FIGURA III-4

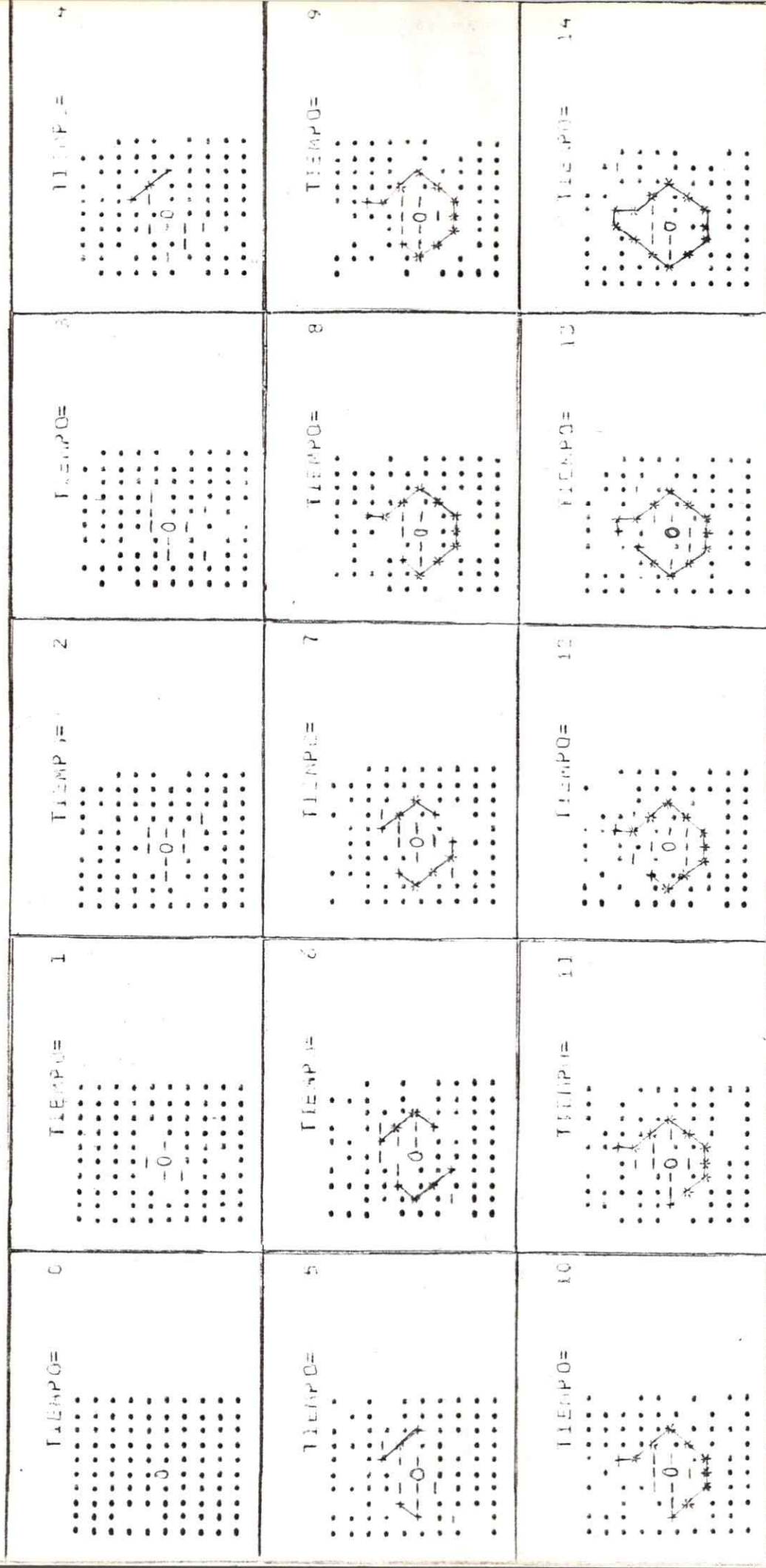


FIGURA III-5



## CAPITULO IV

### SELECCION ONTOGENICA

La noción de ontogenia se refiere a la historia de transformaciones de una unidad. En el caso de una unidad autopoietica la ontogenia se refiere a la historia de la conservación de su identidad bajo continuo cambio estructural a través de la realización de su autopoiesis continuada en el espacio en que sus componentes la definen. En un ser vivo, la ontogenia necesariamente se efectúa en el espacio físico, ya que éste es un sistema dinámico que opera mediante relaciones que implican interacciones y transformaciones físicas concretas.

En general, durante la ontogenia de una unidad, las interacciones que gatillan cambios estructurales en ella, ya sea por su operar en un medio o resultante de la propia dinámica interna y que aparecen como cambios en las propiedades de sus componentes constituyen distintas instancias selectivas. La secuencia de estas instancias selectivas resulta en cada caso en un camino de cambios estructurales, y distintas secuencias de interacciones gatilladoras de cambios estructurales seleccionan en unidades de la misma clase distintas ontogénias.

En particular, un sistema autopoietico se considera como un sistema estructura dependiente, ya que todos los cambios que este puede compensar sin pérdida de su identidad están dentro de las configuraciones estructurales posibles determinadas por la estructura particular del sistema en cada instante determinado de su ontogenia. Por lo tanto, el ran-

go de configuraciones estructurales que puede adoptar un sistema, cambia continuamente durante la ontogenia según sean las instancias selectivas a las que éste sea sometido. De este modo, dos sistemas autopoieticos equivalentes pueden tener ontogenias distintas.

Como he explicado en el Capítulo I, sección I-2, hay dos fuentes de perturbaciones que consituyen instancias selectivas para un sistema: i) el medio ambiente, que por interacción con el sistema, puede gatillar al gún cambio estructural en éste, y ii) el sistema mismo, que mediante su dinámica interna está en su operar continuamente interactuando con sus propios componentes. Sin embargo, y como consecuencia del operar del sis tema autopoietico como sistema cerrado, todas las perturbaciones en cu an to a perturbación son equivalente, cualquiera sea su fuente.

Quiero hacer notar que no todas las características particulares de un sistema que resultan de sus cambios estructurales estarán necesariamente presentes en la realización de la autopoiesis de su descendencia. La presencia de éstas estará determinada por los modos de producción de las estructuras involucradas. Así, en células modernas que llegan a re producirse, cambios producidos en la ontogenia como mutaciones o recombinaciones que involucran el ADN podrán tener efectos que aparecerán en las unidades resultantes de la reproducción durante muchas generaciones de la manera que describe la genética nuclear. Por otra parte, cambios en otras estructuras que no involucran el ADN, podrán tener efecto sólo durante la ontogenia de la unidad original o en un número pequeño de ge neraciones posteriores, siguiendo linajes clonales según el modo de pro ducción de los componentes involucrados, con características distintas de los linajes producidos por la genética nuclear.

En este modelo, las nuevas características estructurales que resultan de los distintos caminos de cambios estructurales producidos en distintas instancias selectivas, pasan a formar parte de las características de la unidad, y en caso que ésta se reproduzca, estarán presentes en las unidades resultantes. Así, la ejecución del modelo desarrolla varias secuencias de instantes después que se han producido los cambios estructurales, pero no muestra explícitamente cuáles han sido ni como han operado sobre el sistema las instancias selectivas que han gatillado estos cambios.

Como he dicho anteriormente, desde el punto de vista del operar de un sistema autopoietico, lo relevante de la selección ontogénica, son las consecuencias de los cambios estructurales, gatillados en las distintas instancias selectivas en la historia operacional del sistema. Con el fin de mostrar esto he elegido la unidad que corresponde al caso N° 9 de la Tabla III-1, para el estudio de selección ontogénica, por las razones que expuse en el Capítulo III. En el instante  $T = 14$ , instante que corresponde al primer cierre de la cadena, la unidad es tratada como si fuese expuesta a 10 diferentes perturbaciones que operan como otras tantas instancias selectivas, las cuales gatillarían 10 cambios estructurales en el ámbito de las propiedades de algunos componentes de los llamados secundarios. En el diagrama IV-1, se muestran detallados los cambios que se habrían producido en las propiedades de los elementos involucrados.

