



Diplomado/Taller

Cibercultur@ y desarrollo de proyectos de investigación

Coordinador General Dr. Jorge A. González Sánchez

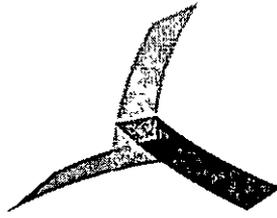
Duración total ♦ 120 hrs.

Fecha ♦ 28 de Enero al 18 de Agosto del 2004

Días y horarios ♦ Miércoles de 4 - 8 p.m.

Costo total ♦ \$ 12,000.00

[Http://www.mineria.unam.mx](http://www.mineria.unam.mx)
<http://www.politicas.unam.mx>
<http://www.unam.mx/ceiich/>



labcomplex

Laboratorio de Comunicación Compleja

Laboratorio de Investigación y Desarrollo En Comunicación Compleja
Cibercultur@ y desarrollo de proyectos de investigación

Módulo III RIZOMA
Conocimiento interdisciplinar y comunicación a distancia

JUNIO 2004

Dr. Jorge González
Dra. Margarita Maass
Ing. José Amozurrutia

CONOCIMIENTO INTERDISCIPLINAR Y COMUNICACIÓN A DISTANCIA

INDICE

- SESIÓN 1** Desarrollar cultura de comunicación
- SESIÓN 2** Desarrollo de redes
- SESIÓN 3** Análisis de redes
- SESIÓN 4** Representación de redes
- SESIÓN 5** Diseño y creación de redes
- SESIÓN 6** Redes complejas
- SESIÓN 7** Redes interdisciplinarias
- SESIÓN 8** Inteligencia distribuida
- SESIÓN 9** Sistema de Información, conocimiento y comunicación
- SESIÓN 10** Formas de organización social



Laboratorio de Investigación y Desarrollo En Comunicación Compleja

Cibercultur@ y desarrollo de proyectos de investigación

Módulo III RIZOMA

Conocimiento interdisciplinar y comunicación a distancia

INTRODUCCIÓN

El diplomado de Cibercultura y desarrollo de proyectos de investigación está conformado por tres módulos con 30 sesiones. En el primer módulo se trabajó en la Construcción de objetos de estudio a partir de la discusión permanente y sostenida entre todos los participantes de diferentes áreas y disciplinas del conocimiento. Su objetivo fue desarrollar todos los proyectos de investigación de los participantes dentro de una estructura de inteligencia distribuida. El producto de este módulo implicó la sistematización de los proyectos de investigación en un formato claro, riguroso y conciso, en 9 tarjetas, que ayudaban a incrementar notablemente la claridad, la pertinencia y la comunicabilidad de los mismos.

El módulo II, de Alquimia Tecnológica, estuvo orientado al uso creativo de la tecnología (aplicaciones en hoja electrónica y creación de hipertextos) como plataforma generativa de conocimiento para visualizar, administrar, construir y representar los proyectos de investigación desarrollados en el módulo I. La formación práctica del grupo giró en torno del desarrollo de pensamiento matricial y sistémico aplicado a las propuestas de investigación de los participantes.

Este módulo III, Rizoma y Comunicación a distancia desarrollará las habilidades y destrezas del uso de tecnologías de comunicación mediada por computadoras, CMC, con el propósito de conformar comunidades emergentes de conocimiento interdisciplinar. El producto de este taller será visible en la medida en que estas

comunidades emergentes fortalezcan su actividad académica interdisciplinar a partir del uso de plataformas a distancia. Pretendemos la creación de una red de nodos y vínculos capaces de desarrollar proyectos de investigación interdisciplinar.

Objetivos del módulo

- a) Formar una comunidad emergente de conocimiento integrada por todos los participantes del diplomado de cibercultur@
- b) Presentar las herramientas necesarias para que el CEC genere un Sistema General de información (SGI) y opere activamente en trabajo interdisciplinario y a distancia. (Formas)
- c) Enriquecer de manera interdisciplinaria y a distancia, el Sistema General de Información generado en el grupo. (Contenidos)

Con el módulo III continuamos los módulos I y II

- a) Enriqueciendo la *estimulación* del grupo
- b) Desarrollando *conectividad* y trabajo en RED
- c) Trabajando en *consistencia*

Programa

SESIÓN 1	23 de junio	Desarrollar cultura de comunicación
SESIÓN 2	30 de junio	Desarrollo de redes
SESIÓN 3	7 de julio	Análisis de redes (conferencia del Dr. Jesús Galindo)
SESIÓN 4	14 de julio	Representación de redes
SESIÓN 5	21 de julio	Diseño y creación de redes
SESIÓN 6	28 de julio	Redes complejas
SESIÓN 7	4 de agosto	Redes interdisciplinarias
SESIÓN 8	11 de agosto	Inteligencia distribuida
SESIÓN 9	18 de agosto	Sistema de Información, conocimiento y comunicación
SESIÓN 10	25 de agosto	Formas de organización social

SESIÓN 1 DESARROLLAR CULTURA DE COMUNICACIÓN

El objetivo de la primera sesión es introducir el módulo III y desarrollar la temática de cultura de comunicación.

El producto de la sesión será la consolidación del grupo como comunidad emergente de investigación, utilizando la plataforma de correo electrónico como herramienta de comunicación a distancia.

El fenómeno biológico de la comunicación, dicen Maturana y Varela, se refiere a procesos sociales de acoplamiento estructural entre individuos que coordinan acciones. Es decir, las conductas coordinadas entre agentes de una misma unidad social es lo que se llamaría comunicación. (Maturana y Varela 1990:181). Para el logro de este proceso de coordinación de acciones se necesitan, por un lado, soportes materiales, y por otro lado, diferentes códigos (González, 2003:137). Así, la comunicación humana, explica González, puede ser clasificada en tres grandes categorías:

- a) Comunicación de Primer orden: cuando los soportes materiales tanto para seleccionar y enviar información, como para recibirla e interpretarla, son el propio cuerpo y los sentidos.
- b) Comunicación de Segundo orden: cuando uno de los comunicantes utiliza no solamente el cuerpo sino alguna *herramienta cultural* para ampliar el efecto del envío. Por ejemplo, un escritor que utiliza un libro para comunicarse, un pintor que usa un lienzo, un orador con un micrófono, etc. Hay una tecnología que media el proceso comunicativo. Para este nivel de comunicación se necesitan ciertos conocimientos, habilidades y destrezas por parte del comunicante, escribir, por ejemplo, y por parte del otro comunicante, leer, o conocer los códigos. Además en este tipo de comunicación un comunicante puede entrar en comunicación con muchos otros.
- c) La comunicación de tercer orden: se da cuando los dos comunicantes necesitan soportes o dispositivos tecnológicos, además de su cuerpo, para enviar y recibir la señal. La comunicación por radio, la televisión y la red de Internet forman

parte de este tipo de comunicación. Ciertamente la infraestructura y soportes que necesita el comunicante que envía la señal, son mucho más sofisticados, de alta complejidad y mucho más costosos que los que necesita el comunicante, o el gran público que recibe la señal para captarla e interpretarla. Esta es también una comunicación tecnológicamente mediada.

Estos tres tipos de comunicación utilizan tres niveles de códigos: tanto primarios, o de orden biológico o *hipolingual*, - que operan con informaciones bioquímicas -, como códigos secundarios y terciarios, de orden social o *lingual* y de orden cultural o *hiperlingual* como son el lenguaje oral, gestual y corporal aprendidos, aprehendidos e incorporados. Las ideas, las imágenes, los sonidos, nos llegan al cuerpo y nos hacen sentir emociones, deseos, atracción y/o repulsión, por ejemplo. (González, 2003:139). Por eso los llamados "medios de comunicación" son más bien formas de comunicación "mediadas" por dispositivos tecnológicos en los que grupos de comunicantes, con alto poder económico y especialización, "producen, editan y transportan" ideas, imágenes y sonidos, en señales a otros que reciben sin posibilidad de interacción.

Una cultura de comunicación genera una sociedad de comunicación, en la que la información depende de la comunicación, de la coordinación de acciones entre individuos, de interacción dialógica entre actores sociales. La información no se mueve en una sola dirección generalmente dominante, sino que el flujo es interactivo y transformador en toda la vida social.

Los recursos, las capacidades y las herramientas para suscitar, contemplar, establecer, mantener, transformar y transfigurar los vínculos entre diferentes componentes humanos, con sus respectivos sistemas de información que los delimitan, conforman los principios básicos de una *cultura de comunicación*. (González 2003: 10).

Sin embargo necesitamos cambiar la forma en que nos organizamos para generar más y mejor conocimiento, pues la forma en que lo hacemos está inscrita en el producto mismo del conocimiento. La cultura de Comunicación nos permite hacer visible estas formas en que nos organizamos, formas que actúan en nuestras

prácticas sociales. Si pretendemos entonces generar una cultura de comunicación tendremos que trabajar por una organización horizontal en inteligencia distribuida de crecimiento compartido y en tres procesos fundamental: estimulación, conectividad y consistencia.

Lectura

Maturana, Humberto y Varela Francisco (1999).

El árbol del conocimiento. Barcelona Editorial Debate.

Ejercicios

1. Ejercicio de hermenéutica colectiva para recuperar el trabajo grupo:
 - a. Contestar en grupos de 3 personas la siguiente pregunta: ¿Podemos imaginar al grupo del diplomado como un **Sistema** en el que cada individuo es un **elemento** que teje **relaciones** con el resto de los integrantes con objeto de constituirse en una **Comunidad Emergente de Investigación** que genere **Conocimiento**? Por qué sí o por qué no. Qué necesitamos para hacerlo.
 - b. La 1ª respuesta de cada grupo deberán ser enviadas por mail a todo el grupo.
 - c. Trabajo de cada grupo para trabajar y circular el 2º resultado
 - d. Se envía a todo el grupo y se comparan los resultados

2. Ejercicio para compartir lenguajes, metalenguajes, estrategias y normatividad:
 - a. Los participantes de un grupo elaborarán el protocolo (las reglas del juego) para el uso de e-mail como plataformas de trabajo a distancia.
 - b. Elaborarán una lista de distribución con todos los participantes del diplomado.
 - c. Enviarán por mail a todos los participantes, sus tarjetas, mapas, tablas, y todo el trabajo avanzado. El grupo determinará qué hacer con la información que reciba cada participante.



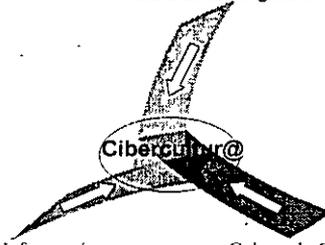
Laboratorio de Investigación y Desarrollo
en Comunicación Compleja

DIPLOMADO
Cibercultur@ y desarrollo de proyectos de investigación
Módulo III RIZOMA

Conocimiento interdisciplinar y comunicación a distancia

El Diplomado y el módulo II

Módulo I
Cultura de Investigación



Cultura de Información
Módulo II

Cultura de Comunicación
Módulo III

Objetivos del módulo

- Formar una comunidad emergente de conocimiento (CEC), integrada por todos los participantes del diplomado de cibercultur@
- Presentar las herramientas necesarias para que la CEC genere un sistema general de información (SGI) y opere activamente en trabajo interdisciplinario y a distancia (Formas)
- Enriquecer de manera interdisciplinaria y a distancia, el SGI generado en el grupo (Contenidos)

Contenidos del Módulo III

- | | |
|-----------|---|
| SESIÓN 1 | Desarrollar cultura de comunicación |
| SESIÓN 2 | Desarrollo de redes |
| SESIÓN 3 | Análisis de redes |
| SESIÓN 4 | Representación de redes |
| SESIÓN 5 | Diseño y creación de redes |
| SESIÓN 6 | Redes complejas |
| SESIÓN 7 | Redes interdisciplinarias |
| SESIÓN 8 | Inteligencia distribuida |
| SESIÓN 9 | Sistema de Información, conocimiento y comunicación |
| SESIÓN 10 | Formas de organización social |

Pregunta

¿ Podemos imaginar al grupo del diplomado como un

Sistema

en el que cada individuo es un

elemento que teje **relaciones**

con el resto de los integrantes

con objeto de constituirse en una

Comunidad Emergente de Investigación

que genere

Conocimiento ?

Lecturas y conferencias

- | | |
|-----------|--|
| SESIÓN 1 | Lectura de Humberto Maturana |
| SESIÓN 2 | Lectura de Jesús Galindo |
| SESIÓN 3 | Conferencia del Dr. Jesús Galindo |
| SESIÓN 4 | Lectura de Jorge González |
| SESIÓN 5 | Lectura de Manuel Castells |
| SESIÓN 6 | Conferencia de la Dra. Marta Rizo |
| SESIÓN 7 | Teleconferencia DGESCA, que es una teleconferencia |
| SESIÓN 8 | Teleconferencia DGESCA Dr. Rolando García |
| SESIÓN 9 | Lectura del texto Rizoma |
| SESIÓN 10 | Teleconferencia DGESCA Jorge González |

Protocolos de comunicación a distancia

1) Protocolo para el uso de Correo Electrónico



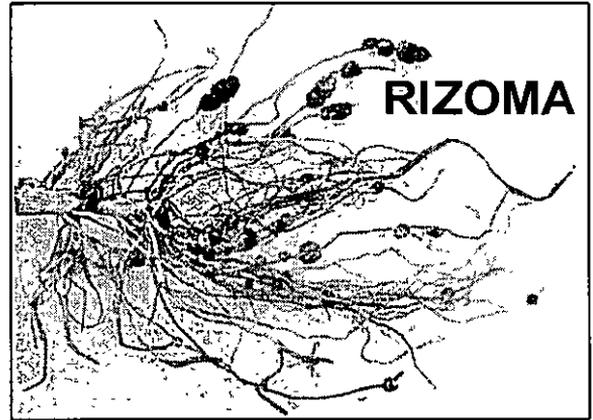
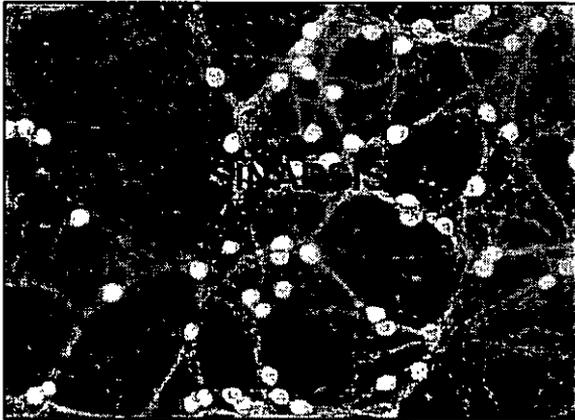
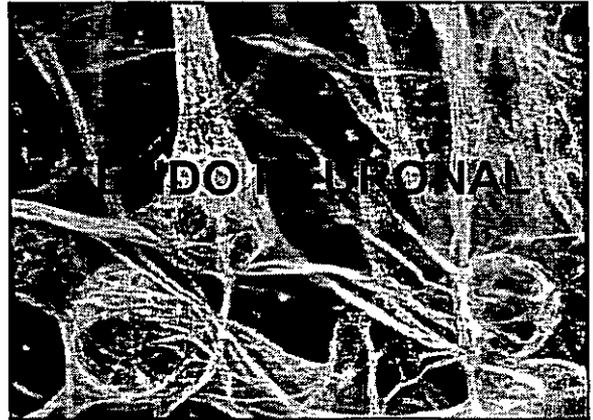
2) Protocolo para el uso de ICQ



3) Protocolo para el uso del Netmeeting



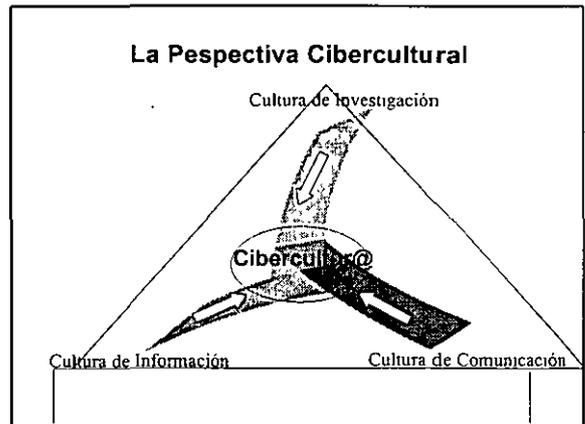
4) Protocolo para el uso de Chat de Cibercultura@UNAM





labcomplex
Laboratorio de Investigación y Desarrollo
en Comunicación Compleja

Módulo 3 Rizoma
Desarrollar Cultura de Comunicación



Por qué desarrollar cibercultura

Porque en México, a pesar de la infraestructura tecnológica instalada, carecemos de una sólida Cultura de Información, de una rica Cultura de Investigación y de una eficiente Cultura de Comunicación.

Cibercultura es la síntesis de estas tres culturas

Comunicación

En toda acción humana social y en la investigación científica hay un supuesto apriorístico:

La acción comunicativa es inter- subjetiva

- Nadie piensa solo
- El pensamiento está posibilitado y marcado por el lenguaje
- El lenguaje es social e interpersonal
- La investigación presupone un sujeto cognoscente que lo es en comunicación con otros sujetos humanos
- Es por esto que el diálogo es la base de la ciencia



Comunicación y sociedad

- La experiencia social de comunicación es el proceso de asimilación o aprehensión de las formas simbólicas
- La comunicación tiene que ver con la ritualidad, la tecnicidad y las competencias en el lenguaje
- Una conducta lingüística es comunicativa cuando se da en el acoplamiento estructural social, entre agentes sociales

Comunicación y lenguaje

La comunicación es una "experiencia social" que no puede iniciarse si no hay **coordinación de acciones** y, por supuesto, lenguajes compartidos.

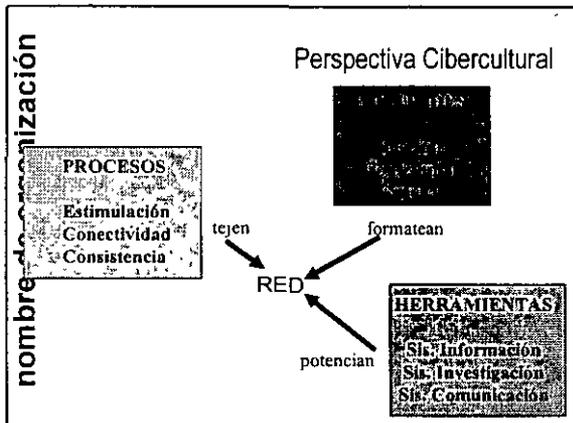
La Cultura de Comunicación implica:

Estimulación

Conectividad

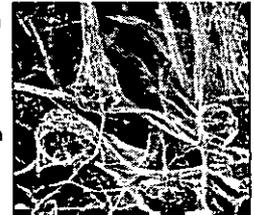
Consistencia

Estos tres procesos facilitan comunicación o coordinación de acciones



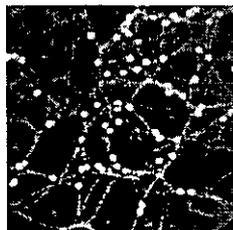
Estimulación

Proceso mediante el cual los individuos adquieren y asimilan formas simbólicas, elementos cognitivos que se acomodan como componentes dentro de la estructura mental. Esta se enriquece y, sobre todo, genera la sinapsis o conexiones neuronales que permiten la percepción, valoración y generación de acciones e interacciones sociales



Conectividad

Es la densidad relativa de vínculos estructurales de componentes conceptuales entre individuos que comparten lenguajes



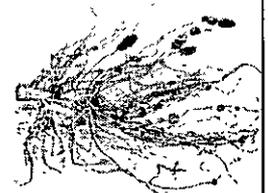
Consistencia

Es la Convergencia de sentido

Es dotar de "sentido" a las prácticas e interacciones.