Las diferentes ontogenias generadas en este modelo, son el resultado de la operación de distintas alternativas de cambio estructural aplicadas a distintas unidades de la misma clase. La Tabla IV-1, muestra los resultados obtenidos en relación a la constante de cierre de las unidades producidas. Se ha incluido el caso N° 9 de la Tabla III-1, ya que



éste forma parte de las ontogenias posibles para la unidad elegida en esta parte del estudio. En la Figura IV-1 a IV-5, están parcialmente representadas las secuencias de los 10 casos de la Tabla IV-1 en la forma como las entrega el computador. Para poder hacer una comparación entre las distintas ontogenias posibles en una unidad sometida a diferentes instancias selectivas es necesario tener no sólo los resultados numéricos, sino también un conocimiento de cómo se genera la historia de la unidad. Estos resultados indican que variaciones en las propiedades de los componentes de un sistema autopoietico resultan en un cambio en la dinámica interna de la unidad, llevando a variaciones en la estabilidad de ésta, desde el punto de vista de su operación, en su medio ambiente. Los valores más altos en la estabilidad de las distintas unidades producidas se encuentran en aquellos casos en que el crecimiento de la cadena está subordinado sólo a los instantes en que ésta se encuentra abierta, de modo que un nuevo cierre puede resultar en el incremento de un eslabón en la cadena. Esta situación tiene una probabilidad baja de ocurrencia, ya que deben coincidir al menos dos eslabones en posiciones precisas respecto a los eslabones terminales de la cadena y los ángulos de enlace entre todos ellos deben ser los adecuados.

Unidades que pueden crecer mediante eslabones libres que se intercalan en una cadena formada, requieren, para su posible reparación, una mayor concentración de eslabones libres en las vecindades de la cadena, de modo que puedan combinarse ambos procesos, el de crecimiento y el de reparación. Ya que el espacio de interacción usado en este modelo es finito, es decir, no hay entradas ni salidas de elementos en él, unidades forma-



das de un alto número de eslabones, determinan una disminución de la concentración de sustratos, lo que resulta en una limitación en la formación de eslabones libres y, por lo tanto, en el tamaño máximo alcanzable por la unidad.

A nosotros, como observadores, el tamaño de la cadena nos aparece como un regulador de la eficiencia de una unidad en términos de su dinámica de apertura y cierre, aunque ésta depende solamente de procesos locales. Así, para nosotros un tamaño mínimo restringe la posibilidad de una dinámica interna y un tamaño muy grande lleva a aumentar la posibilidad de una desestabilización de la autopoiesis, por insuficiencia en la producción de eslabones.

Estos resultados permiten predecir que unidades autopoieticas con un tamaño particular, requieren para su mejor acoplamiento a un medio ambiente, un cierto espacio vital, ya que por lo dicho es posible pensar que la unidad del caso N° 10 tendría una mejor eficiencia, si el espacio disponible para su operación tuviera un tamaño mayor.

Un aspecto interesante de hacer notar en las secuencias de las Figs. IV-1 a IV-5, es la diferenciación de formas que adquieren las ontogenias posibles para una misma unidad. Cada forma adoptada, nos aparece como precisa dentro de un cierto rango y, para cada caso de los 10 analizados, aparece una forma tipo, que depende de la naturaleza del cambio estructural gatillado. Podemos pensar que la forma geométrica en este modelo, constituye una característica posible de seleccionar para un posterior establecimiento de filogenias. Así, ha resultado que la fractura de la unidad representada en el caso N° 4 de la Tabla IV-1 da fácilmente origen al fenómeno de autoreproducción.

Para mostrar la influencia del medio en unidades autopoieticas estabilizadas, es que a la unidad del caso N° 4 se la sometió a una drástica baja en la concentración de sustratos. Se encuentra el resultado esperado según las características dinámicas del modelo. Este es, que una unidad que está estabilizada en el tiempo al sufrir una restricción prolongada en su dinámica de producción de componentes, puede perder su identidad de clase desintegrándose (Ver Fig. IV-6).

Estas observaciones ilustran que la estabilidad de una unidad dinámica en un medio, en nuestro caso una unidad autopoietica, es un proceso de continuo cambio concordante con el medio en que se realiza, es decir, que la continua correspondencia entre unidad autopoietica y medio es un estado dinámico resultante de una continua selección ontogénica.

DIAGRAMA IV-1

caso 9  
Tabla III-1

CAMBIOS PRESENTES EN LAS 10 INSTANCIAS SELECTIVAS

a) ESL: dirección de enlace preferencial; 1ª preferencia para 2 ESLE1 en vecindad inmediata respetando ángulo de enlace  $\geq 90^\circ$ .

2ª preferencia para un ESLE1 y un ESL en su vecindad.

3ª preferencia para 2 ESL en su vecindad. Queda excluido enlace entre sólo 2 eslabones libres.

b) ESLE1: Dirección de enlace limitada sólo al encuentro de un ESL que tenga en su vecindad inmediata otro ESLE1 y la relación entre los 3 satisfaga la condición de ángulo de enlace  $\geq 90^\circ$ .

CAMBIOS ALTERNATIVOS

1)  
ESLE2: puede moverse alejándose del catalizador cuando se encuentra formando el vértice de un ángulo de  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$  o cualquiera según el caso en estudio.

$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	$90^\circ$ $135^\circ$ $180^\circ$
------------	-------------	-------------	--

3 4 5 6

2)  
ESL y ESLE2: Al encontrarse en vecindad de radio 1 por fuera de la cadena un ESL, y respetándose la condición de ángulo  $\geq 90^\circ$ , se rompe uno de los enlaces de los ESLE2 vecinos, intercambiándose el ESL en la cadena.

2

3)  
1) y 2) juntos

$90^\circ$	$135^\circ$	$180^\circ$	$90^\circ$ $135^\circ$ $180^\circ$
------------	-------------	-------------	--

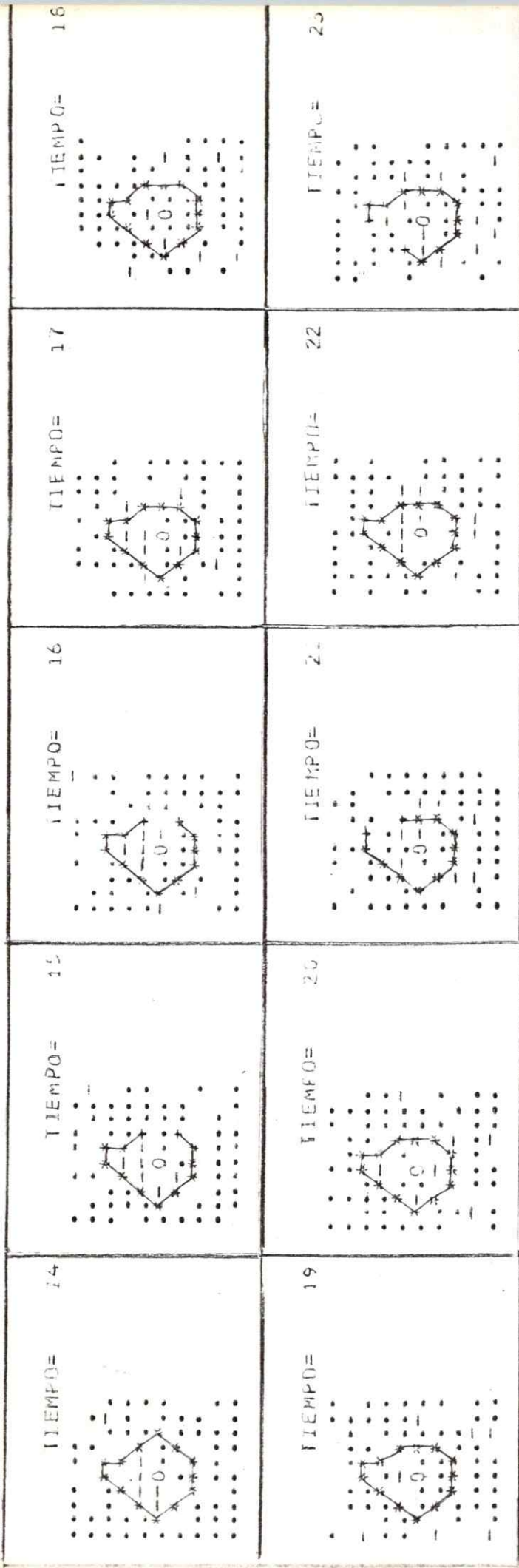
7 8 9 10

TABLA IV-1

Alternativas de selección	Promedio $\frac{\text{Tiempo cerrado}}{\text{Tiempo total}}$	Porcentaje tiempo cerrado	Tamaño promedio
0 caso N° 9 Tabla III-1	$\frac{7}{83}$	8,4%	14,8
1	$\frac{19}{41}$	46,3%	12,7
2	$\frac{11}{41}$	26,8%	16,4
3	$\frac{20}{41}$	48,7%	13
4	$\frac{13}{41}$	31,7	19
5	$\frac{13}{41}$	31,7	13
6	$\frac{18}{41}$	43,9%	17,4
7	$\frac{17}{41}$	41,4%	13
8	$\frac{12}{41}$	29,2%	15,8
9	$\frac{19}{41}$	46,3	13
10	$\frac{16}{41}$	39%	20,9

Nota: Las especificaciones de las alternativas de selección se encuentran en el Diagrama IV-1 con su correspondiente numeración.