Es compartir lenguajes y metalenguajes

Se refiere a formas de nombrar y narrar el mundo



Niveles de comunicación

- A) Comunicación de Primer orden: los soportes materiales son el propio cuerpo y los sentidos
- B) Comunicación de Segundo orden: alguna *herramienta cultural* para ampliar el efecto del envío. Un comunicante puede entrar en comunicación con muchos otros
- C) La comunicación de tercer orden: los dos comunicantes necesitan soportes o dispositivos tecnológicos, además de su cuerpo, para enviar y recibir la señal. Esta es también una comunicación tecnológicamente mediada

Lenguajes

Los lenguajes suponen tres niveles de códigos:

- a) Primarios, o de orden biológico o *hipolingual*, que operan con informaciones bioquímicas
- b) Secundarios o de orden social o *lingual*, que operan con informaciones orales
- c) Tercianos o de orden cultural o *hiparlingual* como son el lenguaje oral, gestual y corporal aprendidos, aprehendidos e incorporados



Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Comunicación Compleja
Cibercultur@ y desarrollo de proyectos de investigación

Módulo III RIZOMA
Conocimiento interdisciplinar y comunicación a distancia

JUNIO 2004

PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN A DISTANCIA

Dr. Jorge González
Dra. Margarita Maass
Ing. José Amozurrutia

PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN A DISTANCIA

INDICE

Introducción

1. El Correo Electrónico _____	3
Protocolo para el uso del Correo Electrónico _____	4
2. El ICQ _____	5
Protocolo para el uso del ICQ _____	6
3. El NetMeeting _____	12
Protocolo para el uso de NetMeeting _____	18
4. El Chat de Cibercultura de la UNAM-DGSCA _____	19
Protocolo para el uso del Chat de la UNAM _____	20

Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Comunicación Compleja

Cibercultur@ y desarrollo de proyectos de investigación Módulo III RIZOMA Conocimiento interdisciplinar y comunicación a distancia

PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN A DISTANCIA

Introducción

En una comunidad emergente de conocimiento, la comunicación a distancia es una herramienta indispensable para trabajar permanentemente en inteligencia distribuida y en trabajo colectivo.

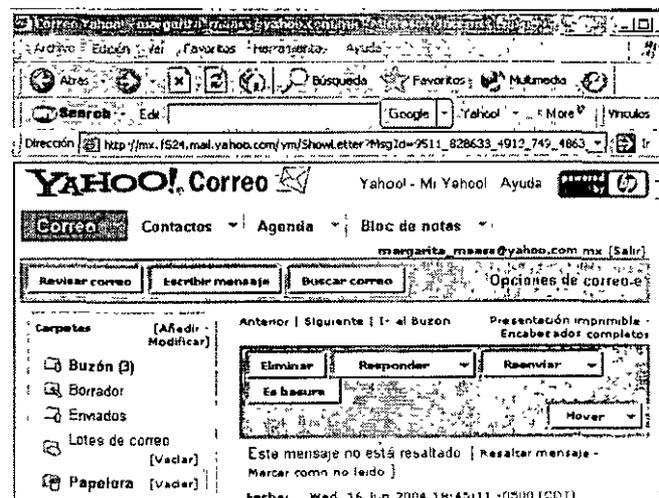
Este documento contiene los protocolos para uso de algunos programas de comunicación a distancia utilizando la www:

1. Correo electrónico
2. ICQ
3. NetMeeting
4. Chat de Cibercultur@ de la UNAM-DGSCA

1. El Correo Electrónico

Todos sabemos que el correo electrónico o e-mail, es una utilidad que permite enviar (o recibir) mensajes a cualquiera de los usuarios de la Red en el mundo.

La rapidez de un mensaje enviado por la red, desde cualquier lugar del mundo llega a otro lugar del mundo en pocos minutos es la principal de las ventajas, pero hay otras, sobre todo cuando estamos hablando de un grupo de trabajo. El bajo costo en contraste con el elevado precio de las llamadas de larga distancia internacional.



La Asincronía: Una característica importante del correo electrónico es que no requiere la intervención del emisor y el receptor al mismo tiempo; el primero lo envía cuando lo considere pertinente y el segundo lo lee cuando así lo desee.

El correo electrónico necesita una dirección electrónica de origen y otra de destino. Las direcciones electrónicas están compuestas de dos partes divididas por una @: el nombre del usuario, y el nombre del sistema o dominio en el que tiene su cuenta.

Es sabido que .com quiere decir que el proveedor es una empresa comercial. Universidades e institutos educativos tienen la extensión edu, institutos militares la extensión mil, una entidad del gobierno la extensión gov, organizaciones no lucrativas la extensión org y la de redes de enlace es net).

maass@labcomplex.net

También sabemos que muchas veces se puede identificar el país donde está localizada la dirección, a través de la última extensión, que en el caso de México es mx.

El usuario podrá consultar su correo desde cualquier parte del mundo. Los programas más utilizados para el correo electrónico son Explorer, Netscape, Outlook. Todos son parecidos y tienen los mismos componentes:

Bandeja de entrada o recibidos

Bandeja de salida o enviados

Menús para redacción, lista de contactos, formas de anexar archivos etc.

Un mensaje de correo electrónico está conformado por las siguientes partes:

From (o *remitente*) Dirección de la persona que envía el mensaje.

To (o *destinatario*) Dirección de la persona a la cual va dirigido el correo.

Subject Asunto del mensaje

Date Fecha y hora de la remisión. La genera automáticamente el sistema

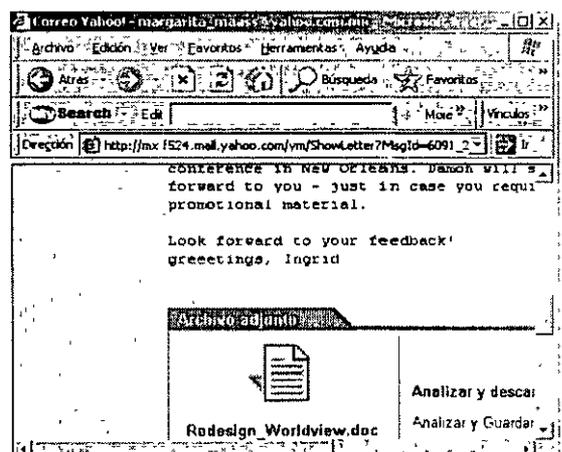
CC (con copia a..) Dirección de la persona a la cual desea enviarle una copia del mensaje.

Attachments (o *archivos anexos*)

Permite 'pegarle' al mensaje un archivo de computador, como por ej., un informe, artículo, gráfica, software o página Web

Contenido Cuerpo del mensaje

Directorio de direcciones



Listas de distribución:

Cuando hablamos de una comunidad emergente de conocimiento nos referimos a un grupo de personas que trabajan por un mismo fin académico. Este grupo de personas tiene que estar en permanente contacto y comunicación de todos con todos. Una lista de distribución permite multiplicar un mail para que sea recibido por todos y cada uno del grupo o de la lista de distribución.

45



Protocolo para el uso del Correo Electrónico

Para que el correo electrónico sea utilizado por el grupo como herramienta poderosa de comunicación a distancia proponemos el siguiente protocolo:

1. Todos los participantes de una comunidad emergente de conocimiento deberán tener un buzón de correo electrónico.
 2. Se organizará una lista de distribución formada por todos los miembros del grupo.
 3. Todos los usuarios tienen derecho y obligación de mandar mensajes que interesen a todo el grupo. No conviene mandar mensajes personales utilizando esta lista.
 4. Todos los usuarios recibirán los correos de todos aquellos que utilicen esta lista de distribución para mandar un mensaje.
 5. En el caso de que alguien desee mandar un correo a una sola persona de la lista por cuestiones personales, deberá hacerlo sin la interferencia de la lista.
 6. Los usuarios de correo electrónico deberán tener el buzón con capacidad para recibir mails con archivos adjuntos. (no tener el buzón saturado)
 7. Abrir el buzón y revisar los correos por lo menos una vez al día
 8. Cuando se reciba algún mail deberán contestarlo inmediatamente para que la comunicación fluya.
 9. Asimismo todos los que reciban algún mensaje de este grupo deberán responder lo más pronto posible al correo recibido, con un "Ok", "recibido" o algún comentario al mensaje. Tenemos que hacer cultura de respuesta.
- (Agregar los puntos que el grupo determine en el ejercicio de la primera sesión)

2. El ICQ

El ICQ es un Chat comercial. Es un programa que realiza una búsqueda de amigos y conocidos que se encuentran conectados a Internet. Por medio de este programa se puede hablar, enviar mensajes y archivos, jugar o usarlo como una herramienta de trabajo en tiempo real. También permite seleccionar la forma de comunicación que se desee, puede ser por medio escrito, voz, conferencias y transferencia de archivos. Tiene varias versiones que se pueden bajar de Internet sin costo. Pero tiene la desventaja de que puede ser mecanismo receptor de virus o de mensajes no deseados y de personas desconocidas.

Cuando una persona instala el programa se registra en un servidor, el cual le asigna un número que será tu número de ICQ. Adicionalmente solicita ingresar datos de información personal, que son utilizados por otros usuarios del ICQ.

En el momento en que se abre el ICQ aparecen en tu lista de amigos o contactos, en color azul, todos los usuarios que están en ese momento en línea. De la misma forma en rojo aparecerán los que no están en línea. De Una vez que sabes quien esta en línea, todo lo que necesitas hacer es seleccionar el icono para iniciar la conversación, mandar mensajes e intercambiar archivos.

Instalar el ICQ

Para bajar el programa se necesita localizarlo en la web y seguir las instrucciones de down load. En este proceso se piden una serie de datos personales que uno puede dar o no, pues serán utilizados para distintos registros de participantes, listas de personas con ciertas características.

Protocolo para el uso de ICQ

1. Lo primero que se debe hacer es bajar el programa ICQ e instalarlo en el escritorio de tu computadora.
2. Bajar de la web la versión ICQ 200b. Puedes también instalarlo para que se abra desde que inicias la máquina. De esa forma automáticamente aparecerás en azul y serás percibido en las listas de todos tus amigos con los que te conectas regularmente.
3. Abrir una cuenta personal de ICQ
4. Establecer conexión básica en ICQ
 - No. ICQ de Margarita 292986808
 - No. ICQ de Jorge 56310783
 - No. ICQ de Pepe 193968343
5. Establecer conexión con todo el grupo

6. Enviar algún documento a algún compañero
7. Si eres nuevo en ICQ tendrás que añadir en tu lista a todos tus amigos. Pídeles por mail su número de ICQ y los vas buscando en la lista universal de usuarios usando el botón de añadir usuarios (Add Contacts Wizards). Estos son los usuarios a los cuales quieres notificar de tu presencia.
8. Con el botón derecho del mouse, selecciona un usuario de la lista dependiendo de las acciones que deseas utilizar (por ejemplo. conversar, mandar archivos, etc) y mándale un mensaje.
9. Cuando te llegue un mensaje, un icono parpadeante aparecerá en la parte inferior de tu pantalla y si tienes bocinas prendidas oirás un CuCu. Dale doble clic en este icono para contestar el mensaje. Si tienes la pantalla de ICQ abierta podrás ver luego luego el mensaje en esta pantalla.

Para abrir la ventana del ICQ tienes que hacer doble clic en la flor (Logo del ICQ) de la barra de opciones.



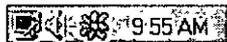
Barra de opciones

También puedes abrir el programa con un click del botón derecho sobre el Logo del

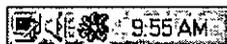


ICQ de la barra de opciones y seleccionando OPEN ICQ. Tienes que hacer Click con el botón derecho del mouse.

El programa te permite saber si esta en línea o desconectado. Un rápido vistazo en la barra de opciones te podrá indicar:

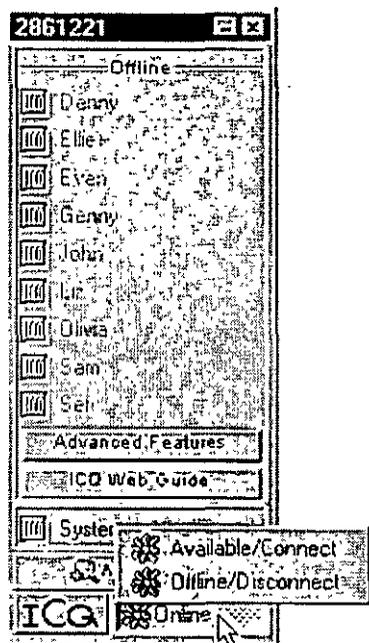


Conectado



Desconectado

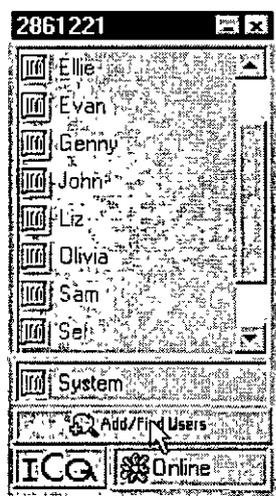
Si quieres cambiar tu estado de conexión:



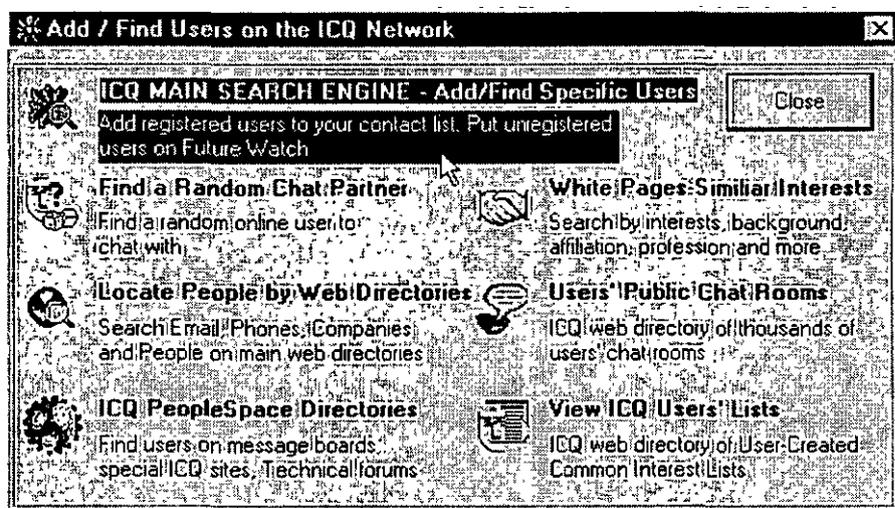
1. Abrir la ventana del ICQ
2. Dar click en el botón de estado (Status Button) que está abajo a la derecha de la ventana del ICQ
3. Si quieres estar conectado(a) o en línea, presiona Online.
4. Si prefieres estar desconectado, presiona Offline.
5. Puedes elegir las otras opciones de conexión, en el modo de avanzados (ADVANCED MODE).

Para agregar usuarios a tu lista, debes de:

1. Abrir la ventana del ICQ
2. Dar click en el botón de ADD USERS (Añadir usuarios)
3. Se abrirá una ventana de búsqueda (que es la imagen que esta abajo)
4. Puedes seleccionar entre buscar por el número universal (UIN) o por Información personal.
5. Debes llenar la información que sabes
6. Presiona NEXT (Siguiete)
7. Si al terminar la búsqueda se encuentra más de una persona que reúnan los requisitos que eligió, selecciona el nombre que quieras agregar.
8. Debes presionar NEXT y así el usuario será agregado a su lista.



También hay un botón para añadir usuarios: El Add/Find Users dialogo aparece y haces clic



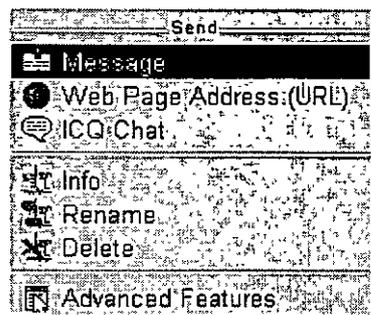
Con eso click aparece la ventana Add/Find Users

Escoge uno o todos de el ICQ Network search engina tools para que te ayude a conseguir la información que necesitas

Este tour te mostrara como añadir personas usando la principal ICQ buscador. Debes hacer clic en el principal buscador del directorio global del ICQ

Para enviar un mensaje a un usuario de tu lista:

1. Abre la ventana del ICQ y con el botón izquierdo del mouse elige la persona a la que deseas mandar el mensaje.
2. Aparecerá un menú del usuario.
3. Selecciona MESSAGE. Una ventana se abrirá.
4. Escribe el mensaje que deseas enviar y presiona SEND (enviar).

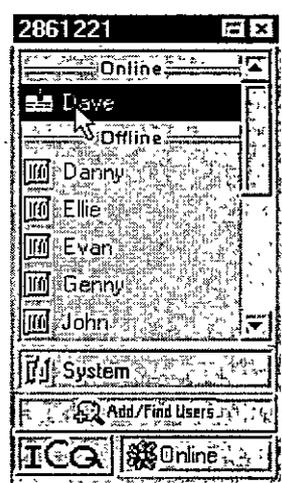


Para recibir un mensaje:

1. Cuando se recibe un mensaje de otro usuario, aparecerá un icono parpadeante en la parte inferior de tu pantalla y sonará un Cu cu.
2. Si la ventana del ICQ se encuentra cerrada, este parpadeará en su barra de opciones (taskbar). Si por el contrario, la ventana se encuentra abierta, parpadeará a un lado del usuario que lo mandó.
3. Para leer el mensaje, simplemente dale doble click en el icono.



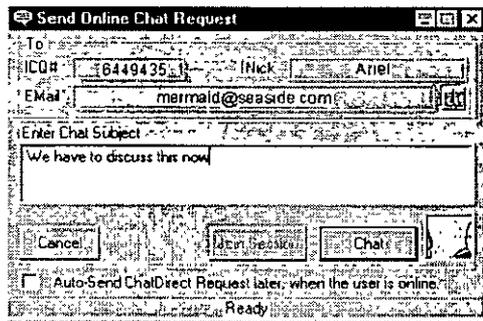
Recibiendo un mensaje en la barra de tareas.



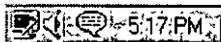
Recibiendo un mensaje.

Para solicitar y usar el Chat:

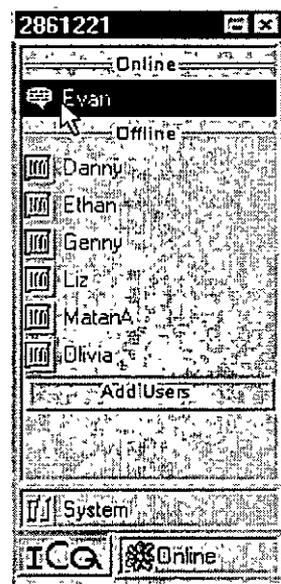
1. Para un platicar con otro usuario abre la ventana del ICQ y selecciona el usuario con el que deseas entablar una conversación. Esto abrirá el menú del usuario en el cual deberás elegir Chat.
2. Aparecerá una ventana, en la que se te pedirá que introduzcas información acerca del tema de conversación.
3. Escribe el tema y presiona SEND.
4. El diálogo comenzará en cuanto el destinatario conteste tu mensaje.



5. Para aceptar un Chat de otro usuario, recibirás una petición para unirse a la conversación y un icono parpadeante en forma de globo de diálogo aparecerá en la barra de opciones o en la ventana del ICQ. Para recibir el Chat solamente dale doble click en el icono y selecciona **ACCEPT** (Aceptar).



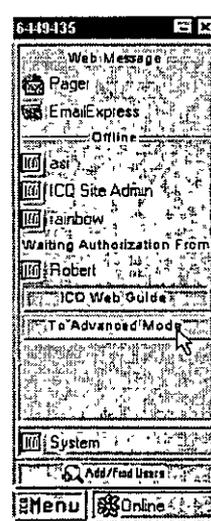
Recibiendo una petición de Chat en la barra de opciones.



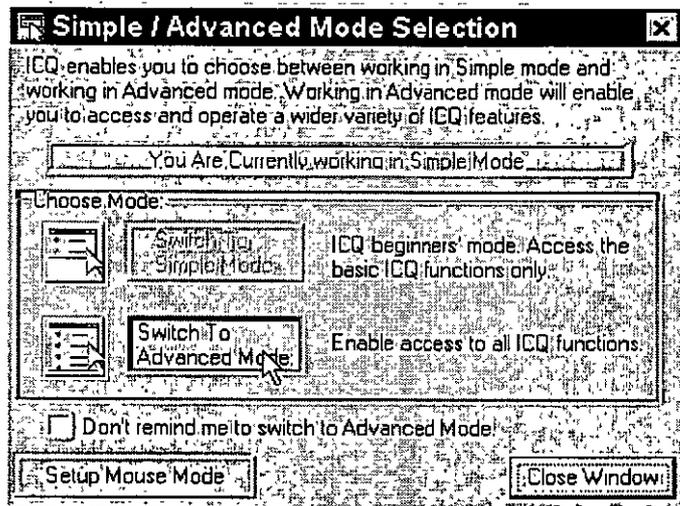
Recibiendo una petición de Chat.

Para cambiar de Simple Mode a Advance Mode:

1. Aprieta el botón de Advance Mode de tu lista de contactos.



2. La siguiente ventana se te va a abrir:



3. Cambiarlo a Advance Mode

4. Aprieta el botón de Advance Mode.



Importante: Si no se puede establecer la conexión básica en 5 minutos nos pasamos directamente a NetMeeting o al chat de la UNAM.

3. El NetMeeting

El NetMeeting es un programa incluido en todas las máquinas que tienen Explorer y es un software que permite compartir con otros usuarios datos, voz, archivos, imágenes, incluso videoconferencia, y colaborar y trabajar en grupo utilizando programas compartidos.

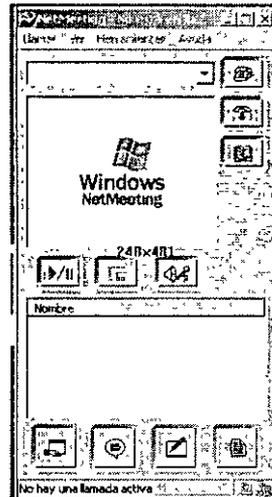
Instalación de NetMeeting

El programa se instala al mismo tiempo que Internet Explorer. Por esta razón es probable que esté en casi todas las máquinas en las que estamos trabajando.

Para configurarlo se deben seguir los siguientes pasos guiados por las indicaciones del asistente a través de diversas pantallas.

1. Buscar con el programa de "buscar" todos los archivos o carpetas del programa NetMeeting
2. Abrir la carpeta que contiene estos archivos

3. Seleccionar el icono que tiene la imagen de un mundo con dos flechas
4. Con el botón derecho del mouse pedir que se
5. Aparecerá una rutina de configuración que habrá que seguir puntualmente. Hacer prueba de sonido, realizar la prueba de grabación una pantalla en la que debemos activar la casilla "Activar audio dúplex completo".
6. Cuando ya está instalado el programa estará listo para usarse.



Pantalla Principal

Una vez completado el proceso de configuración aparece la pantalla principal de NetMeeting con una barra de menús y una barra de herramientas. En la parte izquierda aparecen cuatro pestañas o botones que permiten entrar en las ventanas correspondientes y que se irán explicando a lo largo de la guía.

A través de la opción *Herramientas/Opciones* de la barra de menús se puede acceder a todas las posibilidades de configuración de NetMeeting.

Tipos de conexión

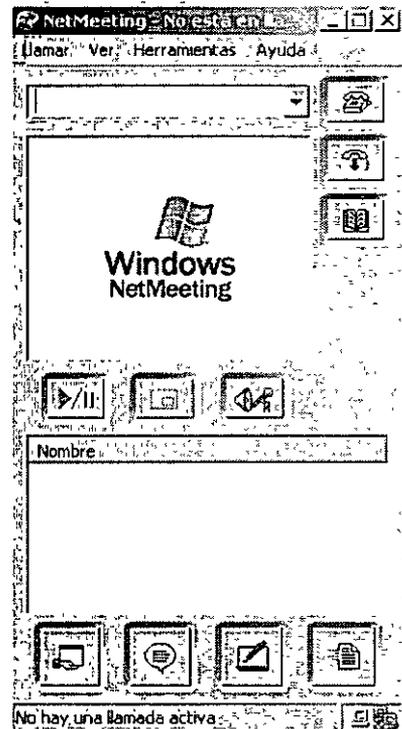
El NetMeeting soporta cuatro formas de establecer una conexión entre usuarios (por cable, módem a módem, conexión IPX y conexión TCP/IP), la más utilizada es la conexión TCP/IP.

El protocolo de comunicaciones TCP/IP es el protocolo más utilizado en Internet. Sólo es posible la realización de videoconferencia y de conversaciones con voz en este tipo de conexión entre usuarios.

Cada computadora tiene una dirección IP misma que aparece en el menú principal/ayuda/opciones y el número que aparece en la parte inferior es la dirección: Ej.: 132.248.50.71

En la pantalla principal aparecen varios íconos:

Teléfono junto a la ventana que se utiliza para poner la IP de la máquina a la que se desea llamar.



Realizar una llamada

Los pasos a seguir para establecer una conferencia son:

1. Asegurarse de que la máquina a la que se desea llamar esté abierta.
2. Asegurarse de que en *Herramientas/Opciones* y la casilla *Red (TCP/IP)* de la ficha de *Protocolos* esté marcada.
3. Realizar la llamada. Para ello, se debe pulsar en el botón *Llamar* de la barra de herramientas o *Llamar/Nueva llamada...* de la barra de menús. Aparecerá una ficha en la que se debe rellenar la *Dirección del ordenador* que funciona como servidor de directorio (por ejemplo *ils.microsoft.com*) y en *Llamar usando*: se debe escoger la opción *Servidor de directorio*. Aparecerán en esta pantalla todos los usuarios activos en el servidor de directorio escogido. Si se conoce algún usuario en concreto que se halle en un servidor de directorio, para establecer una conferencia se debe escribir: *nombre _ directorio de servidor/e-mail del usuario*.

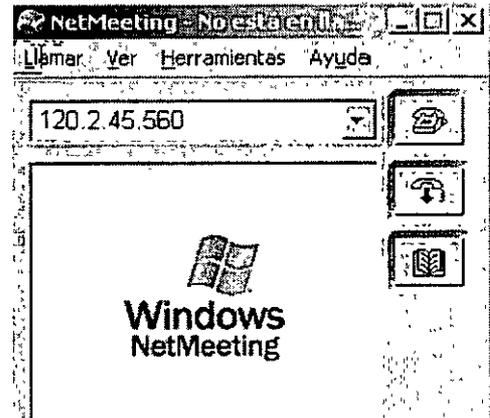
Llamar a una persona de la lista

Una vez obtenida la lista de usuarios, se puede iniciar una conferencia con cualquiera de ellos pulsando dos veces sobre su nombre. Cada usuario tiene varios campos de datos sobre el mismo que se indican en la parte superior de la pantalla en forma de columna. Pulsando sobre cualquiera de las cabeceras de estas columnas se reordenan todos los usuarios por orden ascendente alfabéticamente. Si se vuelve a pulsar sobre la misma columna el orden se hace descendente. En la parte superior izquierda en el campo categorías se pueden filtrar los usuarios que pertenezcan a una categoría determinada. Hay que recordar que en el momento

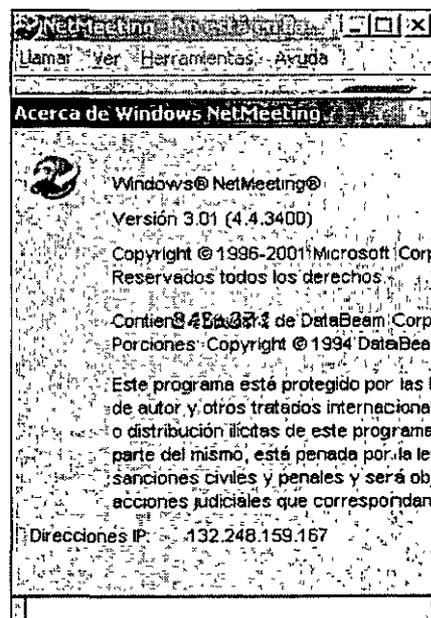
de configurar el NetMeeting en *Herramientas/Opciones/ Información personal* escogimos la categoría a la que se deseaba pertenecer.

Para obtener de forma automática una lista de un servidor de directorio nada más ejecutar el NetMeeting, se debe marcar la casilla *Actualizar directorio* al iniciar *NetMeeting*, especificando el nombre del servidor en *Herramientas /Opciones /Llamada*.

En la ventana superior que tiene una barra de desplazamiento, vemos que aparece la dirección IP (Internet Protocol) de la persona que queremos conectar. Teniendo ya esta dirección, solamente hacemos clic en el teléfono.



Para localizar la dirección IP de la máquina que tenemos, basta desplegar el menú de ayuda que aparece en la barra superior de menú, y en la ventana que se despliega aparecerá una opción que dice "acerca de Windows NetMeeting". Hacer clic ahí, y aparecerá la dirección en la parte inferior.



Pantalla de Llamada Actual

Cuando se ha podido establecer una conferencia con otro usuario se activa automáticamente la ficha *Llamada Actual*, a través de la cual se puede acceder a todas las funciones de comunicación del programa. En esta pantalla se pueden ver los participantes en la conferencia y si poseen tarjeta de sonido o vídeo.

Pantalla de Mercado rápido

En esta pantalla se presenta una lista de los usuarios con los que se han realizado conferencias en las sesiones anteriores y se puede reiniciar nuevamente una conferencia con cualquiera de ellos simplemente pulsando dos veces sobre su nombre. Se puede configurar el funcionamiento de esta pantalla **en Herramientas /Opciones/Llamada**.

Pantalla Historial

Almacena una lista de las llamadas que se han recibido indicando la fecha, la hora y si el usuario las acepta o no.

Transferencia de archivos

Durante una conferencia se pueden transmitir o recibir archivos. Para enviar un archivo a todos los participantes de la conferencia se debe activar la opción *Herramientas/Transferencia de archivos/Enviar archivo..* , seleccionar el archivo que se desea enviar y pulsar *Aceptar*. Si se quiere enviar un archivo a uno de los participantes, en la pantalla *Llamada actual* se selecciona al usuario, se abre el menú contextual (pulsando el botón secundario del ratón) y se sigue la opción *Enviar archivo...* y se procede igual que en el primer caso.

Se inicia inmediatamente la transferencia. En la parte izquierda de la barra de estado se informa de la transferencia con el mensaje *Enviando archivo nombre_archivo*.

En la pantalla del usuario que recibe el archivo aparecerá una ventana que indica la progresión de la misma sin confirmación previa de que se acepta el archivo. Si no se desea aceptarlo, se debe pulsar el botón *Eliminar* durante la transmisión, con lo que ésta se interrumpe o, si ya se ha completado la transmisión, se borra el archivo del ordenador.

Los archivos recibidos se colocan por defecto en *C:\Archivos de programa\NetMeeting\Archivos recibidos*.

Pantalla del Chat

NetMeeting también permite realizar la conferencia utilizando mensajes escritos enviados a uno o varios de los participantes de la misma. Existen varias formas de activar la ventana de conversación escrita: pulsar el botón *Conversación* de la barra de herramientas de la ficha *Llamada actual*, seleccionar en el menú *Herramientas* la opción *Conversación* o pulsar simultáneamente las teclas *Ctrl-T*. En la pantalla que aparece se escribe precedido por el nombre del participante el contenido de los mensajes que se vayan elaborando en la conferencia. En el menú desplegable que hay en la parte inferior se puede elegir a alguno de los participantes con los que establecer una conversación privada.

Pizarrón compartido

Existe la posibilidad de utilizar la pizarra compartida, que consiste en poder intercambiar imágenes y dibujos o esquemas a través de una pantalla a modo de pizarra compartida con los demás participantes de la conferencia. Para activarla existen tres posibilidades: pulsar el botón *Pizarra* de la barra de herramientas de la pantalla *Llamada actual*, seleccionar **Pizarra** del menú *Herramientas* o utilizar la combinación de teclas *Ctrl-P*.

En la parte izquierda de dicha pantalla existen varios botones con las utilidades (selector, texto, zoom, rectángulo, colores, etc.) habituales de otros programas de dibujo como Paint de Windows 95. Se puede utilizar el portapapeles para añadir imágenes o dibujos desde otros programas.

Existe la posibilidad de evitar que los demás usuarios modifiquen el contenido de la pizarra, para ello se debe marcar la opción *Bloquear* en el menú *Herramientas* o activar el botón *Bloquear* contenido de la barra de herramientas.

Compartir Aplicaciones o pantalla

Se puede *compartir* una aplicación, es decir, que otros usuarios vean lo que uno está haciendo, sin que puedan modificarlo o *colaborar* en una aplicación, lo que significa que todos los usuarios pueden modificar un trabajo común.

Para *compartir* una aplicación se deben seguir los siguientes pasos:

1. Ejecutar en el ordenador del usuario la aplicación que se desea compartir.
2. Pulsar el botón *Compartir* de la barra de herramientas de la pantalla de *Llamada actual* y seleccionar la aplicación a compartir.
3. Aparece de forma automática la aplicación seleccionada en la pantalla de los demás participantes.

Para dejar de compartir la aplicación desmarcamos el nombre de la aplicación en el botón *Compartir*.

Para *colaborar* en una aplicación debemos seguir los siguientes pasos:

1. Ejecutar la aplicación en la queremos colaborar.
2. Pulsar el botón *Colaborar* de la barra de herramientas.
3. Para tener control sobre la aplicación se debe hacer un click sobre la ventana de la aplicación en la que se está colaborando y en la pantalla de la *Llamada actual*, en la columna *Compartir* aparece el valor *En Control*.

Conversación hablada

El NetMeeting permite realizar conversaciones en tiempo real enviando y recibiendo voz y con el coste habitual de una conexión a Internet. Para ello los dos interlocutores deben disponer de micrófono y altavoces. Basta con hablar por el micrófono y escuchar por los altavoces. En la parte superior de la pantalla aparece una barra que permite ajustar el volumen de ambos.

En la lista de directorio se puede observar si los interlocutores disponen de dicha capacidad si se halla activado un pequeño icono.

Vídeoconferencia

La vídeoconferencia permite transmitir junto con la voz, imágenes en vídeo, por tanto es necesario disponer de una cámara de vídeo. Actualmente existe un gran surtido de cámaras en el mercado y a un precio asequible (desde unas 15.000 ptas).

Si uno de los usuarios no dispone de vídeo puede ver las imágenes que le envían aunque evidentemente él no podrá enviar imágenes. Al igual que en la conversación hablada, los usuarios que disponen de vídeo presentan el icono correspondiente activado. En el momento que iniciamos la conferencia con el usuario que dispone de vídeo aparece en una pequeña pantalla a la derecha.

Ejercicio: Tener la Versión Netmeeting: 3.1 o 3.0

1. Poner en el escritorio el icono de acceso a NetMeeting
 - a) Antes de entrar a conversar debemos probar audífonos y micrófonos:
Tools/ Audio Tunning wizard
2. Buscar la IP de la computadora donde están sentados
3. Establecer conexión básico con algún compañero
Netmeeting Jorge 1 UNAM (fija) 132.248.50.70
Netmeeting Jorge 2 UNAM (fija) 132.248.50.71
Netmeeting Manolo Calahan 137.150.13.215
4. Establecer conexión con todo el grupo
5. Enviar algún documento a algún compañero
6. Compartir el escritorio con un compañero
7. Explicar algo en el pizarrón

Protocolo para el uso de NetMeeting

para utilizar el NetMeeting en telefonía Internet, y poder hacer una conversación hablada en tiempo real entre varios usuarios, es necesario tener instalada una tarjeta de sonido y se debe disponer también de micrófono.

1. Se fijará una agenda de trabajo para la sesión y se enviará a todos los participantes. Saber de antemano cuántos participantes estarán activos
2. Abrir la pantalla de NetMeeting a la hora programada y esperar la llamada.
3. Designar al moderador de la sesión
4. El indicará la hora y los turnos de entrada y de participación de todos los participantes.
5. Se recomienda tener abierta la pantalla de ICQ para tener dos opciones de conexión
6. Solamente los dos primeros que se conectan pueden tener conexión de voz. Los demás solamente podrán tener contacto visual.
7. En cada sesión el moderador puede establecer las reglas del juego para que la sesión sea eficiente.
8. (agregar los puntos del protocolo que fijen los participantes del grupo)

D. El Chat de Cibercultura UNAM-DGSCA

1. Entrar a Internet
2. Entrar a la página <http://vivo3.dgsca.unam.mx>
3. Aparece una pantalla con los siguientes datos:

Login

Nickname: margarita ?

Password: [masked] ?

Channel: default (0/50) ?

store account data: public

cibercultur@ (0/50)

default (0/50)

moderated

moderation (0/50)

[register!](#) | [Forgot your password?](#) | [Regulars' table](#) | [Help](#)

chatters online: 0

4. En esta pantalla:
 - a. Se tiene que elegir el Chat de Cibercultur@
 - b. Registrarse haciendo clic en Deseo Registrarme
 - c. Poner en el registro solamente un alias y una clave
 - d. Regresar a la pantalla anterior y escribir el alias y la clave
 - e. Ingresar!!
5. Aparece una pantalla que nos pide una clave:
La clave es ciber
ENTER para entrar al Chat
6. La pantalla del chat está dividida en dos secciones.
 - a. En la parte superior se puede ver la participación de todos los que están activos.
 - b. En la parte inferior izquierda se puede ver una ventana donde los participantes escriben su comentario y lo envían. También podemos ver una lista de los que están activos en ese momento.
 - c. En la parte inferior derecha tenemos un menú que nos permite entrar al foro de discusión, ayuda, ver quienes están en línea, etc.
6. Para entrar al Foro de Discusión se hace clic en ese menú y con ello aparece una pantalla que nos permite escribir comentarios en el foro activando la leyenda que dice "escribir un artículo". Ahí se pueden colocar textos completos para discutirlos y hacer comentarios al mismo.

Protocolo para el uso del Chat UNAM

1. Antes de la sesión en chat se fijará la fecha y la hora para entrar.
 2. Todos deberán registrarse y entrar al chat antes de la sesión para que el mero día nadie falle ni se tarde en la entrada.
 3. La persona que abre el chat es el coordinador de la sesión
 4. Entra también un observador, que aunque no participará activamente en la discusión, estará activo como observador, para hacer el seguimiento técnico de la sesión.
 5. Cada participante irá entrando y escogiendo un color para su identificación
 6. Cada persona que participa aparece con su *alias* al principio de su comentario y debe terminar poniendo ... (tres puntos suspensivos) para saber que ya terminó de escribir.
 7. Cuando alguien entra la chat aparece una leyenda que dice:
Jorge: * se nos une *
 8. Cuando alguien se sale de la sesión aparece una leyenda que dice:
Jorge: * nos deja*
 9. A partir de ese momento todos estaremos atentos a la guía del moderador.
 10. Las intervenciones se harán conforme el moderador lo señale
 11. Si alguien pregunta algo, todos deberán contestar inmediatamente para no perder el ritmo y la consistencia de la sesión
 12. Puede darse el caso de que alguien pregunta a alguien concreto. Ahí se verá la respuesta de un solo participante
 13. Si el coordinador hace una pregunta todos tienen que contestar con un OK...
 14. El moderador seguirá la agenda de la sesión, misma que todos conocen de antemano.
 15. Las preguntas y las respuestas deben ser eficientes para no perder el ritmo.
 16. De cada punto de la sesión el moderador irá anotando los acuerdos, conclusiones
 17. Se fija la fecha y la hora para el siguiente chat.
 18. Evaluación de la sesión
 - a. Después de cualquier sesión en el chat de la UNAM tendremos un formato de evaluación:
 - Tiempo que duró el chat
 - No de personas que participaron (nombres e instituciones si es posible)
 - Si tuvimos problemas de conexión
 - Si tuvimos problemas de comunicación durante el chat
 - Comentarios de la sesión
 - Si se guarda la sesión o se borra
 - Si funcionó el protocolo
- (Agregar todos los puntos extras que se elaboren en el grupo)

Humberto Maturana
Francisco Varela

EL ÁRBOL DEL CONOCIMIENTO

Las bases biológicas del conocimiento humano

DEBATE
pensamiento

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidas la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella, mediante alquiler o préstamo público

Segunda edición (primera en esta colección): octubre 1996
Tercera edición: febrero 1999
© Humberto R. Maturana y Francisco J. Varela, 1990
© De la versión castellana, Editorial Debate, S.A.,
O'Donnell, 19, 28009 Madrid

I S B N.: 84-7444-409-8
Depósito legal: B. 6 404-1999
Compuesto en Impimatur, S. A.
Impreso en Limpigraf, Ripollet (Barcelona)
Impreso en España (*Printed in Spain*)

INDICE

Prefacio	7
<i>Capítulo I</i>	
Conocer el conocer	11
<i>Capítulo II</i>	
La organización de lo vivo	27
<i>Capítulo III</i>	
Historia: reproducción y herencia	47
<i>Capítulo IV</i>	
La vida de los metacelulares	63
<i>Capítulo V</i>	
La deriva natural de los seres vivos	79
<i>Capítulo VI</i>	
Dominios conductuales	103
<i>Capítulo VII</i>	
Sistema nervioso y conocimiento	119
<i>Capítulo VIII</i>	
Los fenómenos sociales	153
<i>Capítulo IX</i>	
Dominios lingüísticos y conciencia humana	177
<i>Capítulo X</i>	
El árbol del conocimiento	203
Glosario	211
Fuente de las ilustraciones	217

PREFACIO

El libro que tiene usted en las manos no es una introducción más a la biología del entendimiento, sino un esbozo completo de una visión alternativa de las raíces biológicas de la inteligencia. Advertimos desde un principio a los lectores que, muy probablemente, la opinión que aquí se presenta no coincidirá con las ideas a las que están acostumbrados. Por el contrario, proponemos que se considere el entendimiento, no como una representación del mundo «exterior», sino más bien como la continua creación de un mundo a través del proceso mismo de la vida.