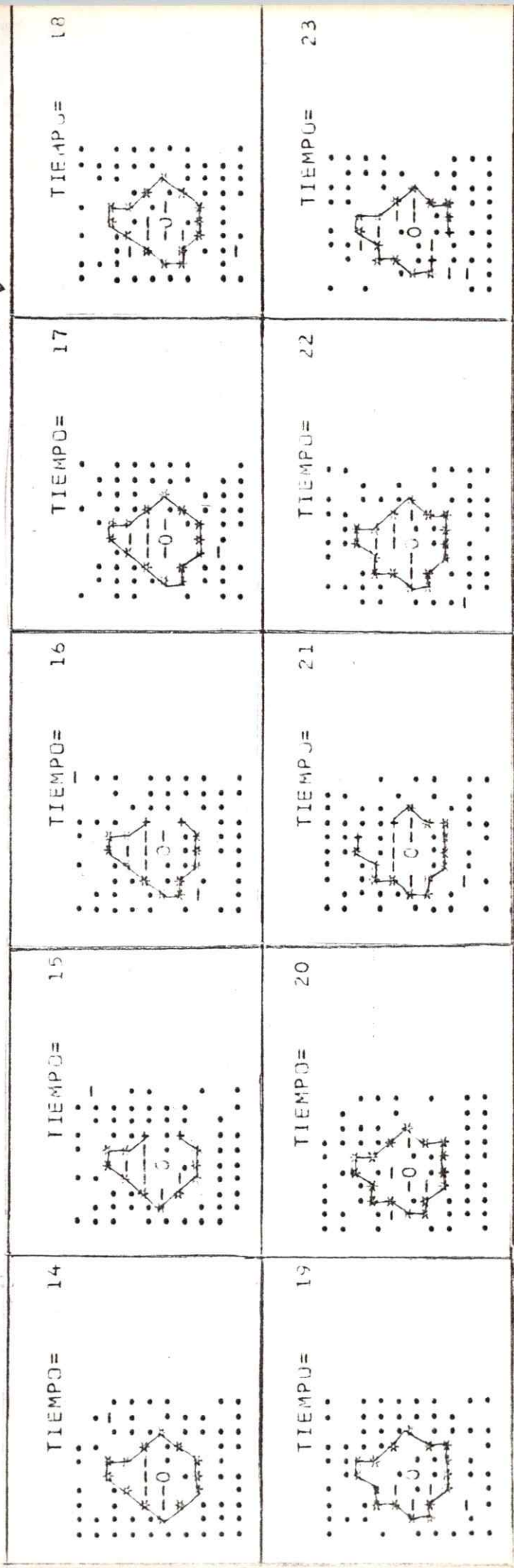


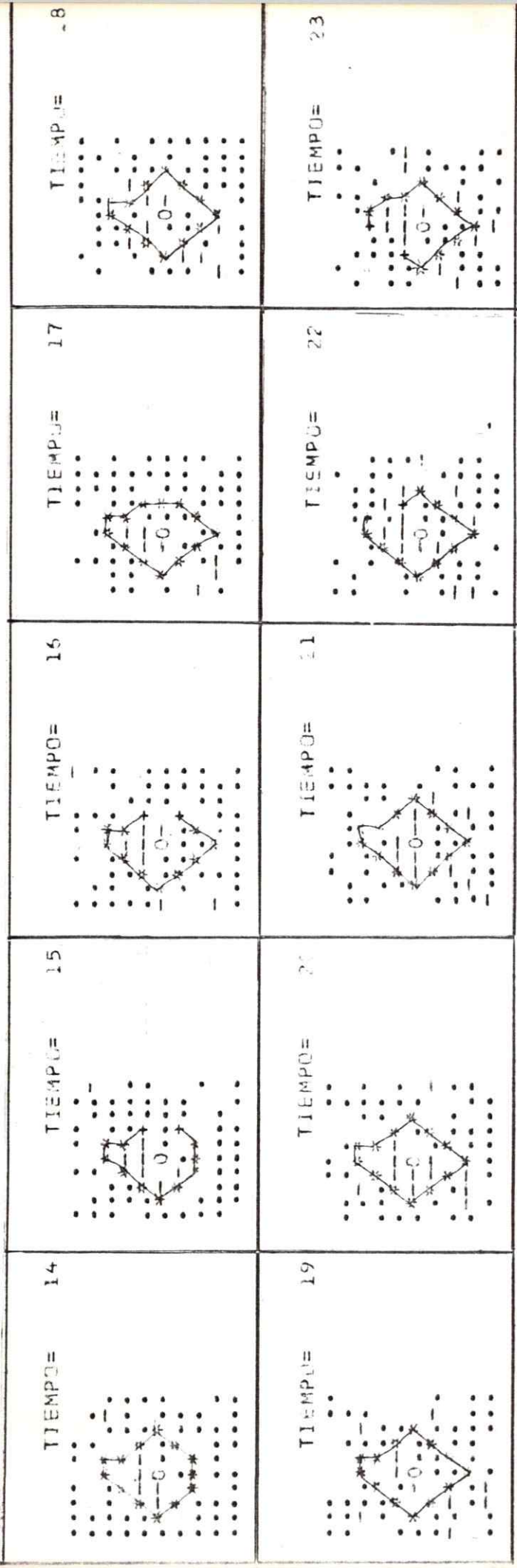


CASO 1 ↑

FIGURA IV-1

CASO 2 ↓

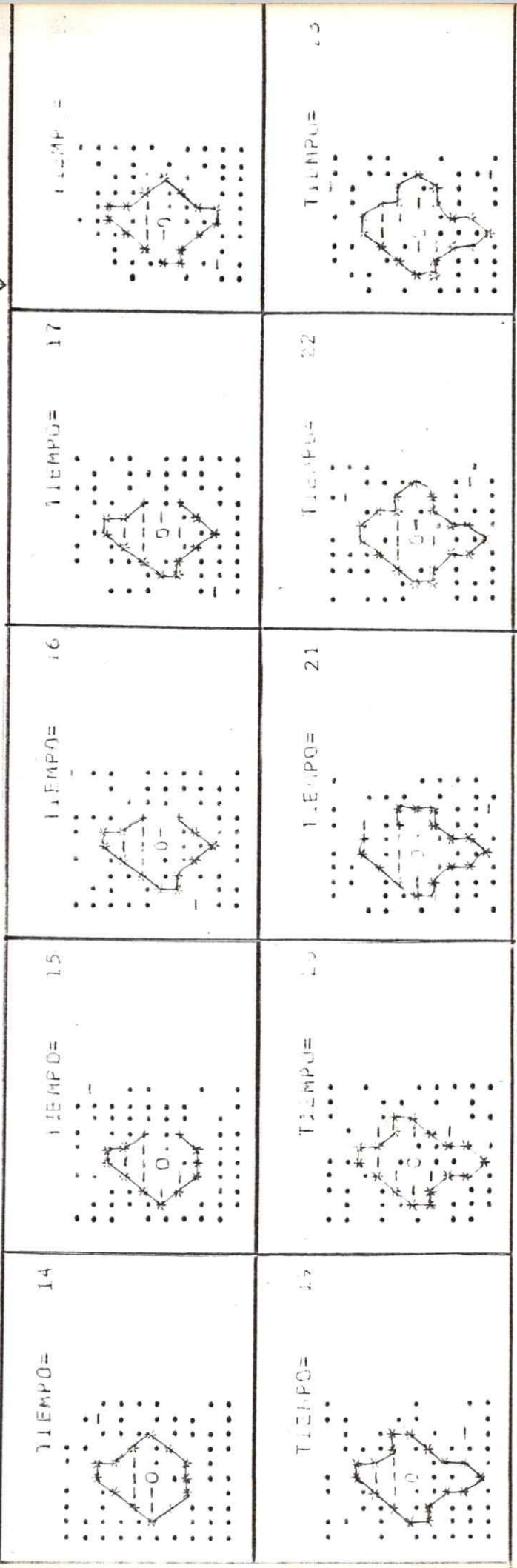


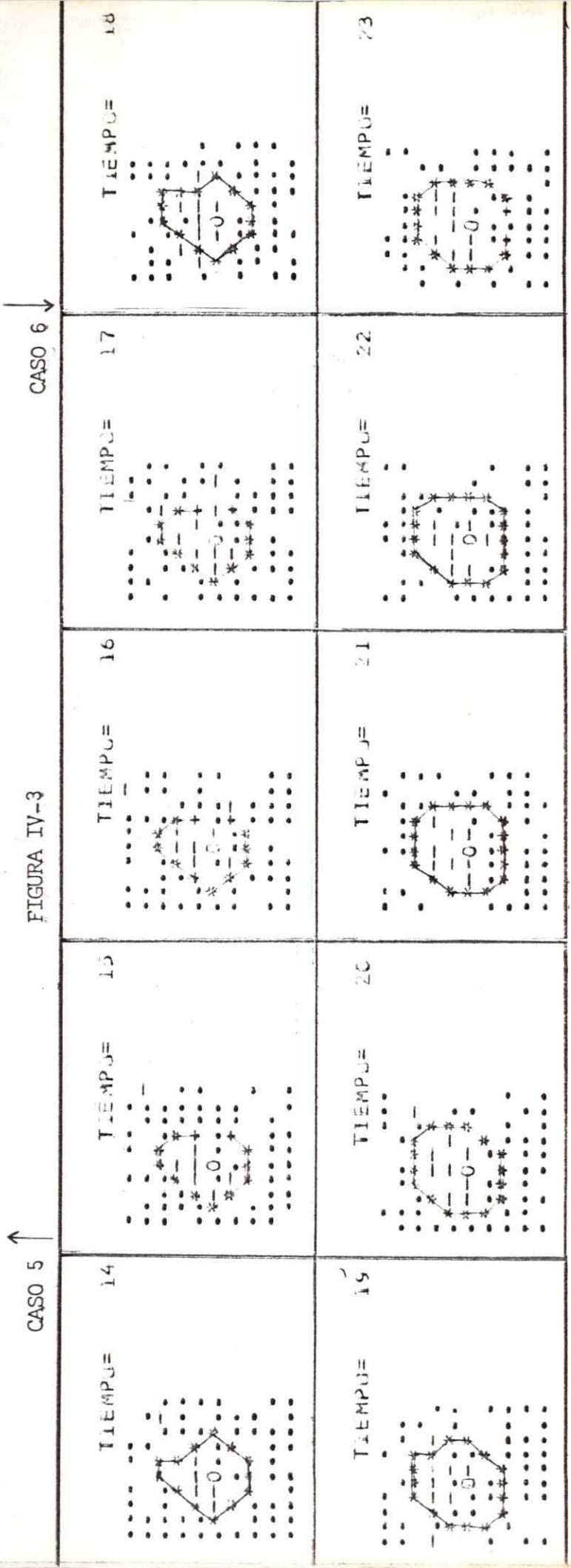
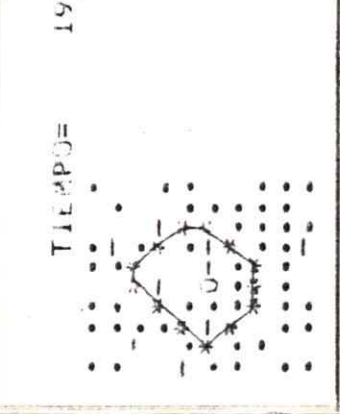
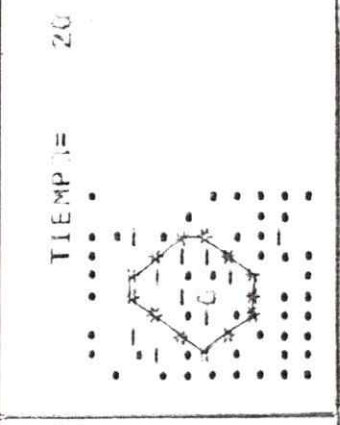
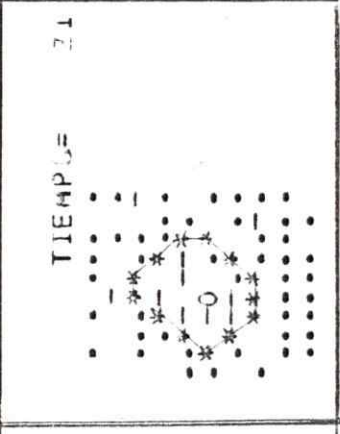
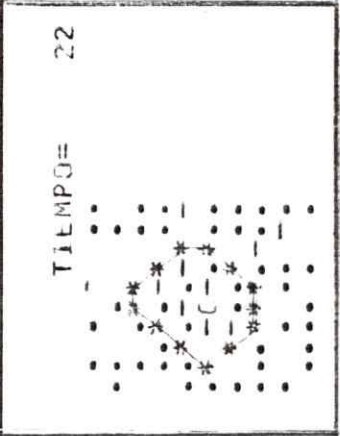
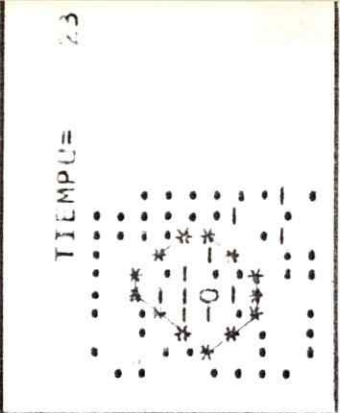
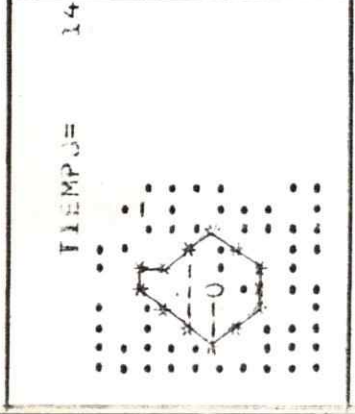
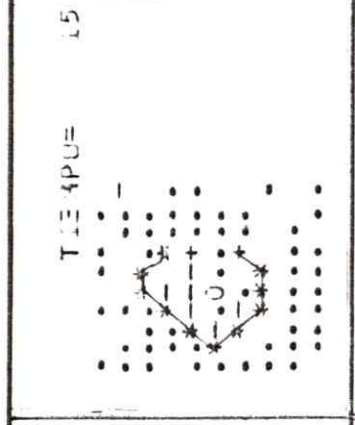
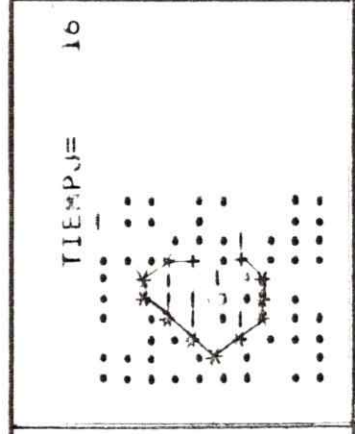
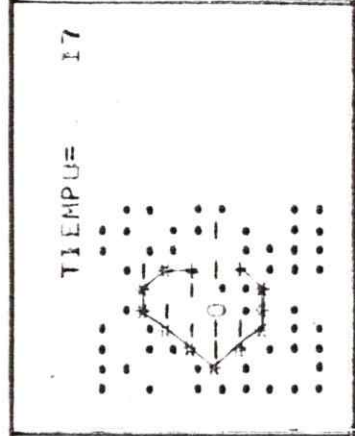
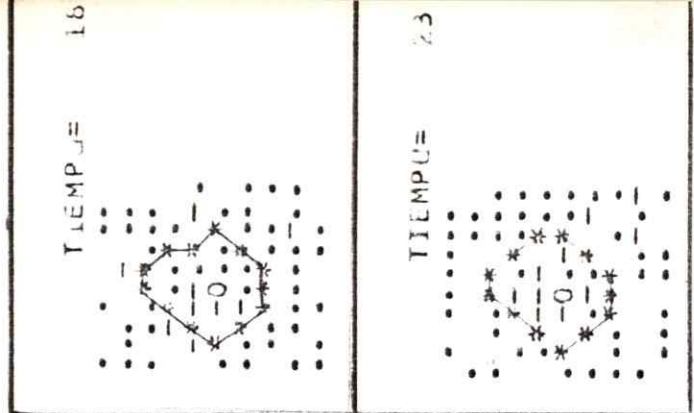