Para lograr este objetivo seguiremos un riguroso itinerario conceptual, en el que cada concepto se apoya en los anteriores, hasta llegar a un todo que forma una red indisoluble. En consecuencia, no recomendamos una lectura casual o diagonal de este libro. En compensación, nos hemos esforzado al máximo por aportar una gran abundancia de ilustraciones y un mapa conceptual de las ideas más destacadas, indicadas claramente en el texto mediante recuadros separados, para que el lector sepa en todo momento en qué punto del camino se encuentra.

Este libro se engendró en circunstancias muy particulares. En 1980, la Organización de Estados Americanos (OEA) investigaba las posibles maneras de comprender los numerosos problemas que se oponen a la comunicación social y a la transferencia de conocimientos. Consciente de esta necesidad, Rolf Benhcke, que a la sazón trabajaba en el ODEPLAN (Ministerio de Planificación del Gobierno chileno), pensó que resultaría muy provechoso explicar a la OEA nuestro enfoque de los temas citados bajo la forma de una formulación coherente de los fundamentos de la comunicación concebida como la esencia biológica del ser humano. La OEA aceptó la idea y se firmó un contrato al efecto. El proyecto co-

menzó en septiembre de 1980 con una serie de conferencias pronunciadas alternativamente por ambos autores ante un público compuesto predominantemente por asistentes y gestores sociales. Estas conferencias, una vez transcritas, se sometieron a intensas correcciones entre 1981 y 1983 y se publicaron en forma de libro en 1985, en edición privada para distribución interna en la OEA. Exceptuando algunas pequeñas correcciones y adiciones, el presente libro coincide con aquel texto inicial. Estamos muy agradecidos a la OEA por su interés y apoyo económico, y por autorizarnos a publicar el texto en edición aparte. Más concretamente, damos las gracias al señor Benbcke, que se empeñó en cuerpo y alma para que el proyecto diera frutos. También es preciso dar las gracias a Francisco Olivares y sus colaboradores, que trabajaron durante meses en las numerosas ilustraciones de este libro, con excelentes resultados. Sin la ayuda de todas y cada una de estas personas e instituciones este libro no habría sido posible.

Se impone también un breve comentario acerca de la historia de las ideas contenidas en este volumen. Pueden remontarse a 1960, cuando Humberto Maturana comenzó a apartarse de la tradición biológica habitual, esforzándose por concebir los sistemas vivos en términos de los procesos que les dieron forma, y no en términos de su relación con un ambiente. Sus investigaciones se prolongaron durante toda la década siguiente y se manifestaron claramente por primera vez en el artículo «La neurofisiología del entendimiento»¹, publicado en 1969, en el que se exponían algunos de los conceptos clave de la organización circular de los sistemas vivos. Francisco Varela comenzó como discípulo de Maturana a mediados de los 60, y en 1970 se convirtió en su colaborador. Ambos continuaron su trabajo en la Universidad de Chile, dispuestos a encontrar una nueva formulación de la fenomenología biológica, que presentaron en un librito titulado *Autopoiesis: la organización de lo vivo*, escrito en 1970-71 y publicado en 1973². Estos dos documentos «fundacionales» se encuentran abo-

¹ H. R. Maturana, «The Neurophysiology of Cognition», en P. Garvin, *Cognition: A Multiple View* (Nueva York: Spartan Books, 1969). La versión definitiva de este artículo apareció con el título «The Biology of Cognition», en *BCL Report*, núm. 9.0, 1970. Reimpreso en *Autopoiesis and Cognition* (véase nota 3).

² H. R. Maturana y F. J. Varela, *De máquinas y seres vivos: una teoría de la organización biológica* (Santiago, Editorial Universitaria, 1973). Versión inglesa en *Autopoiesis and Cognition* (véase nota 3).

ra reunidos en el libro *Autopoiesis and cognition*³. Los acontecimientos políticos ocurridos en Chile en 1973 nos obligaron a ambos a proseguir nuestras investigaciones por separado, en lugares distantes y cada uno a su estilo, abarcando nuevos campos teóricos y experimentales⁴. Mucho más tarde, en 1980, cuando las circunstancias volvieron a hacerlo posible, reanudamos nuestra colaboración en Santiago. El presente libro incorpora ideas desarrolladas independiente o conjuntamente durante todos aquellos años. En nuestra opinión, representa una síntesis nueva y accesible de un concepto de la vida y de la mente que hemos acabado por compartir, y que tuvo su origen en las primeras intuiciones de Maturana, hace más de veinticinco años.

Más que ninguna otra cosa, este texto es una invitación al lector para que se desprenda de sus certidumbres habituales y adquiera una nueva visión biológica de lo que significa ser humano.

³ H. Maturana y F. Varela, *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living* (Boston: D. Reidel, 1980).

⁴ Véase, por ejemplo, H. R. Maturana, «Biology of Language: Epistemology of Reality», en *Psychology and Biology of Language and Thought*, ed. G. Miller and E. Lenneberg (Nueva York: Academic Press, 1978); F. J. Varela, *Principles of Biological Autonomy* (Nueva York: North-Holland, 1979).

Capítulo I

CONOCER EL CONOCER

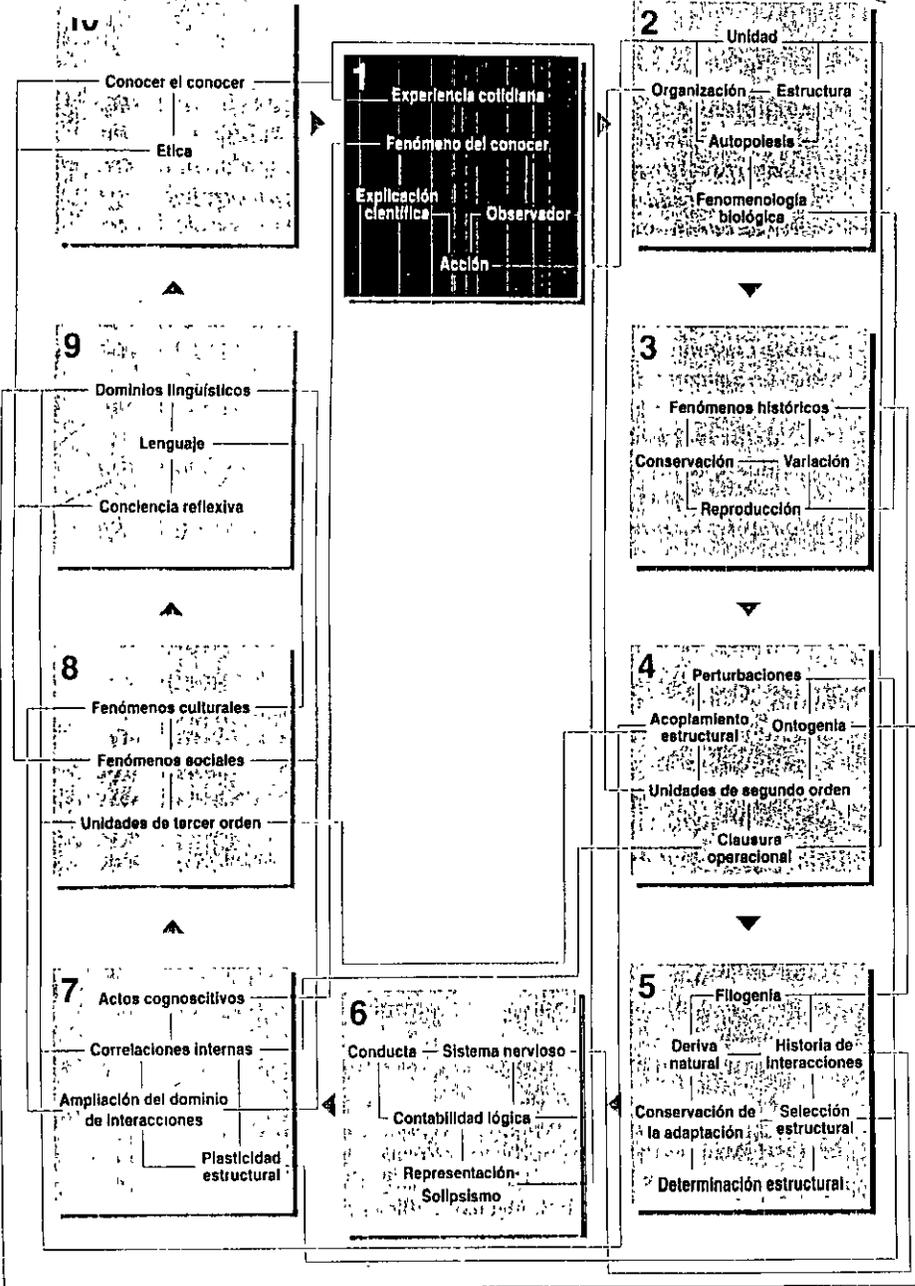
LA GRAN TENTACION

En la página siguiente admiramos el *Cristo coronado de espinas* del maestro de Hertogenbosh, mejor conocido como El Bosco.

Esta representación tan poco tradicional de la coronación de espinas pinta la escena casi en un plano, con grandes cabezas, y, más que a un incidente de la Pasión, apunta a un sentido universal de lo demoníaco contrastado con el reino de los cielos. Cristo, en el centro, expresa una inmensa paciencia y aceptación. Sus atormentadores, en cambio, no fueron pintados aquí como en tantas otras composiciones de la época y de El Bosco mismo, con figuras extraterrenas que agreden directamente, mesando los cabellos, hiriendo la carne. Los verdugos del Cristo aparecen como cuatro tipos humanos que, en la mente medieval, representaban una visión total de la humanidad. Cada uno de estos tipos es como una gran tentación para la espaciosidad y paciencia de la expresión de Cristo. Son cuatro estilos de enajenación y pérdida de ecuanimidad interior.

Mucho hay para contemplar y meditar sobre estas cuatro tentaciones. Pero para nosotros, al comenzar el largo itinerario que será este libro, el personaje de abajo a la derecha es particularmente relevante. Tiene a Jesús sujeto por el manto. Lo afirma contra el suelo. Lo retiene y restringe su libertad fijando su perspectiva. Parece estarle diciendo: «Pero si yo sé, yo ya lo sé..» Es la tentación de la *certidumbre*.

Nosotros tendemos a vivir un mundo de certidumbre, de solidez perceptual indisputada, donde nuestras convicciones prueban que las cosas sólo son de la manera que las vemos, y que lo que



nos parece cierto no puede tener otra alternativa. Es nuestra situación cotidiana, nuestra condición cultural, nuestro modo corriente de ser humanos.

Pues bien, todo este libro puede ser visto como una invitación a suspender nuestro hábito de caer en la tentación de la certidumbre. Esto es doblemente necesario. Por una parte, porque si el lector no suspende sus certidumbres no podríamos comunicar aquí nada que quedara incorporado a su experiencia como una comprensión efectiva del fenómeno del conocimiento. Por otra parte, porque precisamente lo que este libro va a mostrar, al estudiar de cerca el fenómeno del conocimiento y nuestras acciones surgidas de él, es que toda experiencia cognoscitiva involucra al que conoce de una manera personal, enraizada en su estructura biológica, donde toda experiencia de certidumbre es un fenómeno individual ciego al acto cognoscitivo del otro, en una soledad que (como veremos) sólo se trasciende en el mundo que se crea con él.



Fig. 1 — Cristo coronado de espinas, *El Bosco*, Museo del Prado de Madrid

LAS SORPRESAS DEL OJO

Nada de lo que vamos a decir va a ser comprendido de una manera verdaderamente eficaz a menos que el lector se sienta aludido personalmente, a menos que tenga una experiencia directa más allá de la descripción que uno hace de ella.

Por eso, en vez de hablar de cómo es que la aparente solidez de nuestro mundo experiencial se hace rápidamente sospechosa cuando la miramos de cerca, vamos a demostrarlo con dos sim-

ples situaciones. Ambas corresponden al ámbito de nuestra experiencia visual cotidiana.

Primera situación: el lector deberá fijar la mirada en la cruz dibujada en la página 14 (fig. 2), cubriendo su ojo izquierdo, y ajustando la página a una distancia de alrededor de cuarenta centímetros. Lo que observará es que el punto negro de la figura, nada despreciable de tamaño, ¡de pronto desaparece! Experimente rotando un poco la página o abriendo el otro ojo. También es interesante copiar el mismo diseño en otra hoja de papel y agrandar gradualmente el punto negro hasta ver cuál es el tamaño máximo para desaparecer. Más aún, rote la página 14 de manera que el punto B ocupe el lugar que antes ocupaba A, y repita la observación. ¿Qué pasó con la línea que cruza el punto?

De hecho esta misma situación se puede observar sin ningún diseño de papel, simplemente reemplazando la cruz y el punto por los pulgares. El dedo aparece como decapitado. ¡Hágalo! Entre paréntesis, fue así como esta observación se hizo popular: Marriot, un científico en la corte de uno de los Luises, le mostró al rey por este procedimiento cómo podría tener una visión de sus súbditos decapitados antes de proceder a cortarles la cabeza.

La explicación normalmente aceptada para este fenómeno es que en esa posición específica la imagen del punto (o del dedo o del súbdito) cae en la zona de la retina de donde sale el nervio óptico y, por tanto, no tiene capacidad sensitiva a la luz. Se denomina el punto ciego. Sin embargo, lo que muy raramente se enfatiza al dar esa explicación es ¿por qué no andamos por el mundo con un agujero de ese tamaño de manera permanente? Nuestra experiencia visual es de un espacio continuo y, a menos que hagamos estas manipulaciones ingeniosas, no percibimos que de hecho hay una discontinuidad que debería aparecer. Lo fascinante con el experimento del punto ciego es que no vemos que no vemos.

Segunda situación: tomemos dos luces y dispongámoslas como en la figura 4. (Esto puede lograrse simplemente haciendo un tubo de cartulina del tamaño de una ampollita potente y usando un papel celofán rojo como filtro.) Luego interpongamos un objeto, por ejemplo la mano, y miremos las sombras que se proyectan sobre una muralla. ¡Una de las sombras de la mano aparece azul-verdosa! El lector puede experimentar usando diferentes papeles de colores transparentes frente a las lámparas y diferentes intensidades de luz.

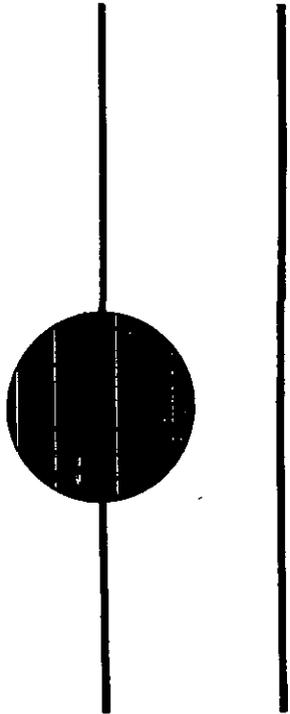
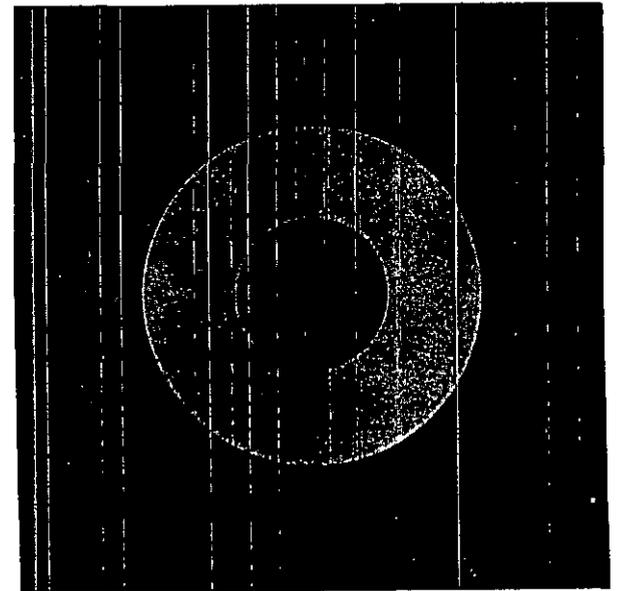
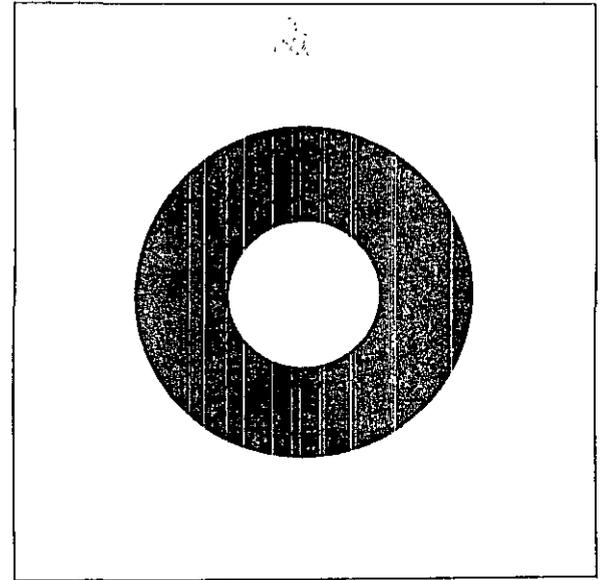


Fig. 2—Experiencia del punto ciego

Fig. 3—Página siguiente los dos círculos han sido impresos con una tinta idéntica. Sin embargo, el de abajo se ve rosado por su entorno verde. Moraleja: el color no es una propiedad de las cosas, es inseparable de cómo estamos constituidos para verlo.



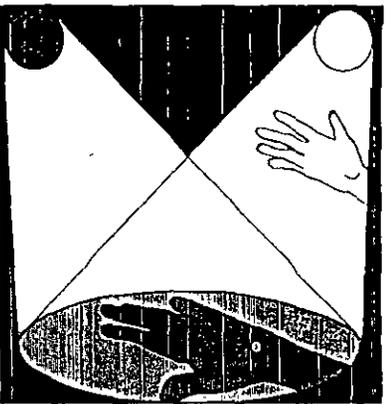
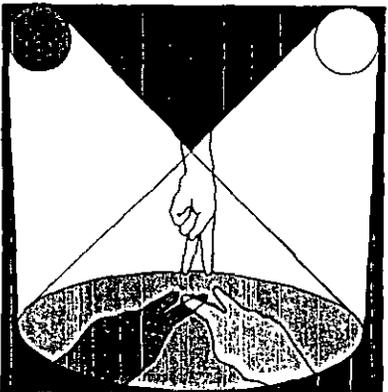
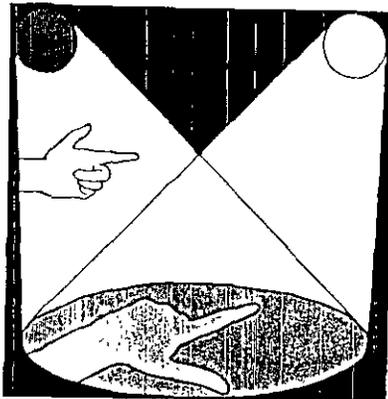


Fig. 4 —Sombras de colores.