CASO 3

FIGURA IV-2

CASO 4

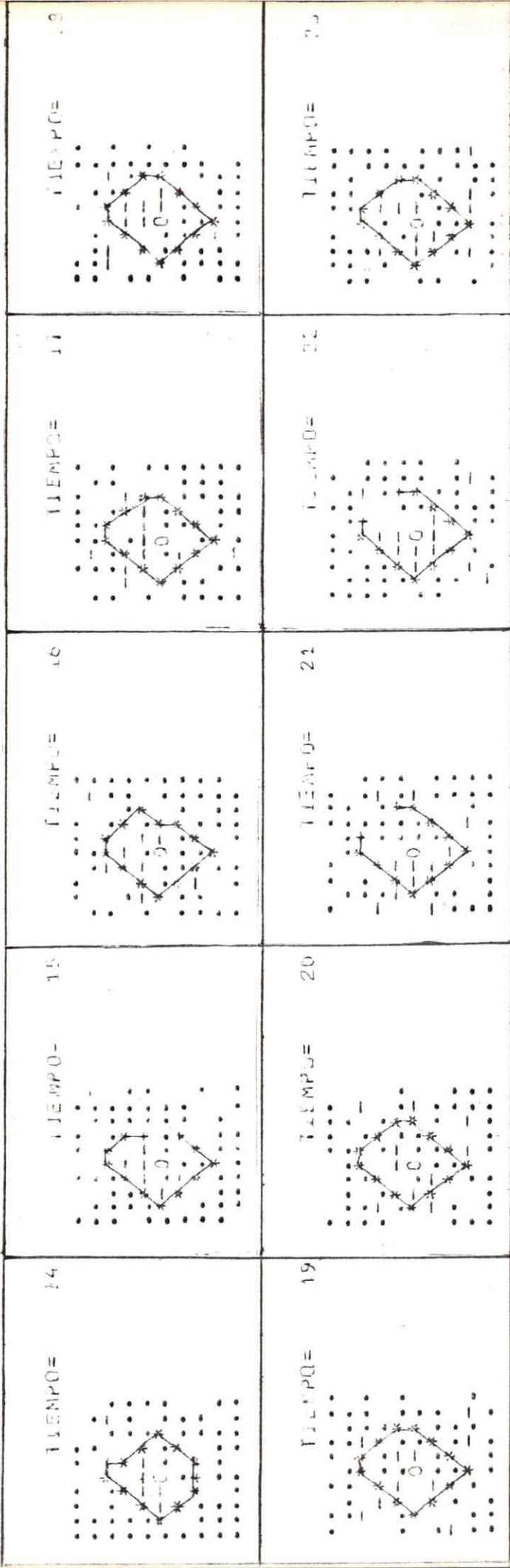








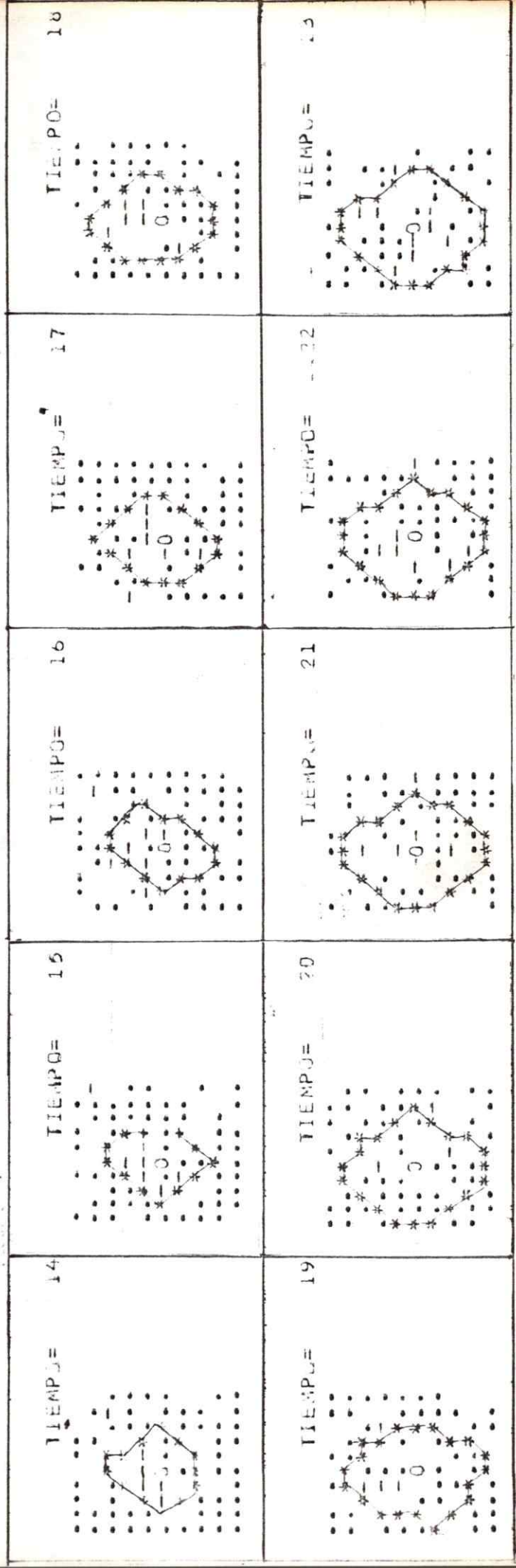




CASO 9 ↑

FIGURA IV-5

CASO 10 ↓



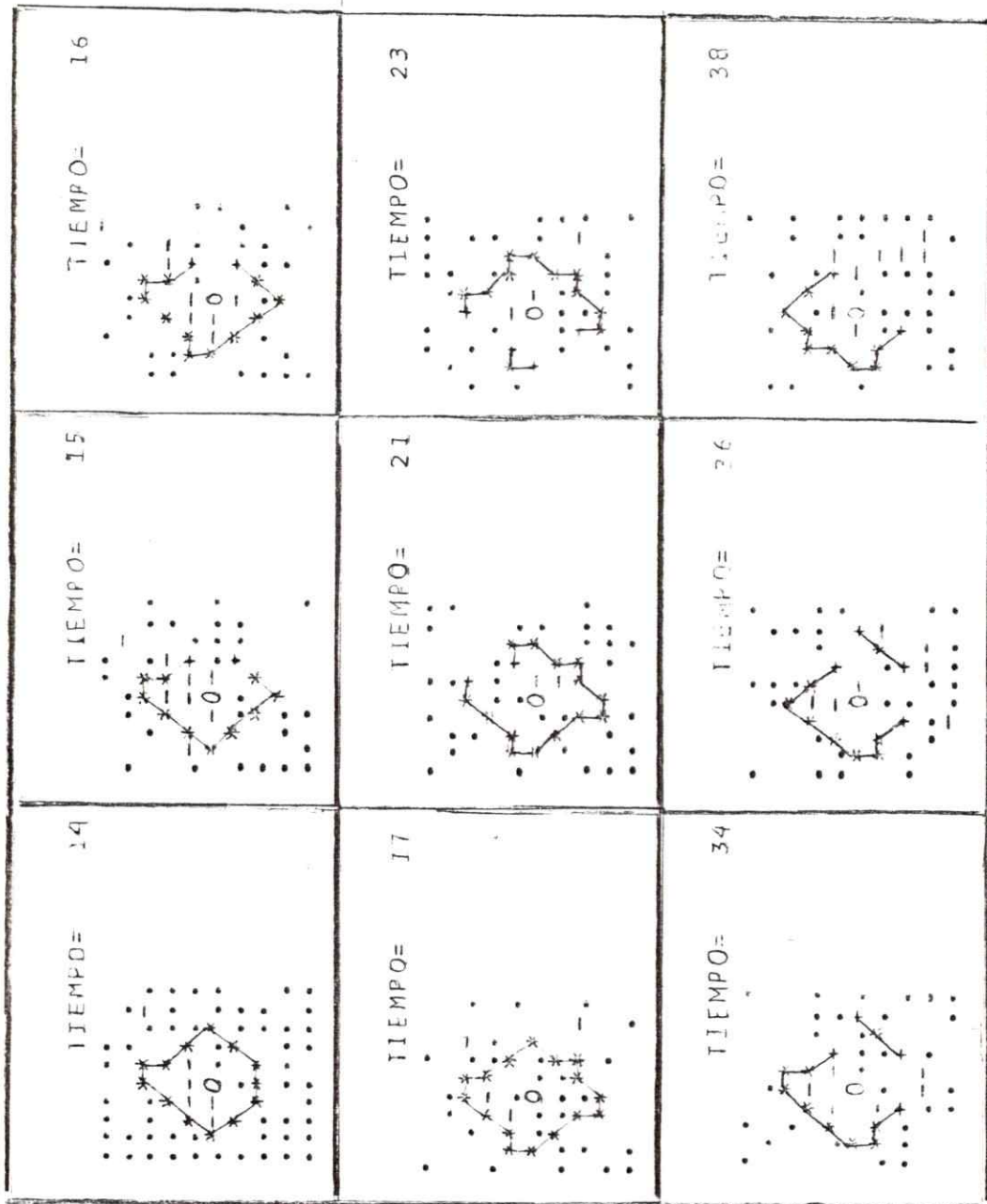


FIGURA IV-6

## CAPITULO V

### EL FENOMENO REPRODUCTIVO EN SISTEMAS AUTOPOIETICOS

En el Capítulo I, Sección I.1, he intentado describir los aspectos más relevantes del fenómeno de reproducción, desde el punto de vista de la teoría de la autopoiesis. En el presente capítulo intentaré mostrar, mediante el modelo realizado, que la reproducción de sistemas autopoieticos efectivamente ocurre como lo describe la teoría, es decir, como un fenómeno que resulta de la fractura de una unidad autopoietica con una estructura descompartmentalizada, cuyos componentes se encuentran en dosis múltiple y, que el fenómeno de la herencia, es una consecuencia directa de la reproducción, y que ni reproducción ni herencia requieren ser programados para su producción. Bajo estas condiciones, por lo tanto, queda claro que no es necesario que haya componente ni proceso alguno que en forma particular sea el responsable de la ocurrencia de estos fenómenos.

También queda claro que el fenómeno de la reproducción, requiere en primera instancia, una unidad que se reproduzca y es por esto que la reproducción es una operación posterior al establecimiento de la unidad y no puede entrar como rasgo definitorio en la caracterización de los sistemas vivientes (Maturana y Varela, 1973, 1980). Además, dado que la reproducción ocurre durante la historia de la autopoiesis de una unidad, se requiere que ésta mantenga la autopoiesis durante su ontogenia hasta el momento de reproducción. En caso contrario, la unidad perderá su identidad de clase y, por lo tanto, no llegará a reproducirse.



De este modo, para que el modelo de generación de unidades autopoieticas bidimensionales que propongo sea capaz de mostrar el fenómeno reproductivo como es descrito por la teoría de la autopoiesis, éste debe permitir la posibilidad de generar alguna unidad estabilizada en el tiempo en la que, y exclusivamente como resultado de relaciones locales entre sus componentes, resulte de su dinámica autopoietica un plano de fractura.

En las Figuras V-1 y V-2, muestro dos secuencias que corresponden a diferentes historias individuales a partir de  $T = 34$  para una misma unidad que, mediante cambios en su dinámica interna llega a reproducirse.

He elegido la unidad generada según las condiciones del caso N° 4 de la Tabla IV-3, para aplicar los criterios que pueden llevar al establecimiento de dos nuevas unidades. Todos los casos de la Tabla IV-3 representan diferentes ontogenias posibles para una misma unidad, según sean las instancias selectivas a las que esta unidad esté sometida. Como expuse en el Capítulo IV, las unidades generadas en cada uno de estos casos, se pueden considerar como pertenecientes a un tipo en lo que se refiere a algunas de sus características, como son las formas que adopta en sus dinámicas autopoieticas. Así, las dos historias individuales de las Figuras V-1 y V-2, pueden corresponder a dos unidades del caso N° 4 con ontogenias diferentes.

El fenómeno de reproducción en este modelo, aparece como resultado de cambios sucesivos locales que alteran la dinámica interna de una unidad estabilizada en el tiempo. Si en este proceso se dan las siguientes relaciones locales, el resultado es reproducción: i) como resultado de la estabilización de la unidad, se aumenta la probabilidad de movimiento



del catalizador. Este puede moverse hacia cualquier posición en su vecindad inmediata que contenga un hueco, sin que este movimiento signifique que atravesar una cadena. De este modo, el catalizador puede llegar a ocupar cualquier lugar dentro de la unidad. ii) Si el catalizador que se encuentra en dosis única en la unidad, ocupa una posición tal que los ocho lugares que componen su vecindad inmediata están ocupados por eslabones, ya sean libres o enlazados, se produce un nuevo catalizador. El nuevo catalizador ocupa una posición cualquiera que reemplaza a uno de los eslabones libres que circundaban el antiguo catalizador. Desde el momento de su aparición, el nuevo catalizador puede empezar a moverse dentro de la unidad, pudiendo entonces llegar ambos catalizadores a ocupar posiciones separadas. iii) si han ocurrido los sucesos i) y ii) y los catalizadores están separados por cuatro o más espacios, en el interior de la unidad, se rompen los enlaces de las convexidades con respecto a ellos. El punto ii) constituye una situación en la que se establece un plano de fractura que se realiza en el punto iii). Si los fragmentos resultantes que contienen catalizadores se cierran este proceso ha resultado en reproducción con la formación de dos nuevas unidades autopoieticas.

En las secuencias mostradas, se puede apreciar que las nuevas unidades formadas tienen las mismas características que la original, mostrada en el caso N° 4 de la Tabla IV-1. Los componentes de las nuevas unidades, mantienen las propiedades que fueron seleccionadas en esa ontogenia, por lo que estas propiedades pueden pasar a formar parte de una posible selección filogénica, dependiendo de si estas unidades llegan a su vez a reproducirse.