La situación aquí es tan sorprendente como en el caso del punto ciego. ¿De dónde sale un color azul-verdoso cuando todo lo que se espera es blanco, rojo y de mezclas blanco con rojo (rosado)? Estamos acostumbrados a pensar que el color es una cualidad de los objetos y de la luz que de ellos se refleja. Así, si veo verde debe ser porque llega a mi ojo luz verde, es decir, luz de una cierta longitud de onda. Ahora, si tomamos un aparato para medir la composición de la luz en esta situación nos vamos a encontrar con que de hecho no hay un predominio de longitudes de ondas llamadas verdes o azules en la sombra que vemos verde-azul, y hallamos sólo la distribución propia de la luz blanca. Nuestra experiencia del verde-azul es para cada uno de nosotros, sin embargo, innegable.

Este hermoso fenómeno de las llamadas sombras de colores fue descrito por primera vez por Otto von Guericke en 1672, al notar que su dedo se ponía azul cuando hacía sombra entre su lámpara y el sol nascente. Habitualmente, puesta ante este fenómeno (y otros parecidos) la gente dice: «Bueno, pero ¿de qué color es *realmente?*», como si la respuesta que nos da el instrumento de medir longitudes de onda fuera la última respuesta. De hecho, este simple experimento no nos revela una situación aislada que pudiera (como se hace a menudo) llamarse marginal o ilusoria. Nuestra experiencia de un mundo de objetos de colores es literalmente independiente de la composición en longitudes de onda de la luz proveniente de cada escena que miramos. En efecto, si llevo una naranja del interior de mi casa al patio, la naranja sigue siendo del mismo color; sin embargo, en el interior de la casa era iluminada, por ejemplo, por luz fluorescente que tiene una gran cantidad de longitud de onda llamada azul (o corta); en cambio, el sol tiene predominancia de longitudes de ondas llamadas rojas (o largas). No hay modo de poner en correspondencia la tremenda estabilidad de los colores con que vemos los objetos del mundo con la luz que viene de ellos. La explicación de cómo vemos los colores no es sencilla, y no podemos intentarla aquí en sus detalles. Pero lo esencial es que para explicarlo debemos dejar de pensar en que el color de los objetos que vemos está determinado por las características de luz que nos llegue de ellos, y debemos, en cambio, concentrarnos en comprender cómo la experiencia de un color corresponde a una configuración específica de estados de actividad en el sistema nervioso que su estructura de-

termina. De hecho, aunque no lo hagamos aquí en este momento, es posible demostrar que debido a que tales estados de actividad neuronal (como en el ver verde) pueden ser gatillados* por una variedad de perturbaciones luminosas distintas (como las que hacen posible ver las sombras de colores), es por lo que es correlacionar el nombrar colores con estados de actividad neuronal, pero no con longitudes de onda. Qué estados de actividad neuronal son gatillados por las distintas perturbaciones está determinado en cada persona por su estructura individual y no por las características del agente perturbante.

Lo dicho es válido para todas las dimensiones de la experiencia visual (movimiento, textura, forma y demás), así como para cualquier otra modalidad perceptual. Podríamos ofrecer situaciones similares que nos revelan, de un solo golpe, que lo que tomábamos como una simple captación de algo (tal como espacio o color) tiene la estampa indeleble de nuestra propia estructura. Tendremos que contentarnos aquí sólo con las observaciones anteriores, y confiar que el lector verdaderamente las ha hecho, y que, por tanto, podemos contar con que está fresco en su experiencia el haber encontrado algo resbaladizo en lo que estaba habituado a encontrar algo muy sólido.

De hecho estas experiencias —o muchas otras similares— contienen de una manera capsular todo el sabor esencial de lo que queremos decir. Porque nos están mostrando de qué manera nuestra experiencia está amarrada a nuestra estructura de una forma indisoluble. No vemos el «espacio» del mundo, vivimos nuestro campo visual; no vemos los «colores» del mundo, vivimos nuestro espacio cromático. Sin lugar a dudas, y como de alguna manera vamos a descubrir a lo largo de estas páginas, estamos en un mundo. Pero cuando examinemos más de cerca cómo es que llegamos a conocer ese mundo, siempre nos encontraremos con que no podemos separar nuestra historia de acciones —biológicas y sociales— de cómo nos aparece ese mundo. Es tan obvio y cercano que es lo más difícil de ver.

* Con la expresión «gatillar» un efecto, los autores hacen referencia a que los cambios que resultan de la interacción entre ser vivo y medio son *desencadenados* por el agente perturbante y *determinados* por la estructura de lo perturbado.

EL GRAN ESCANDALO

Hay en el zoológico del Bronx en Nueva York un gran pabellón especialmente dedicado a los primates. Uno puede encontrar así la posibilidad de ver en buenas condiciones a los chimpancés, gorilas, gibones y tantos otros monos del nuevo y del viejo mundo. Llama la atención, sin embargo, que al fondo hay una jaula especialmente separada, cerrada con gruesos barrotes. Al acercarse uno ve un título que dice: «El primate más peligroso del planeta.» Al mirar entre los barrotes uno ve con sorpresa su propia cara: aclara la leyenda que el hombre ha matado a más especies sobre el planeta que ninguna otra especie conocida. De ser miradores pasamos a ser los mirados (por nosotros mismos), pero ¿qué vemos?

El momento de la reflexión ante un espejo es siempre un momento muy peculiar porque es el momento en que podemos tomar conciencia de lo que, de nosotros mismos, no nos es posible ver de ninguna otra manera. Como cuando revelamos el punto ciego que nos muestra nuestra propia estructura, y como cuando suprimimos la ceguera que ella conlleva rellenando el vacío. La reflexión es un proceso de conocer cómo conocemos, un acto de volvernos sobre nosotros mismos, la única oportunidad que tenemos de descubrir nuestras cegueras y de reconocer que las certidumbres y los conocimientos de los otros son, respectivamente, tan abrumadoras y tan tenues como los nuestros.

Esta situación especial de conocer cómo se conoce resulta tradicionalmente elusiva para nuestra cultura occidental centrada en la acción y no en la reflexión, de modo que nuestra vida personal es, en general, ciega a sí misma. En alguna parte pareciera haber un tabú: «Prohibido conocer el conocer.» Pero en verdad el no saber cómo se constituye nuestro mundo de experiencias, que es de hecho lo más cercano de nuestra existencia, es un escándalo. Hay muchos escándalos en el mundo, pero esta ignorancia es uno de los peores.

Quizá una de las razones por las que se tiende a evitar tocar las bases de nuestro conocer es que nos da una sensación un poco vertiginosa por la circularidad de lo que resulta ser utilizar el instrumento de análisis para analizar el instrumento de análisis: es como si pretendiésemos que un ojo se viese a sí mismo. En la figura 5, que es un grabado del artista holandés M. C. Escher, este

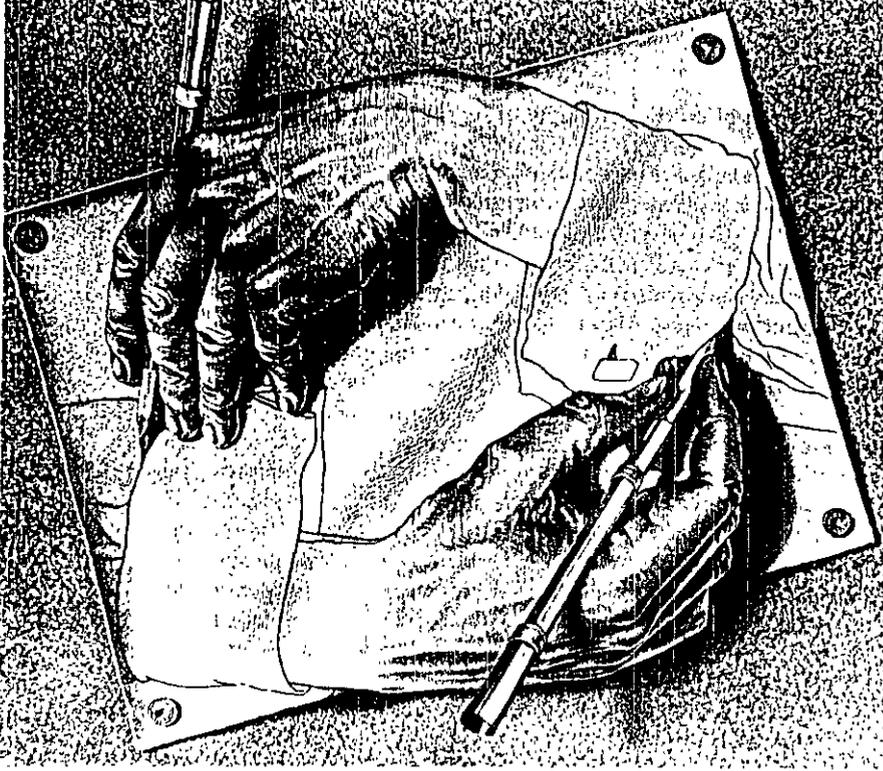


Fig. 5 —Manos que dibujan, de M. C. Escher

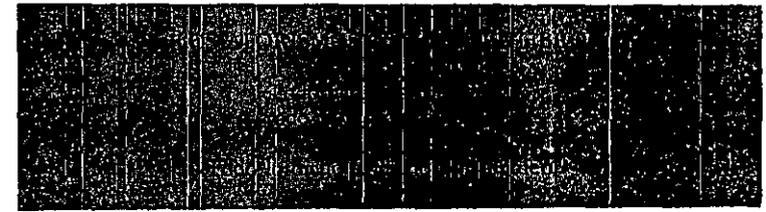
vértigo está representado muy nítidamente, con esas manos que se dibujan mutuamente de tal modo que nunca se sabe dónde está el fundamento de todo el proceso: ¿cuál es la mano «verdadera»?

De manera parecida, a cómo vimos que los procesos involucrados en nuestras actividades, en nuestra constitución, en nuestro actuar como seres vivos constituyen nuestro conocer, nos proponemos investigar cómo conocemos a través de mirar esos sucesos con esos procesos. Pero no tenemos alternativa alguna porque hay una inseparabilidad entre lo que hacemos y nuestra experiencia del mundo con sus regularidades: sus plazas, sus niños y sus guerras atómicas. Lo que sí podemos intentar —y el lector debe tomarlo como una tarea personal— es darnos cuenta de todo lo que implica esta coincidencia continua de nuestro ser, nuestro hacer y nuestro conocer, dejando de lado nuestra actitud

cotidiana de tratar a nuestra experiencia con un sello de indubitable, como si reflejara un mundo absoluto.

Por esto estará, en la base de todo lo que vamos a decir, este constante darse cuenta de que el fenómeno del conocer no puede ser tomado como si hubiera «hechos» u objetos allá afuera, que uno capta y se los mete en la cabeza. La experiencia de cualquier cosa allá afuera es validada de manera particular por la estructura humana que hace posible «la cosa» que surge en la descripción.

Esta circularidad, este encadenamiento entre acción y experiencia, esta inseparabilidad entre ser de una manera particular y como el mundo nos aparece, nos dice que *todo acto de conocer trae un mundo a la mano*. Esta característica del conocer será, inevitablemente, a la vez que nuestro problema, nuestro punto de partida y el hilo directriz de toda nuestra presentación en las próximas páginas. Todo esto puede condensarse en el aforismo: *Todo hacer es conocer y todo conocer es hacer*.



Cuando hablamos aquí de acción y experiencia, sería un error mirarlo como aquello que ocurre sólo en relación con el mundo que nos rodea, en el plano puramente «físico». Esta característica del hacer humano se aplica a todas las dimensiones de nuestro vivir. En particular, se aplica a lo que estamos haciendo aquí y ahora, el lector y nosotros. ¿Y qué estamos haciendo? Estamos en el lenguaje, moviéndonos en él en una peculiar forma de conversación en un diálogo imaginado. Toda reflexión, incluyendo una sobre los fundamentos del conocer humano, se da necesariamente en el lenguaje que es nuestra peculiar forma de ser humanos y estar en el hacer humano. Por esto, el lenguaje es también nuestro punto de partida, nuestro instrumento cognoscitivo y nuestro problema. El no olvidar que la circularidad entre acción y experiencia se aplica también a aquello que estamos haciendo aquí y ahora es muy importante, y tiene consecuencias claves, como el lector verá

más adelante. No debemos olvidarlo nunca, y con ese fin resumiremos todo esto en un segundo aforismo que debemos mantener presente a lo largo de este libro: *Todo lo dicho es dicho por alguien*. Toda reflexión trae un mundo a la mano, y, como tal, es un hacer humano por alguien en particular en un lugar particular.

Estos dos aforismos debieran ser como dos faros que nos recuerden siempre desde dónde partimos y hacia dónde vamos.

Lo más corriente es que a este traer a la mano del conocer se lo trate como dificultad, error o residuo explicativo que hay que erradicar. De ahí, por ejemplo, que se diga que la sombra de color es una «ilusión óptica» y que «en realidad» no hay color. Lo que nosotros estamos diciendo es justamente lo opuesto: ese carácter del conocer es la clave maestra para entenderlo, no un residuo molesto o un obstáculo. El traer a la mano es lo palpitante del conocimiento, y está asociado a las raíces más hondas de nuestro ser cognoscitivo, cualquiera que sea la solidez de nuestra experiencia. Y es porque estas raíces van hasta la base biológica misma —como veremos— que este traer a la mano se manifiesta en *todas* nuestras acciones y todo nuestro ser. Por cierto, se manifiesta en todas aquellas acciones de la vida social humana donde nos es a menudo evidente, como en el caso de los valores y las preferencias. No hay una discontinuidad entre lo social y humano y sus raíces biológicas. El fenómeno del conocer es todo de una sola pieza, y en sus ámbitos está fundado de la misma manera.

EXPLICACION

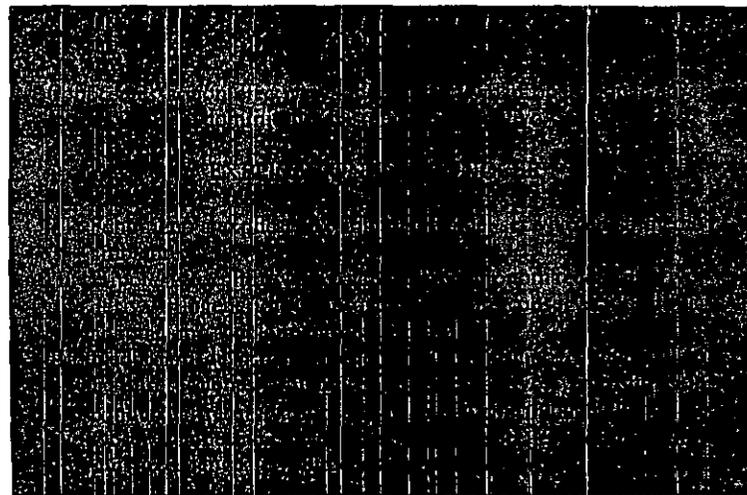
Nuestro objetivo está entonces claro: queremos examinar el fenómeno del conocer tomando la universalidad del hacer en el conocer, este traer a la mano un mundo, como problema y punto de partida, de modo que podamos revelar su fundamento. ¿Y cuál será nuestro criterio para decir que hemos tenido éxito en nuestro examen?

Una explicación siempre es una proposición que reformula o recrea las observaciones de un fenómeno en un sistema de conceptos aceptables para un grupo de personas que comparten un criterio de validación. La magia, por ejemplo, es tan explicativa para los que la aceptan como la ciencia para los que la aceptan. La diferencia específica entre la explicación mágica y la científica

está en el modo cómo se genera un sistema explicativo científico, el cual constituye de hecho su criterio de validación. Así podemos distinguir esencialmente cuatro condiciones que deben ser satisfechas en la proposición de una explicación científica, las que no necesariamente ocurren secuencialmente, sino en algún orden imbricado:

- a) Descripción del o de los fenómenos a explicar de una manera aceptable para la comunidad de observadores.
- b) Proposición de un sistema conceptual capaz de generar el fenómeno a explicar de una manera aceptable para la comunidad de observadores (hipótesis explicativa).
- c) Deducción a partir de *b* de otros fenómenos no considerados explícitamente en su proposición, así como la descripción de sus condiciones de observación en la comunidad de observadores.
- d) Observación de estos otros fenómenos deducidos de *b*.

Sólo si se satisface este criterio de validación, una explicación es una explicación científica, y una afirmación es una afirmación científica sólo si se funda en explicaciones científicas.



Este ciclo de cuatro componentes no es extraño a nuestro pensar cotidiano; a menudo lo usamos para dar explicaciones de fenómenos tan variados como la avería del auto o las elecciones presidenciales. Lo que los científicos hacen es intentar ser plenamente consistentes y explícitos con cada uno de los pasos y dejar un registro documentado, de tal manera que se crea una tradición que va más allá de una persona o una generación.

Nuestra situación es exactamente la misma. Estamos convertidos, el lector y nosotros, en observadores que hacemos descripciones. Y como observadores hemos escogido, precisamente, el conocer como nuestro fenómeno a explicar. Más aún, lo que hemos dicho hace evidente cuál va a ser nuestra descripción de partida del fenómeno del conocer: ya que todo conocer trae un mundo a la mano, nuestro punto de partida será, necesariamente, la efectividad operacional del ser vivo en su dominio de existencia. En otras palabras, nuestro punto de partida para generar una explicación validable científicamente es el entender el conocer como *acción efectiva*, acción que permita a un ser vivo continuar su existencia en un medio determinado al traer allí su mundo a la mano. Ni más, ni menos.

¿Y cómo sabremos cuándo hemos logrado una explicación satisfactoria del fenómeno del conocer? Bueno, el lector podrá, a estas alturas, imaginar la respuesta: cuando hayamos propuesto un sistema conceptual capaz de *generar* el fenómeno cognoscitivo como resultado del operar del ser vivo, y hayamos mostrado que tal proceso puede resultar en seres vivos como nosotros, capaces de generar descripciones y reflexionar sobre ellas como resultado de su realizarse como seres vivos al operar efectivamente en sus dominios de existencia. Desde esta proposición explicativa habremos de ver cómo es que pueden generarse todas las dimensiones del conocer que nos son familiares.

Tal es el itinerario que proponemos al lector en estas páginas. A lo largo de los capítulos que siguen iremos desarrollando tanto esta proposición explicativa como su conexión con varios fenómenos adicionales tales como la comunicación y el lenguaje. Al final de este viaje podrá el lector volver a leer estas páginas, y evaluar la fertilidad de aceptar nuestra invitación de mirar así el fenómeno del conocer.

Capítulo II

LA ORGANIZACION DE LO VIVO

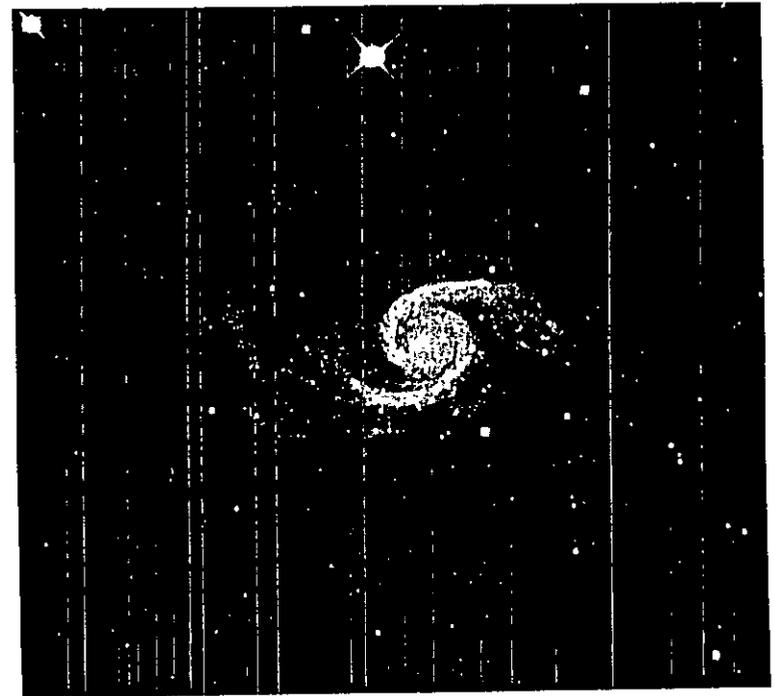
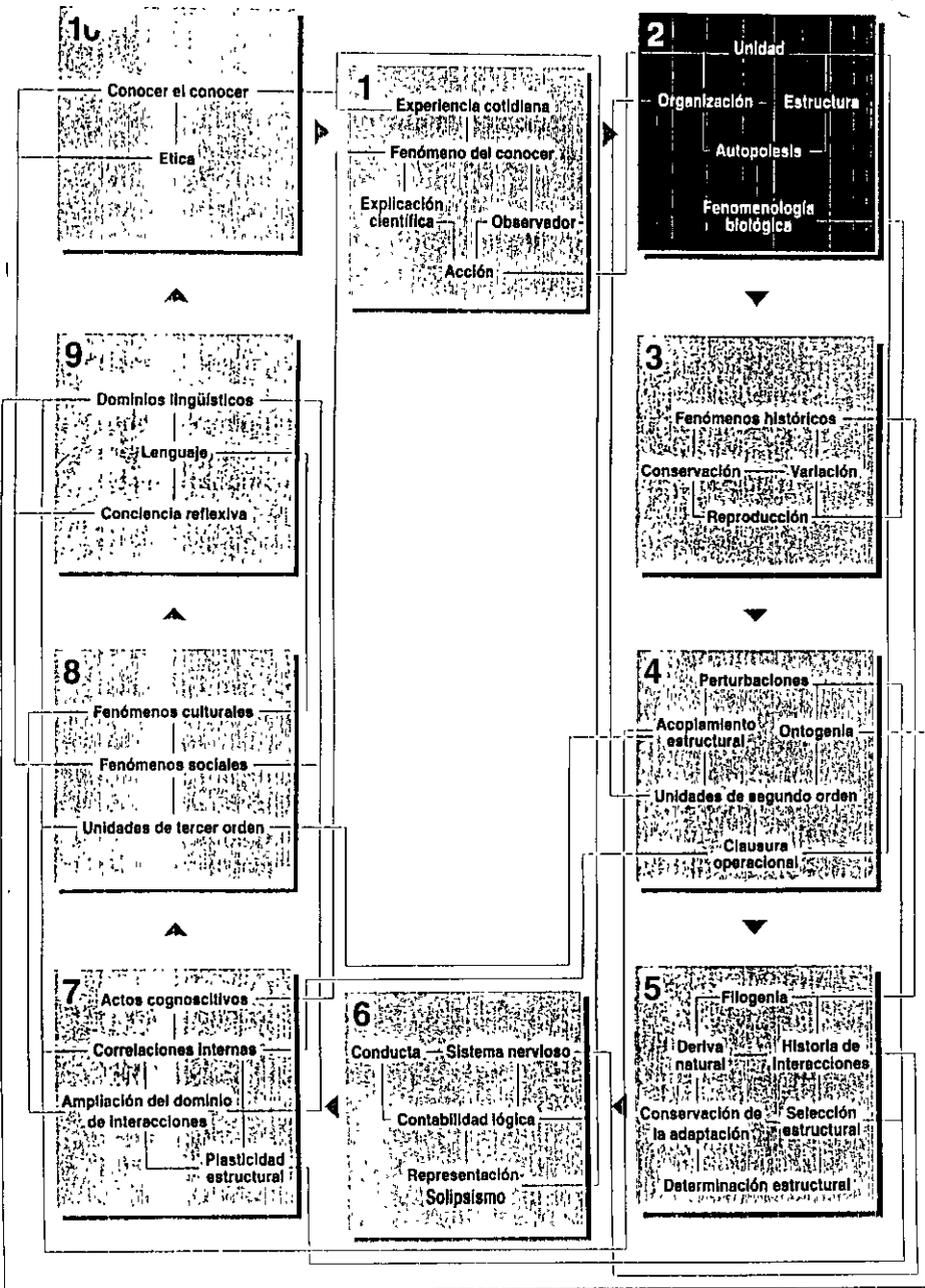


Fig 6—Espiral nebulosa NGC 1566 en la constelación Dorado.

Nuestro punto de partida ha sido darnos cuenta que todo conocer es un hacer por el que conoce, es decir, que todo conocer depende de la estructura del que conoce. Y este punto de partida da la pista de lo que será nuestro itinerario conceptual a lo largo de estas páginas: ¿cómo se da este traer a la mano del conocer en el hacer?, ¿cuáles son sus raíces y sus mecanismos para que así opere?

Frente a estas preguntas, el primer paso de nuestro itinerario es el siguiente: el que el conocer sea el hacer del que conoce está enraizado en la manera misma de su *ser vivo*, en su *organización*. Nosotros sostenemos que no se pueden entender las bases biológicas del conocer sólo a través del examen del sistema nervioso, y nos parece que es necesario entender cómo estos procesos se enraizan en el ser vivo en su totalidad.

En consecuencia, en este capítulo vamos a entrar a discutir algunas cosas que tienen que ver con la organización de lo vivo. Notemos que esta discusión no es un adorno biológico, o una especie de relleno académicamente necesario para los que no tienen una formación biológica. Es en este libro una pieza fundamental para entender el fenómeno del conocimiento en toda su dimensión.

BREVE HISTORIA DE LA TIERRA

Para emprender los primeros pasos en lo que se refiere a la comprensión de la organización del ser vivo, veremos primero cómo su *materialidad* nos puede servir como guía para llegar a comprender cuál es su clave fundamental. Vamos a hacer un viaje por algunos hitos de transformación material que hacen posible la *aparición* de los seres vivos.

En la figura 6 se puede admirar la galaxia llamada NGC 1566, de la constelación Dorado, conocida popularmente como la galaxia sombrero. Además de su belleza, tiene para nosotros un interés especial: nuestra propia galaxia, la vía láctea, nos parecería de una forma muy parecida si pudiéramos verla desde lejos. Como no podemos, debemos contentarnos con un diagrama como el de la figura 7, que incluye algunas dimensiones del espacio estelar y de las estrellas, que, comparadas con las nuestras, nos hacen sentir humildad. Las unidades de la escala están en kiloparsec, y cada

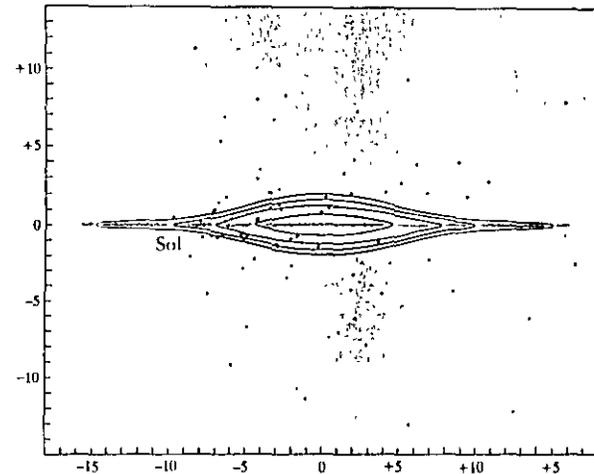


Fig. 7 — Distancias en la vía láctea y ubicación de nuestro sol en ella

uno de ellos son 3.260 años luz. Dentro de la vía láctea nuestro sistema solar tiene una posición más bien periférica como a 8 kiloparsec del centro.

Nuestro Sol es una entre los varios millones de otras estrellas que conforman estas estructuras multifacéticas que son las galaxias. ¿Cómo se originaron las estrellas? Una reconstrucción propuesta de esta historia es la siguiente.

El espacio interestelar contiene enormes cantidades de hidrógeno. Turbulencias en estas masas gaseosas producen condensaciones de gases a alta densidad, ilustradas en la primera etapa de la figura 8. En este estado, algo muy interesante comienza a pasar: se produce un equilibrio entre la tendencia a la cohesión por la gravedad y la tendencia a la irradiación producto de reacciones termonucleares al interior de la estrella en formación. Esta irradiación visible desde el exterior nos permite ver las estrellas como las vemos en el cielo, aun a grandes distancias.

Cuando se equilibran ambos procesos, la estrella entra en lo que se llama su «secuencia principal» (fig. 8), vale decir, su curso de vida como estrella individual. Durante este período la materia que ha sido condensada es gradualmente consumida en reacciones termonucleares durante un período de alrededor de ocho mil mi-

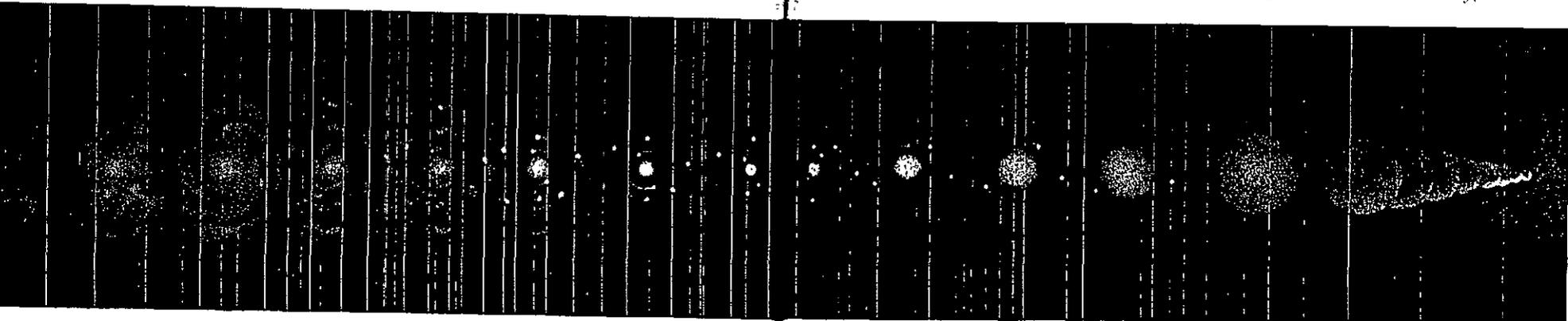


Fig. 8 — Esquema de la secuencia de transformaciones de una estrella desde su formación.

lones de años. Al consumirse una fracción del hidrógeno condensado, la secuencia principal termina en un proceso de transformaciones más dramáticas. Primero la estrella se convierte en un gigante rojo, luego en una estrella que pulsa y, finalmente, transformándose en una super-nova, explota en un verdadero estornudo cósmico en el que se forman los elementos pesados. Lo que queda de materia en el centro de la estrella se colapsa en una estrella más pequeña de densidad muy alta llamada una enana blanca.

Nuestro Sol está en un punto más o menos en el medio de su secuencia principal, y se espera que siga irradiando por, al menos, tres mil millones de años más, antes de consumirse. Ahora bien, en muchos casos durante esta transformación de una estrella ésta agrupa a su alrededor un halo de materia que gira en torno a ella y que ella capta del espacio interestelar, pero que depende energéticamente del curso de transformaciones de la estrella. La Tierra y los otros planetas de nuestro sistema planetario son de este tipo y deben haber sido captados como remanentes de la explosión de una super-nova a juzgar por su riqueza en átomos de alto peso.

Según los geofísicos, la tierra tiene, al menos, cinco mil millones de años y una historia de incesante transformación. Si fuéramos visitantes de hace cuatro mil millones de años y nos paseáramos sobre la superficie de la Tierra, nos encontraríamos con

una atmósfera constituida por gases como metano, amonio, hidrógeno y helio. Ciertamente una atmósfera muy distinta a la que conocemos hoy. Distinta, entre otras cosas, por estar constantemente sometida a un bombardeo energético de radiaciones ultravioletas, rayos gamma, descargas eléctricas, impactos meteóricos y explosiones volcánicas. Todos estos aportes energéticos produjeron (y continúan produciendo) en la tierra primitiva y su atmósfera una continua diversificación de las especies moleculares. Al comienzo de la historia de la estrella había, fundamentalmente, homogeneidad molecular. Después de la formación de los planetas, en un continuo proceso de transformación química, se ha producido una gran diversidad de especies moleculares, tanto en la atmósfera como en la superficie de la corteza terrestre.

Sin embargo, dentro de esta compleja y continua historia de transformaciones moleculares, es particularmente interesante para nosotros el momento en que se acumulan y diversifican las moléculas formadas por cadenas de carbono o *moléculas orgánicas*. Debido a que los átomos de carbono pueden formar, solos y con la participación de muchas otras clases de átomos, una cantidad ilimitada de cadenas distintas en su tamaño, ramificación, plegamiento y composición, la diversidad morfológica y química de las moléculas orgánicas es, en principio, infinita. Y es, precisamente, esta diversidad morfológica y química de las moléculas orgánicas lo que hace posible la existencia de seres vivos al permitir la diversidad de reacciones moleculares involucradas en los procesos que los realizan. Esto lo veremos más adelante. Entre

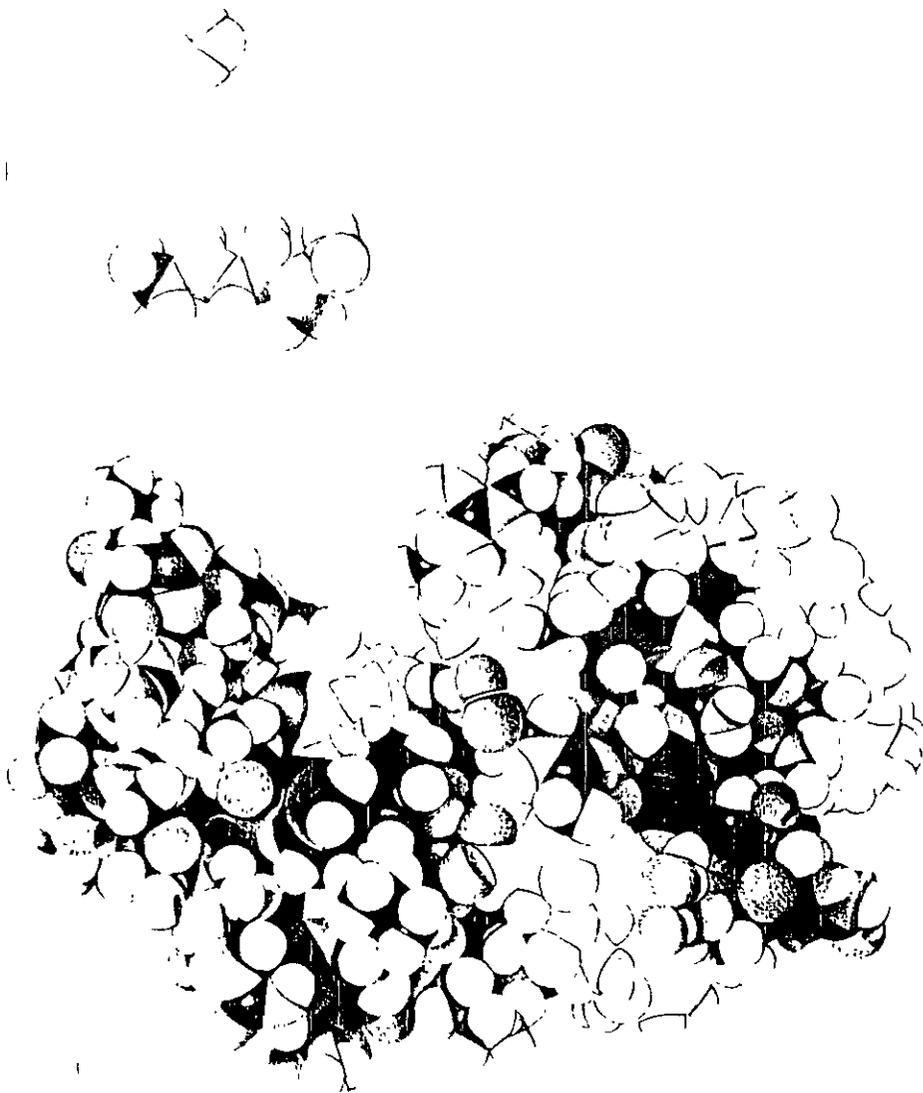


Fig 9 — Comparación a escala de modelos moleculares del agua (arriba), un aminoácido (lisisma, al centro) y una proteína (la enzima ribonucleasa; abajo).

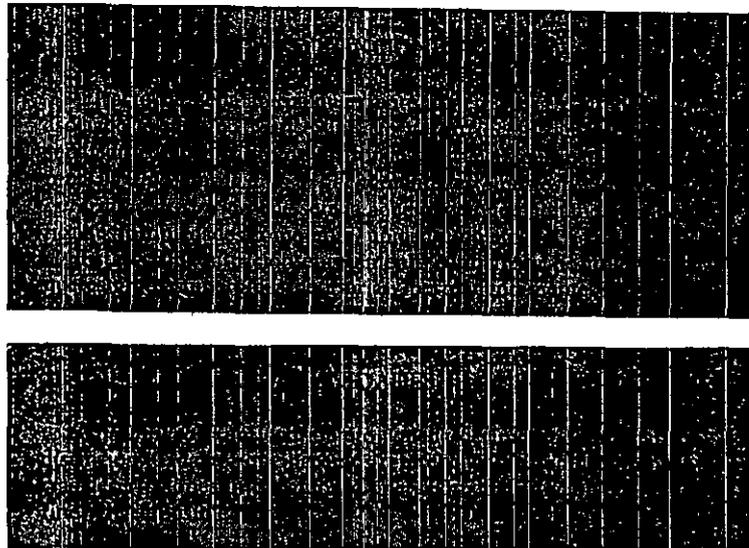
tanto, podemos decir que quien se pasease por la tierra primitiva vería la continua producción abiógena (sin la participación de seres vivos) de moléculas orgánicas tanto en la atmósfera como en los mares agitados como verdaderas sopas de reacciones moleculares. Algo de esta diversidad se muestra en la figura 9, donde se ve una molécula de agua que sólo tiene formas muy limitadas de asociación, en comparación con algunas moléculas orgánicas.

APARICION DE LOS SERES VIVOS

Cuando las transformaciones moleculares en los mares de la tierra primitiva llegaron a este punto, se llegó también a la situación en la que era posible la formación de sistemas de reacciones moleculares de un tipo peculiar. Esto es: debido a la diversificación y plasticidad posible en la familia de moléculas orgánicas se hace, a su vez, posible la formación de redes de reacciones moleculares que producen a las mismas clases de moléculas que las integran, y que limitan el entorno espacial en que se realizan. Tales redes e interacciones moleculares que se producen a sí mismas y especifican sus propios límites son, como veremos más adelante, seres vivos.

En la figura 10 se muestran fotos tomadas al microscopio electrónico de este tipo de agrupaciones moleculares así formadas hace más de tres mil cuatrocientos millones de años. Se han encontrado todavía pocos casos de este tipo, pero los hay. Hay otros ejemplos encontrados en depósitos fósiles más recientes desde el punto de vista geológico: menos de dos mil millones de años. Los investigadores han clasificado a estas agrupaciones moleculares como los primeros seres vivos fósiles y, en realidad, como fósiles de seres vivos que existen hasta el día de hoy: las bacterias y algas.