Los procesos que resultan en el fenómeno reproductivo en este modelo, son el resultado de situaciones locales que no tienen analogías con fenómenos particulares que ocurren en la reproducción celular. El desarrollo del modelo en este proceso, destaca los aspectos fundamentales que hacen posible el fenómeno reproductivo que son: la dosis múltiple de todos los componentes y el establecimiento de un plano de división exclusivamente mediante relaciones locales.

Este modelo, al mostrar que el fenómeno de la reproducción no depende de ningún componente particular muestra algo tan simple y obvio como que: el fenómeno de la herencia resulta de la reproducción y que el fenómeno de la evolución surgiría necesariamente si la reproducción se repite secuencialmente dando origen a filogenias de sistemas que estarían también necesariamente bajo condiciones de continua selección ontogénica.

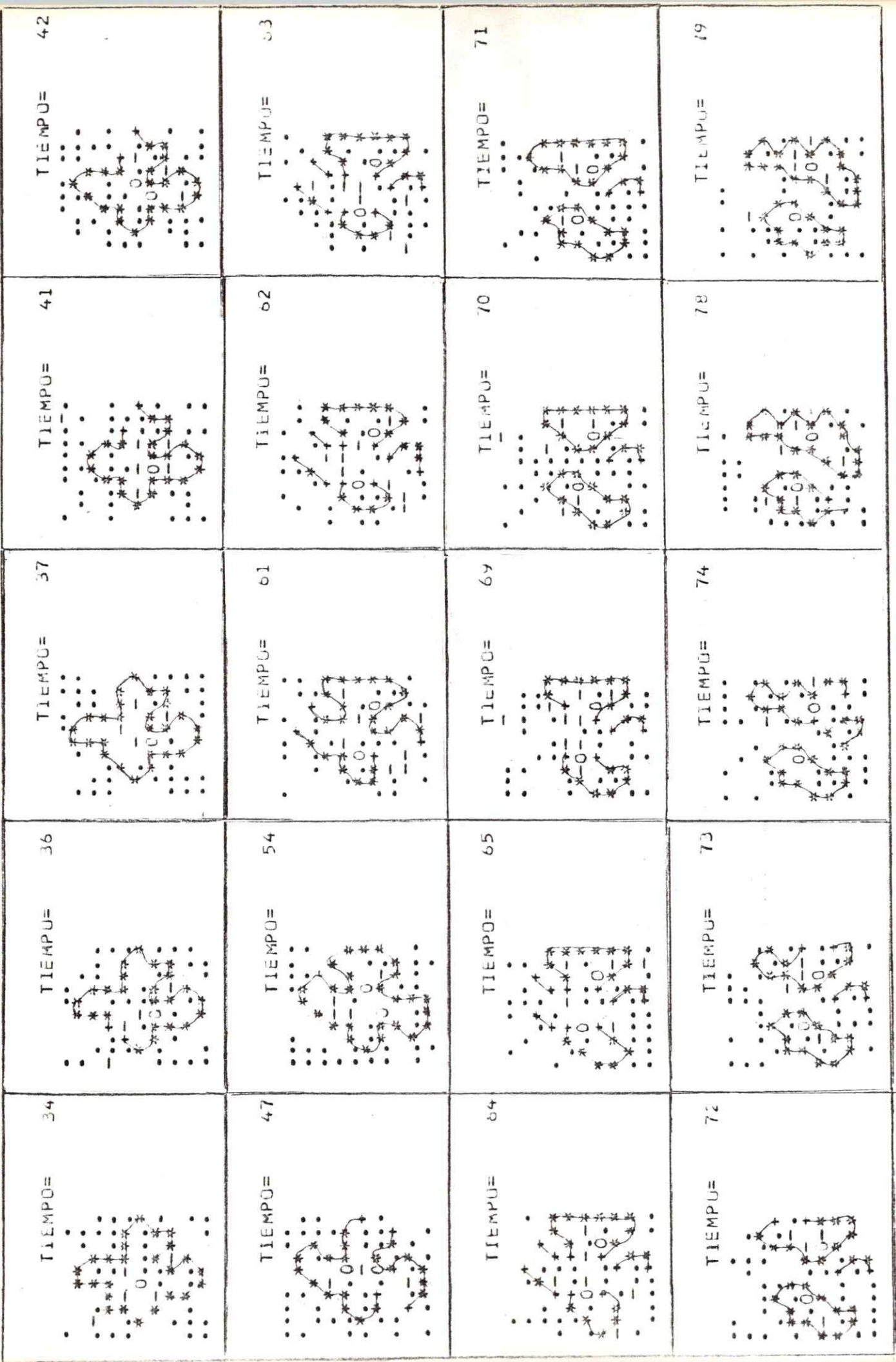


FIGURA V-1



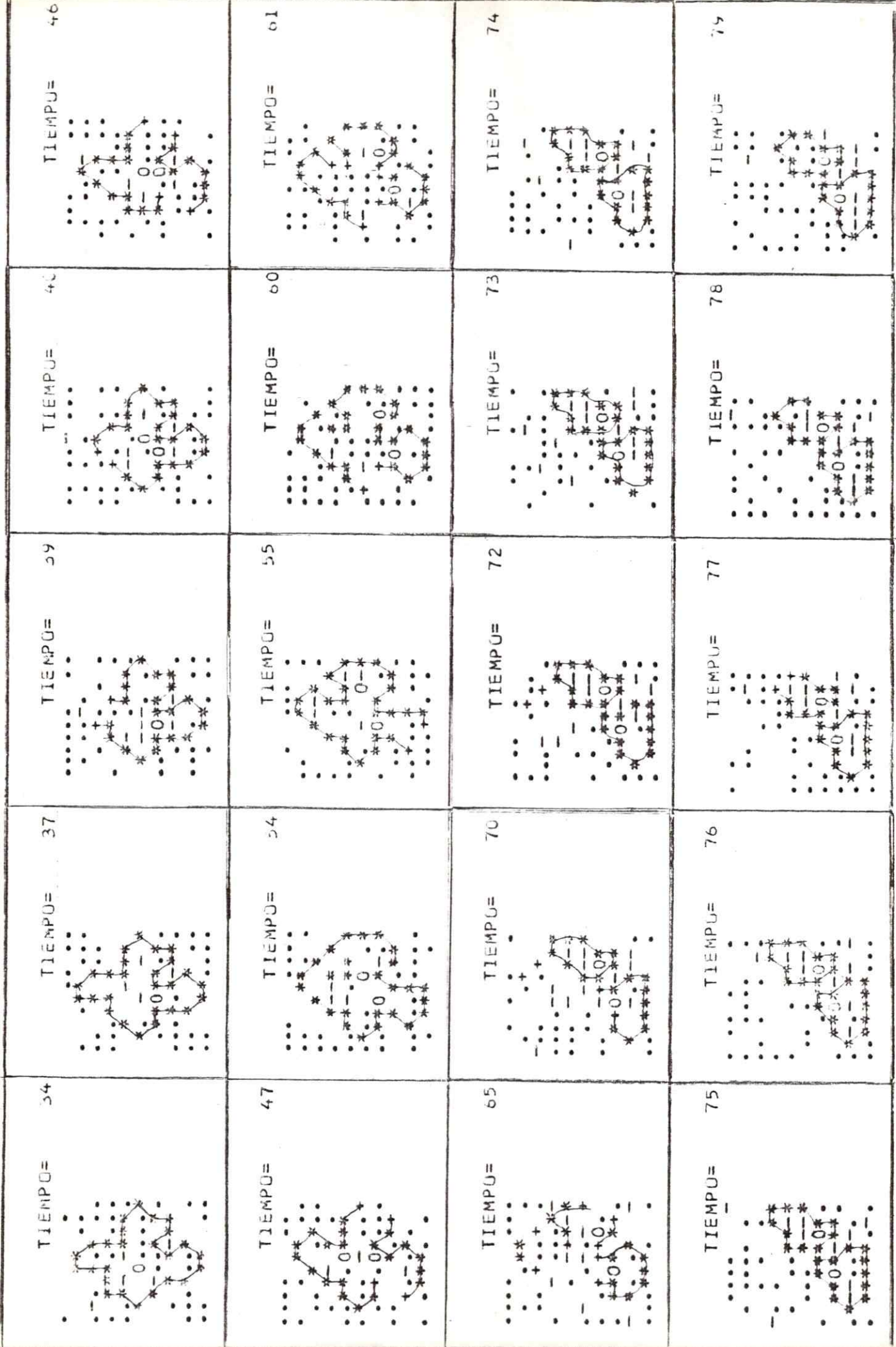


FIGURA V-2



## CAPITULO VI

### COMENTARIOS FINALES

#### VI.1 El modelo

Todo modelo modela lo que modela, y su valor eurístico está en las consecuencias que revela como aplicable al fenómeno modelado si es isomórfico a él, facilitando con esto su ilustración y análisis. Por lo tanto, la dificultad en la construcción de cualquier modelo, se encuentra no en la elaboración de éste, sino en la clara caracterización de lo que se quiere modelar, de modo que efectivamente el modelo sea modelo de lo modelado.

Un modelo por lo tanto, se puede considerar como una herramienta que permite reformular lo que se quiere modelar, y será mejor que otro en la medida en que la correspondencia entre el modelo y lo modelado sea más completa. Por esto, el único buen valorador de un modelo será un observador que tiene un entendimiento del fenómeno que se pretende modelar. En este trabajo este entendimiento fundamental ha sido proporcionado por la teoría de la autopoiesis y ha querido mostrar con él, que de hecho basta la modelación de la autopoiesis para dar origen a una modelación de los fenómenos biológicos fundamentales.

Así, he realizado este trabajo especificando sólo relaciones locales entre elementos, las cuales han tenido como resultado la producción de unidades autopoieticas, en las que se puede generar el fenómeno

de autoreproducción como una consecuencia y no un proceso primario. En otras palabras, los fenómenos de autopoiesis, reproducción, herencia y el establecimiento de filogenias, no están incluidos en la formulación del modelo, sino que éstos resultan de las interacciones locales de los componentes, que es lo modelado. Es en este aspecto donde se encuentra la mayor diferencia entre este modelo y otros que pretenden que ilustrar algunos de estos fenómenos, mediante procedimientos que involucran la modelación de su descripción.

Este modelo, aunque basado en uno anterior que muestra la generación de la organización autopoietica en un espacio de dos dimensiones. (Varela, Maturana y Uribe, 1974), presenta una extensión de lo que es posible estudiar en tal modelo.

M. Zeleny (1977), intentó una reformulación del modelo original de autopoiesis, proponiendo una secuencia posible de relaciones entre componentes que podrían llevar a la producción de elementos participantes en la dinámica autopoietica y a su posible reproducción. Según mi opinión, en este trabajo no habría generación del fenómeno reproductivo en los términos señalados por la teoría de la autopoiesis, ya que en dicho modelo la reproducción no resulta de la sola especificación de propiedades locales de los componentes. Como he dicho, un modelo debe ser isomórfico al fenómeno modelado y no a su descripción, lo que no se cumpliría en el modelo propuesto por Zeleny.

Finalmente, todo modelo implica una visión particular del o los fenómenos modelados y, es según esta visión, que debe juzgarse su éxito o fracaso.