Ahora bien, esa afirmación: «Eso es un ser vivo fósil» es muy interesante y conviene examinarla de cerca. ¿Qué le permite a un investigador decir eso? Vamos paso a paso. En primer lugar fue necesario hacer una observación y decir aquí hay un algo, unos globulitos a los cuales se les puede ver el perfil bajo el microscopio. En segundo lugar, se observa que esas unidades así señaladas se parecen, en lo morfológico, a seres vivos que existen actualmente. Como hay evidencia convincente de que tal apariencia es



peculiar a los seres vivos, y que estos depósitos datan de una fecha compatible con la historia de transformaciones de la corteza y atmósfera terrestres que tiene que haber estado asociada a procesos propios de los seres vivos que conocemos, la conclusión es que son seres vivos fósiles.

Es decir, el investigador está en el fondo proponiendo un criterio que dice: los seres vivos que había antes tienen que parecerse (en este caso en lo morfológico) a los seres vivos actuales. Esto implica que uno tiene que tener, aunque sea implícito, algún criterio para saber y clasificar cuándo un ente o sistema actual es un ser vivo y cuándo no.

Esto nos deja con un problema difícil: ¿Cómo sé yo cuando un ser es vivo? ¿Cuáles son mis criterios? A lo largo de la historia de la biología se han propuesto muchos criterios, todos ellos con dificultades. Por ejemplo, algunos han propuesto que debiera ser la composición química. O bien la capacidad de movimiento. O bien, la reproducción. O en fin, alguna combinación de tales criterios, es decir, una lista de propiedades. Pero ¿cómo sabemos cuándo está la lista completa? Por ejemplo, si se construye una máquina capaz de reproducirse, pero que está hecha de hierro y plástico, no de moléculas orgánicas, ¿está viva?

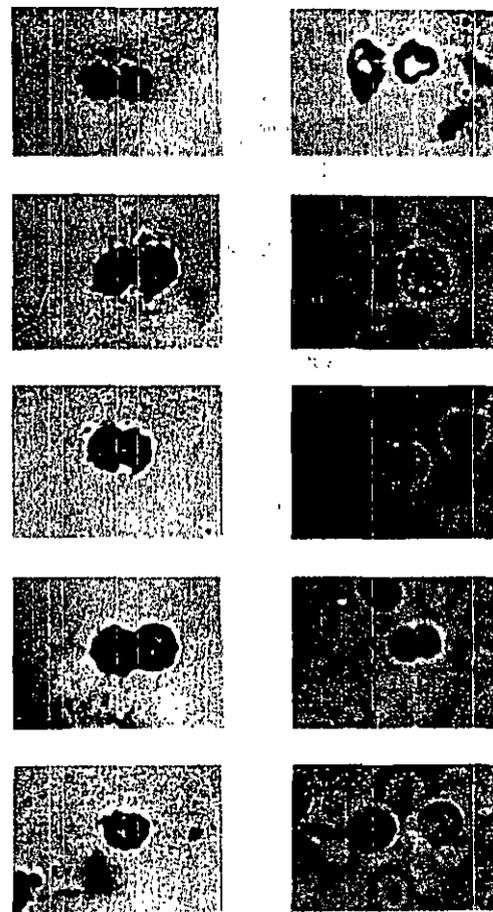


Fig 10 — A la izquierda: Fotografía de fósiles de lo que se presume fueron bacterias encontradas en depósitos de más de tres mil millones de años. A la derecha: Fotografías de bacterias vivientes actuales, cuya forma es comparable a la de los fósiles reproducidos a la izquierda.

Nosotros queremos proponer una respuesta a esta pregunta de una manera radicalmente distinta a esta tradicional enumeración de propiedades, y que simplifica tremendamente el problema. Para entender este cambio de óptica tenemos que darnos

cuenta de que el solo hecho de que nos hagamos la pregunta de cómo se reconoce a un ser vivo indica que tenemos una idea, aún implícita, de cuál es su *organización*, y es esta idea la que va a determinar el que aceptemos o rechacemos la respuesta que se nos proponga. Para evitar que una tal idea implícita sea una trampa que nos ciega debemos ser conscientes de ello al considerar la respuesta que sigue.

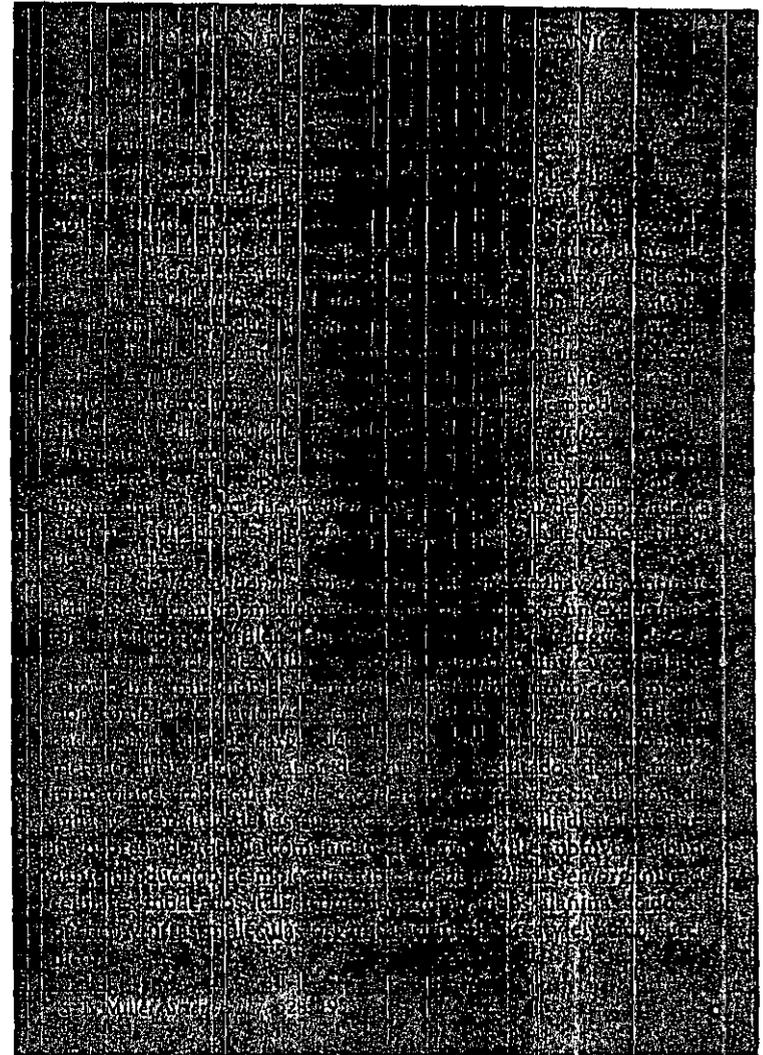
¿Qué es la organización de algo? Es a la vez muy sencillo y potencialmente complicado. Son aquellas relaciones que tienen que existir o tienen que darse para que ese algo sea. Para que yo juzgue a este objeto como silla es necesario que yo reconozca que ciertas relaciones se dan entre partes que llamo patas, respaldo, asiento, de una cierta manera tal que el sentarse se haga posible. El que sea de madera, con clavos, o de plástico y tornillos, es enteramente irrelevante para que yo lo califique o clasifique como silla. Esta situación, en la que reconocemos implícita o explícitamente la organización de un objeto al señalarlo o distinguirlo, es universal en el sentido de que es algo que hacemos constantemente como un acto cognoscitivo básico que consiste nada menos y nada más que en generar clases de cualquier tipo. Así, la clase de las sillas quedará definida por las relaciones que deben satisfacerse para que yo clasifique algo como silla. La clase de los actos buenos quedará definida por los criterios que yo establezca que deben darse entre las acciones realizadas y sus consecuencias para considerarlas como buenas.

Es sencillo apuntar a una organización determinada al señalar los objetos que forman una clase, pero puede ser complejo y difícil describir exactamente y de manera explícita las relaciones que constituyen dicha organización. Así, en la clase de las sillas parece fácil describir la organización «silla», pero no es así con la clase de los actos buenos, a menos que se comparta una cantidad inmensa de trasfondo cultural.

Cuando hablamos de los seres vivos ya estamos suponiendo que hay algo en común entre ellos, de otra manera no los pondríamos dentro de la misma clase que designamos con el nombre: vivo. Lo que no está dicho, sin embargo, es cuál es esa organización que los define como clase. Nuestra proposición es que los seres vivos se caracterizan porque, literalmente, se producen continuamente a sí mismos, lo que indicamos al llamar a la organización que los define organización autopoietica. En lo fundamental

esta organización está dada por ciertas relaciones que entramos a detallar y que veremos más fácilmente a nivel celular.

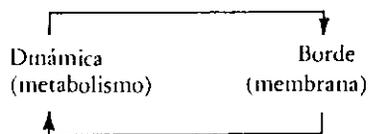
En primer lugar, los componentes moleculares de una unidad autopoietica celular deberán estar dinámicamente relacionados en una continua red de interacciones. A esta red se le conocen hoy



día muchas de sus transformaciones químicas concretas, y el bioquímico colectivamente las llama *metabolismo celular*.

Ahora bien, ¿qué es lo peculiar de esta dinámica celular en comparación con cualquier otra colección de transformaciones moleculares en los procesos naturales? Es muy interesante: este metabolismo celular produce componentes que en su totalidad integran la red de transformaciones que los produjo, y algunos de los cuales conforman un *borde* un límite para esta red de transformaciones. En términos morfológicos, podemos ver a la estructura que hace posible esta fractura en el espacio como una *membrana*. Ahora bien, este borde membranoso no es un producto del metabolismo celular, como es la tela el producto de una máquina de producir telas. La razón de ello es porque esta *membrana* no sólo limita la extensión de la red de transformación que produce sus componentes integrantes, sino porque participa en ella. De no haber esa arquitectura espacial, el metabolismo celular se desintegraría en una sopa molecular que se difundiría por todas partes y no constituiría una unidad discreta como la célula.

Lo que tenemos, entonces, es una situación muy especial en cuanto a las relaciones de transformaciones químicas: por un lado, podemos ver una red de transformaciones dinámicas que produce sus propios componentes y que es la condición de posibilidad de un borde y, por otro, podemos ver un borde que es la condición de posibilidad para el operar de la red de transformaciones que la produjo como una unidad:



Notemos bien que éstos no son procesos secuenciales, sino que son dos aspectos de un fenómeno unitario. No es que primero haya borde y luego dinámica, y luego borde, etc. Estamos hablando de un tipo de fenómeno donde la posibilidad de distinguir un algo del todo (algo que yo puedo ver al microscopio, por ejemplo) depende de la integridad de los procesos que lo hacen posible. ¡Interrumpamos (en algunos puntos) la red metabólica celular y encontraremos que no tenemos, después de un tiempo, más unidad de la que hablar! La característica más peculiar de un

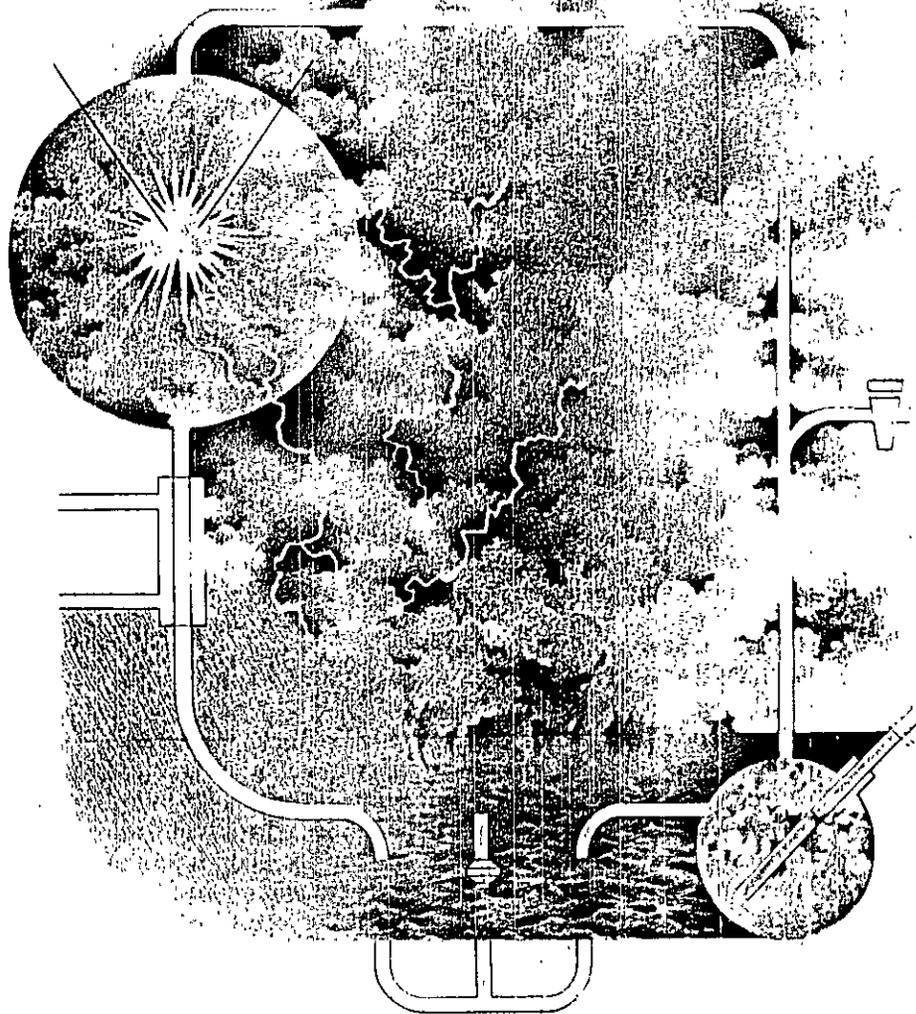
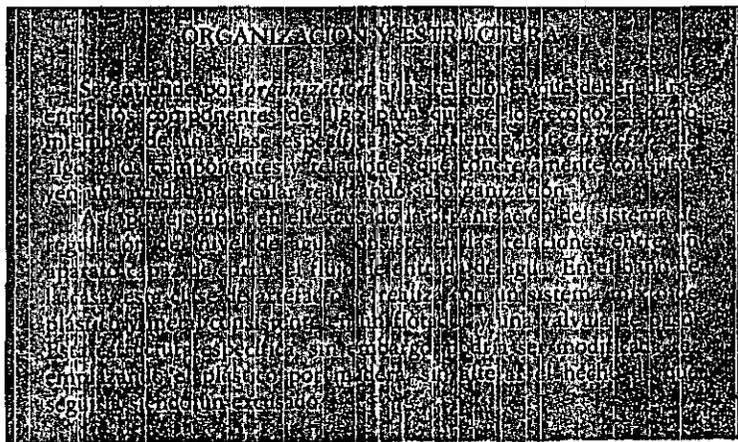


Fig. 11.—El experimento de Miller como metáfora de los sucesos de la atmósfera primitiva.



sistema autopoietico es que se levanta por sus propios límites, constituyéndose como distinto del medio circundante por medio de su propia dinámica, de tal manera que ambas cosas son inseparables.

Lo que caracteriza al ser vivo es su organización autopoietica, y distintos seres vivos se distinguen porque tienen estructuras distintas, pero son iguales en cuanto a organización.

AUTONOMIA Y AUTOPOIESIS

El reconocer que lo que caracteriza a los seres vivos es su organización autopoietica permite relacionar una gran cantidad de datos empíricos sobre el funcionamiento celular y su bioquímica. La noción de autopoiesis, por tanto, no está en contradicción con ese cuerpo de datos, al contrario, se apoya en ellos, y propone, explícitamente, interpretar tales datos desde un punto de vista específico que enfatiza el hecho de que los seres vivos son unidades *autónomas*.

Estamos utilizando la palabra autonomía en su sentido corriente. Vale decir, un sistema es autónomo si es capaz de especificar su propia legalidad, lo que es propio de él. No estamos proponiendo que los seres vivos son los únicos entes autónomos; ciertamente no lo son. Pero es evidente que una de las cosas más

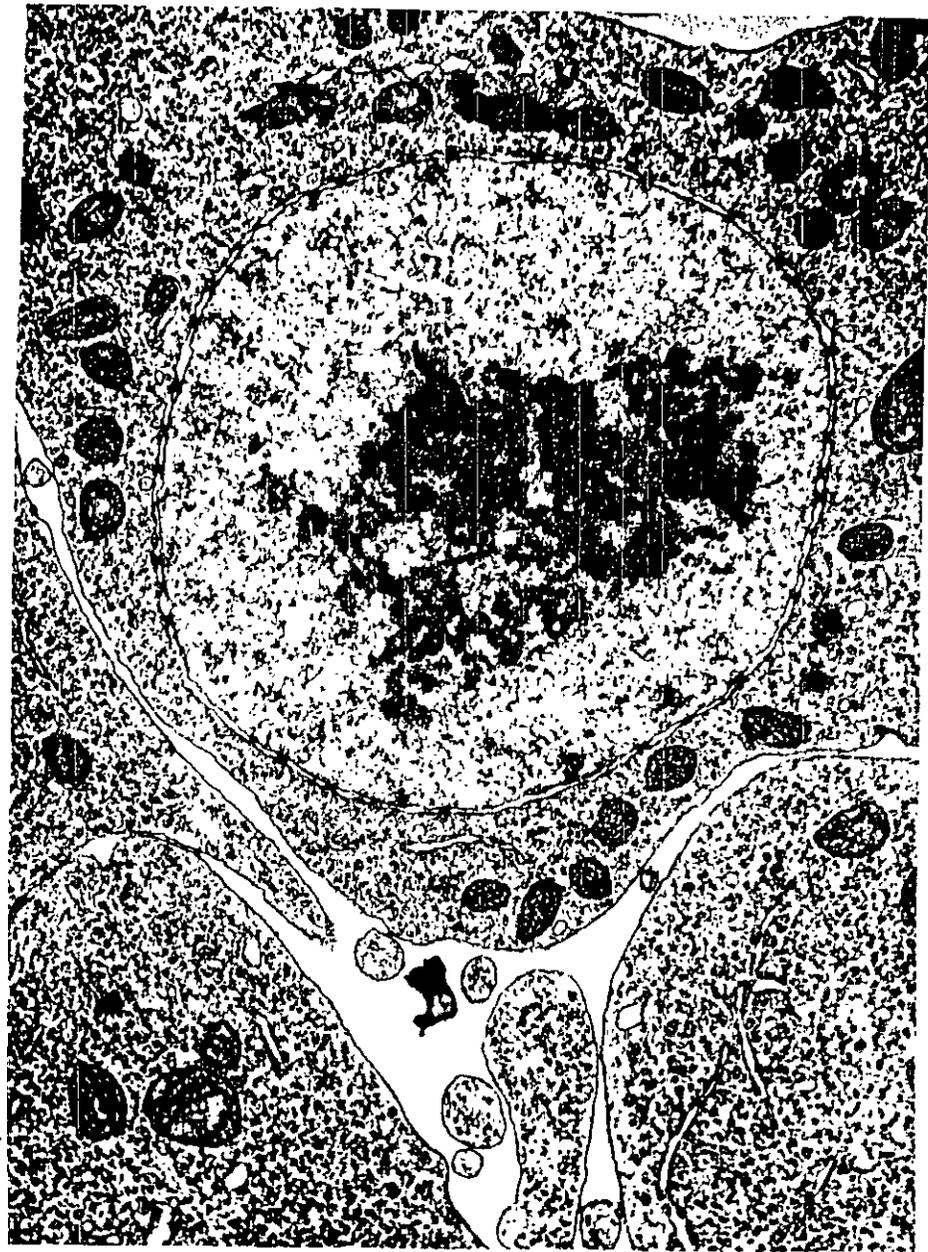
inmediatas propias de un ser vivo es su autonomía. Nosotros proponemos que el modo, el mecanismo que hace de los seres vivos sistemas autónomos, es la autopoiesis que los caracteriza como tales.

La pregunta por la autonomía de lo vivo es tan vieja como la pregunta por lo vivo. Son sólo los biólogos contemporáneos los que se sienten incómodos frente a la pregunta ¿cómo puede comprenderse la autonomía de lo vivo? Desde nuestro punto de vista, en cambio, esa pregunta se transforma en un hilo guía que nos permite ver que para comprender la autonomía del ser vivo debemos comprender la organización que lo define como unidad. Y esto es así porque es el dar cuenta de los seres vivos como unidades autónomas lo que permite mostrar cómo su autonomía usualmente vista como algo misterioso y elusivo se hace explícita al señalar que lo que los define como unidades es su organización autopoietica, y que es en ella que simultáneamente se realizan y especifican a sí mismos.