## VI.2 Los Componentes

Para que las unidades generadas en el modelo propuesto se consideren como unidades autopoieticas, se requiere que todos los componentes involucrados se formen a través de los procesos que constituyen la autopoiesis de la manera descrita en el Capítulo I, sección I.1. Así, los sustratos representan elementos del medio ambiente disponibles en el universo en que existe el modelo y es por esto que tienen la propiedad de difundir por todo el espacio atravesando una cadena. En otras palabras, los sustratos no son en si componentes de un sistema autopoietico, sino que llegan a serlo cuando las contingencias de su devenir los incorpora en la red que lo constituyen. Esto, naturalmente es válido para todos los elementos propuestos o resultantes de la dinámica de elementos del espacio gráfico, que operan o no como elementos del modelo sólo en la medida que lo conforman de acuerdo a las relaciones en que participan según la contingencia de sus interacciones y la estabilidad o variabilidad de sus propiedades.

El que en este modelo el catalizador sea completamente estable, es un artificio escogido por razones prácticas, ya que los gastos de computación para hacerlo de otro modo, estaban fuera del presupuesto disponible. Esto sin embargo, no altera los resultados básicos de la modelación, ya que para la evaluación del modelo hay que considerar: i) que la producción del catalizador resulta de una concentración precisa y poco frecuente de sustratos en un punto determinado, ii) que la estabilidad del catalizador es baja si no participa como componente en una unidad autopoietica, pero alta durante la realización de la autopoiesis, presumiblemente



porque queda protegido por el entorno membranoso frente a interacciones inactivantes.

### VI.3 Los fenómenos biológicos

Un fenómeno es un fenómeno biológico en la medida que involucra la realización de la autopoiesis de por lo menos un ser vivo. Así, si hay establecimiento de una unidad autopoietica en el espacio físico, aparece como posible el surgimiento del fenómeno de autoreproducción como fenómeno biológico, ya que su origen es posterior a la aparición de dicha unidad. De la misma forma, si se hace efectiva la autoreproducción, el fenómeno de la herencia queda establecido y aparece la posibilidad de la generación del fenómeno evolutivo, como una consecuencia histórica de la ocurrencia de los fenómenos anteriores. En estas circunstancias, el surgimiento de cada uno de estos fenómenos aparece como consecuencia de otro en una secuencia que parte de la constitución de un sistema autopoietico. Por lo tanto, la modelación en cada caso, debe necesariamente hacer referencia a la particularidad del fenómeno que se quiere modelar en la realización de la autopoiesis, de modo que no se pierda de vista que la correspondencia entre el modelo y lo modelado implica ciertas contingencias históricas.

Así, en el caso particular del fenómeno de la herencia, éste queda establecido si en una unidad autopoietica se dan las relaciones locales que llevan a esa unidad a la autoreproducción. Se da como un fenómeno de transferencia estructural de una generación a la siguiente, con conservación de la organización original en cada una de las unidades re



sultantes, sin que este fenómeno se encuentre asociado a ningún mecanismo nuevo particular ni que haya mención de él en la especificación de las condiciones iniciales que lo hacen posible. En este sentido este trabajo ilustra claramente que el estado final de un proceso histórico nunca es componente del estado inicial que lo hace posible.

REFERENCIAS

- Burks, A.W. (1970), Essays on Cellular Automata, Univ. of Illinois Press, Urbana.
- Eigen, M., and P. Schuster (1977), The hypercycle: A principle of natural selforganization, Part A. Emergence of the hypercycle, Naturwiss, 64: 541.
- Fox, S.W., and K. Dose (1972), Molecular evolution and the origen of life, W.H. Freeman and Co., U.S.A.
- Gardner M. (1971), On cellular automata, self-reproduction, the Garden of Eden, and the game "life", Sci. Am. 224: 112.
- Maturana, H., and F. Varela (1973), De Máquinas y Seres Vivos, Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Maturana, H. (1975), The organization of the living: a theory of the living organization, Int. J. Man-Machine Studies 7: 313.
- Maturana, H. (1979). Autopoiesis: reproduction, heredity and evolution.
- Maturana, H., and F. Varela (1980), Autopoiesis and Cognition, D. Reidel, Boston.
- Varela, F., H. Maturana, and R. Uribe (1974), Autopoiesis: the organization of living systems, its characterizations and a model, Biosystems 5: 187.
- von Neumann, J. (1966), The Theory of Self-Reproducing Automata, Univ. of Illinois, Press, Urbana.
- Zeleny, M. (1976). Self organization of living systems: a formal model of autopoiesis, Int. J. Gen. Syst. 4:13.