Nuestro enfoque, entonces, es proceder científicamente: si no podemos dar una lista que caracterice un ser vivo, ¿por qué no proponer un sistema que al operar genere toda su fenomenología? La evidencia de que una unidad autopoietica tiene exactamente esas características se encuentra al mirar todo lo que sabemos sobre metabolismo y estructura celular en su mutua interdependencia.

El que los seres vivos tengan una organización, naturalmente, no es propio de ellos, sino común a todas aquellas cosas que podemos investigar como sistemas. Sin embargo, lo que es peculiar en ellos es que su organización es tal que su único producto son ellos mismos, donde no hay separación entre productor y producto. El ser y el hacer de una unidad autopoietica son inseparables, y esto constituye su modo específico de organización.

La organización autopoietica, como toda organización, puede ser satisfecha en particular por muchas clases diferentes de componentes. Sin embargo, debemos darnos cuenta de que en el ámbito molecular del origen de los seres vivos terrestres sólo algunas especies moleculares deben haber poseído las características que permitieron constituir unidades autopoieticas, iniciando el devenir estructural al que nosotros mismos pertenecemos. Por ejemplo, fue necesario contar con moléculas capaces de formar membranas suficientemente estables y plásticas como para ser, a



la vez, barreras efectivas, y de propiedades cambiantes para la difusión de moléculas e iones por tiempos largos con respecto a las velocidades moleculares. Las moléculas que forman las láminas de mica, por ejemplo, hacen barreras demasiado rígidas en sus propiedades para permitir que ellas participen como tales en unidades dinámicas (células) en continuo y rápido recambio molecular con el medio.

Sólo cuando en la historia de la tierra se dieron las condiciones para la formación de moléculas orgánicas como las proteínas, cuya flexibilidad y posibilidad de complicación es, prácticamente, ilimitada, es cuando se dieron las circunstancias que hicieron posible la formación de unidades autopoiéticas. De hecho podemos suponer que cuando en la historia de la tierra se dieron todas las condiciones suficientes, la formación de los sistemas autopoiéticos ocurrió de manera inevitable.

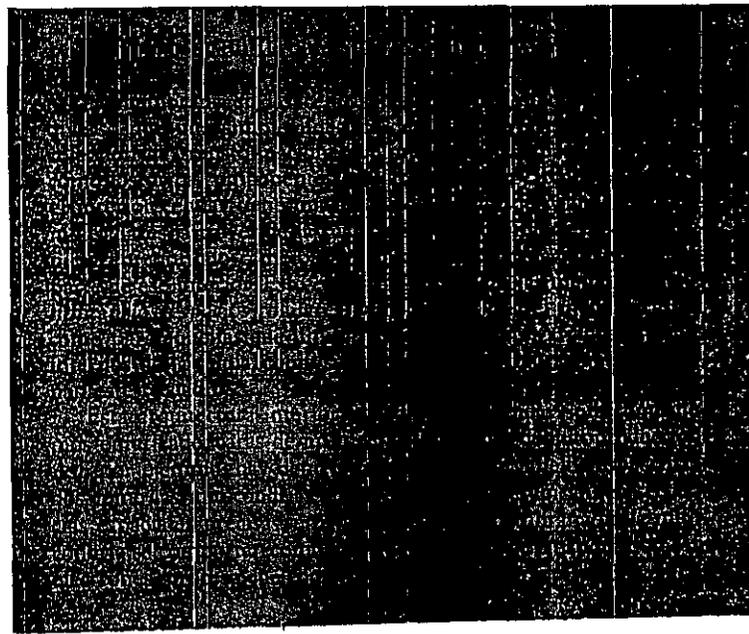


Fig. 12.—Fotografía tomada al microscopio electrónico de un corte de una célula de sanguíuela que muestra membranas y componentes intracelulares (aumentada aproximadamente 20.000 veces)

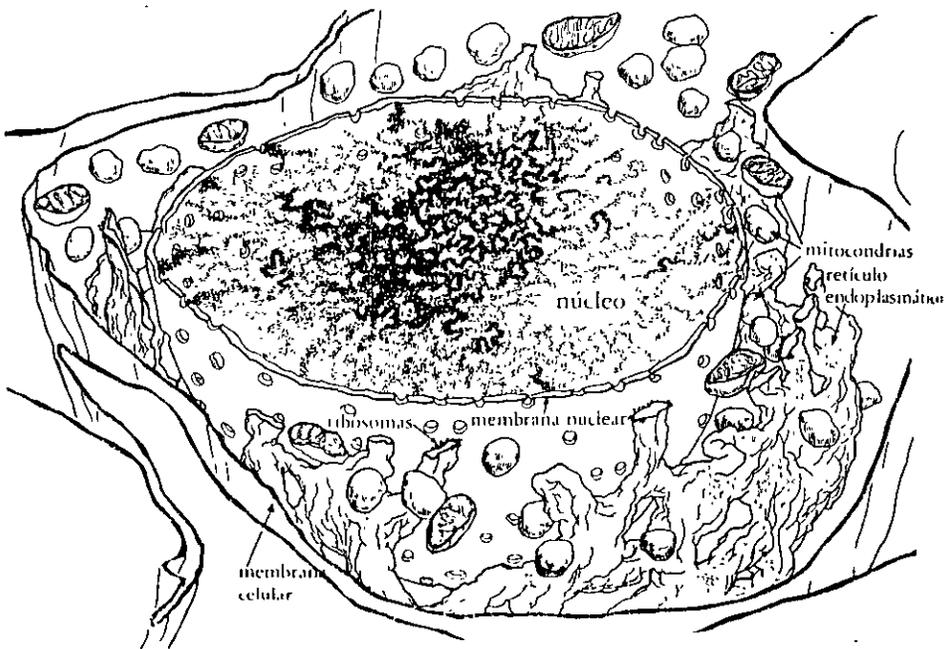


Fig. 13 --El diagrama destaca los perfiles principales, tales como membrana nuclear, mitocondrias, retículo endoplasmático, ribosomas y membrana celular. Se ha dibujado una proyección tridimensional hipotética de lo que quedaría por debajo de la superficie del corte.

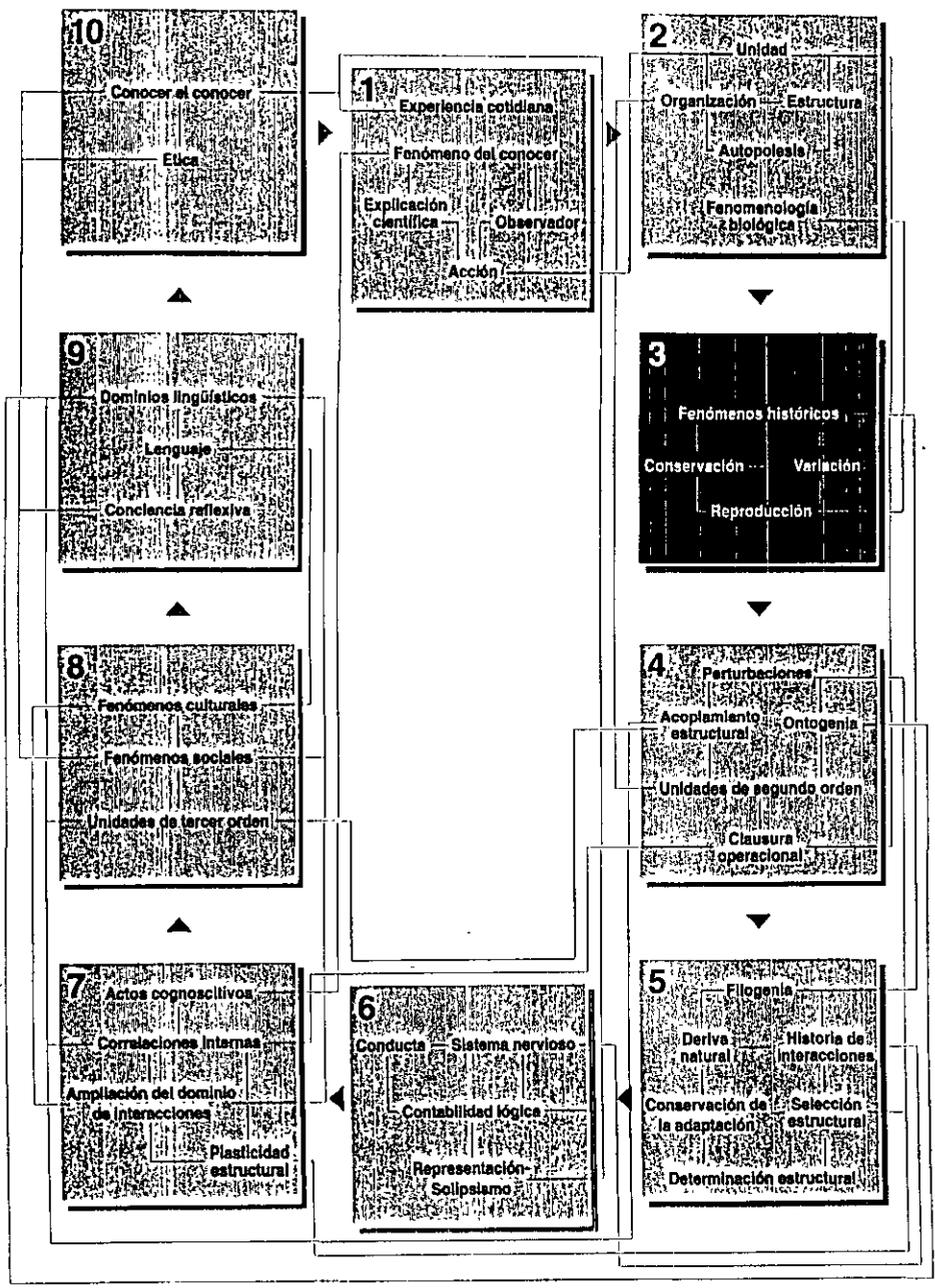
Tal momento es el punto que se puede señalar como el origen de la vida. Lo que no quiere decir que fue sólo en un instante y en un solo lugar, ni que podamos especificar una fecha para él. Todo hace pensar que una vez que las condiciones estaban dadas para el origen de los sistemas vivos, éstos se originaron muchas veces, es decir, muchas unidades autopoiéticas con muchas variantes estructurales surgieron en muchos lugares de la Tierra a lo largo quizá de muchos millones de años.

La aparición de unidades autopoiéticas sobre la superficie de la Tierra marca un hito en la historia de este sistema solar. Esto hay que entenderlo bien. La formación de una unidad determina siempre una serie de fenómenos asociados a las características que la definen, lo que nos permite decir que cada clase de unida-

des especifica una fenomenología particular. Así, las unidades autopoiéticas especifican la fenomenología biológica como la fenomenología propia de ellas con características distintas de la fenomenología física. Esto es así no porque las unidades autopoiéticas violen ningún aspecto de la fenomenología física —ya que al tener componentes moleculares deben satisfacer toda la legalidad física—, sino porque los fenómenos que generan en su operar como unidades autopoiéticas dependen de su organización y de cómo ésta se realiza, y no del carácter físico de sus componentes que sólo determinan su espacio de existencia.

Por esto, si una célula interactúa con una molécula X incorporándola a sus procesos, lo que ocurre como consecuencia de dicha interacción no está determinado por las propiedades de la molécula X, sino en la manera como tal molécula es «vista» o tomada por la célula al incorporarla en su dinámica autopoiética. Los cambios que ocurran en ella a consecuencia de esa interacción van a ser aquellos determinados por su propia estructura como unidad celular. Por tanto, en la medida que la organización autopoiética determina la fenomenología biológica al realizar a los seres vivos como unidades autónomas, será fenómeno biológico todo fenómeno que involucre la autopoesis de, al menos, un ser vivo.

Simil
con el
unoid



Capítulo III

HISTORIA: REPRODUCCION Y HERENCIA

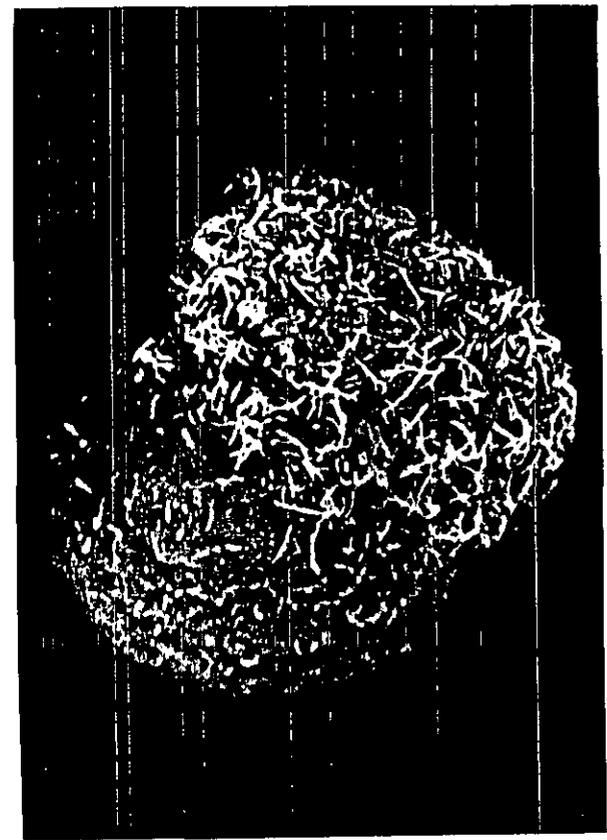


Fig. 14 — Primera división de un embrión de ratón.

En este capítulo hablaremos de reproducción y herencia. Hay dos razones que lo hacen necesario. Una de ellas es que nosotros, como seres vivos —y, como veremos, también como seres sociales—, tenemos una *historia*: somos descendientes por reproducción, no sólo de nuestros antepasados humanos, sino de antepasados muy distintos que se extienden en el pasado hasta hace más de tres mil millones de años. La otra es que, como organismos, somos seres multicelulares y todas nuestras células son descendientes por reproducción de la célula particular que se formó al unirse un óvulo con un espermatozoide y nos dio origen. La reproducción está, por tanto, metida en nuestra historia en relación con nosotros como seres humanos y en relación con nuestros componentes celulares individuales, lo que, curiosamente, hace de nosotros y nuestras células seres de la misma edad ancestral. Más aún, desde un punto de vista histórico, lo anterior es válido para todos los seres vivos y todas las células contemporáneas: compartimos la misma edad ancestral. Por esto, para comprender a los seres vivos en todas sus dimensiones, y con ello comprendernos a nosotros mismos, se hace necesario entender los mecanismos que hacen del ser vivo un ser histórico. Con este fin examinaremos primero el fenómeno de reproducción.

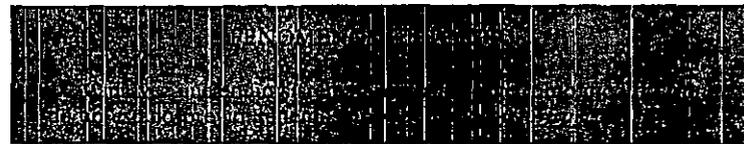
REPRODUCCION: ¿QUE OCURRE?

La biología ha estudiado el proceso de reproducción desde muchos puntos de vista y, en particular, a nivel celular. Allí ha mostrado desde hace mucho tiempo que una célula puede dar origen a otra mediante una división, y se habla de la división celular (o mitosis) como un complejo proceso de reordenación de elementos celulares que resulta en la determinación de un plano de división. ¿Qué ocurre en este proceso? En general, el fenómeno de reproducción consiste en que a partir de una unidad, y mediante algún proceso determinado, se origina otra de la misma clase. Es decir: se origina otra unidad que un observador puede reconocer como definida por la misma organización que la original.

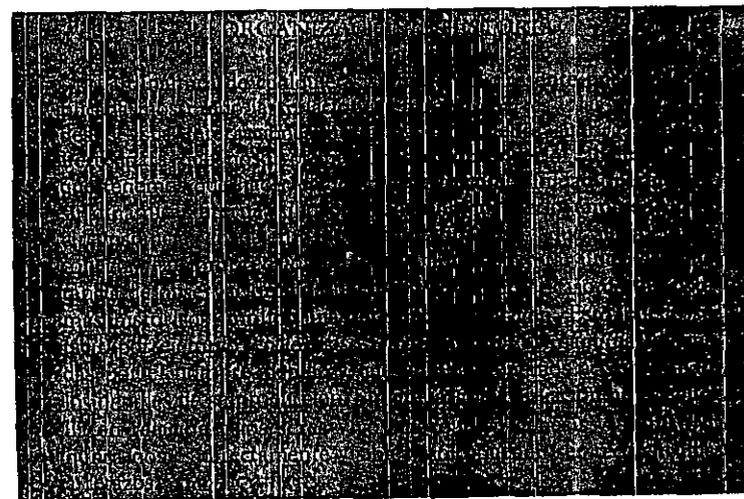
Es evidente, pues, que para que haya reproducción tienen que darse dos condiciones básicas: unidad original y el proceso que la reproduce.

En el caso de los seres vivos, la unidad original es un ser vivo,

una unidad autopoietica, y el proceso —ya veremos más adelante cuál es concretamente— tiene que terminar con la formación de, por lo menos, otra unidad autopoietica distinguible junto a la que se considera la primera.



El lector atento se habrá dado cuenta en este punto que al mirar así el fenómeno de la reproducción estamos afirmando que la reproducción *no* es constitutiva de lo vivo y que, por tanto y como ya debiera ser evidente, no forma parte de la organización del ser vivo. Estamos tan acostumbrados a mirar a lo vivo como una lista de propiedades (y la reproducción como una de ellas) que esto puede parecer chocante a primera vista. Sin embargo, lo que se está diciendo es simple: la reproducción no puede ser parte de la organización del ser vivo porque para reproducir algo, primero es necesario que ese algo esté constituido como unidad y tenga una organización que lo defina. Esto es simple lógica cotidiana y la usamos así a diario. Por tanto, si llevamos a sus conse-



cuencias esta lógica ordinaria nos vemos obligados a concluir que si hablamos de la reproducción del ser vivo, estamos implicando que éste debe poder existir sin reproducirse. ¡Basta pensar en la mula para darse cuenta que esto debe ser así! Ahora bien, lo que discutiendo en este capítulo es cómo se complica la dinámica estructural de una unidad autopoietica en el proceso de reproducción y qué consecuencias tiene esto en la historia de los seres vivos. Pero *añadir* algo a una dinámica estructural es bien distinto a modificar las características esenciales de una unidad, lo que implica cambiar su organización.

MODOS DE GENERAR UNIDADES

Con el fin de comprender qué ocurre en la reproducción celular, veamos varias situaciones que dan origen a unidades de la misma clase, procurando, a través de distinguirlas, ver lo que es propio de la reproducción celular.

Réplica: Hablamos de réplica (o, a veces, de producción) cada vez que tenemos un mecanismo que en su operar puede generar repetidamente unidades de la misma clase. Por ejemplo, una fábrica es un gran mecanismo productivo que mediante la aplicación repetida de un mismo procedimiento produce seriamente réplicas de unidades de la misma clase: telas, autos, neumáticos (fig. 15).

Lo mismo ocurre con los componentes celulares, lo que se ve muy claramente en la producción de proteínas donde los ribosomas, ácidos nucleicos mensajeros, de transferencia y otras moléculas, constituyen en conjunto la maquinaria productiva, y las proteínas el producto.

Lo central en el fenómeno de réplica está en que el mecanismo productivo y el replicado son sistemas operacionalmente distintos y el mecanismo productivo genera elementos independientes de él. Nótese que como consecuencia de cómo se da el fenómeno de réplica, las unidades producidas son históricamente *independientes* unas de otras. Lo que le ocurre a una cualquiera en su historia individual no afecta a lo que le ocurre a las que le siguen en la serie de producción. Lo que le ocurra a mi Toyota después que lo compre en nada afecta a la fábrica Toyota, que seguirá imperturbable produciendo sus autos. En resumen: las

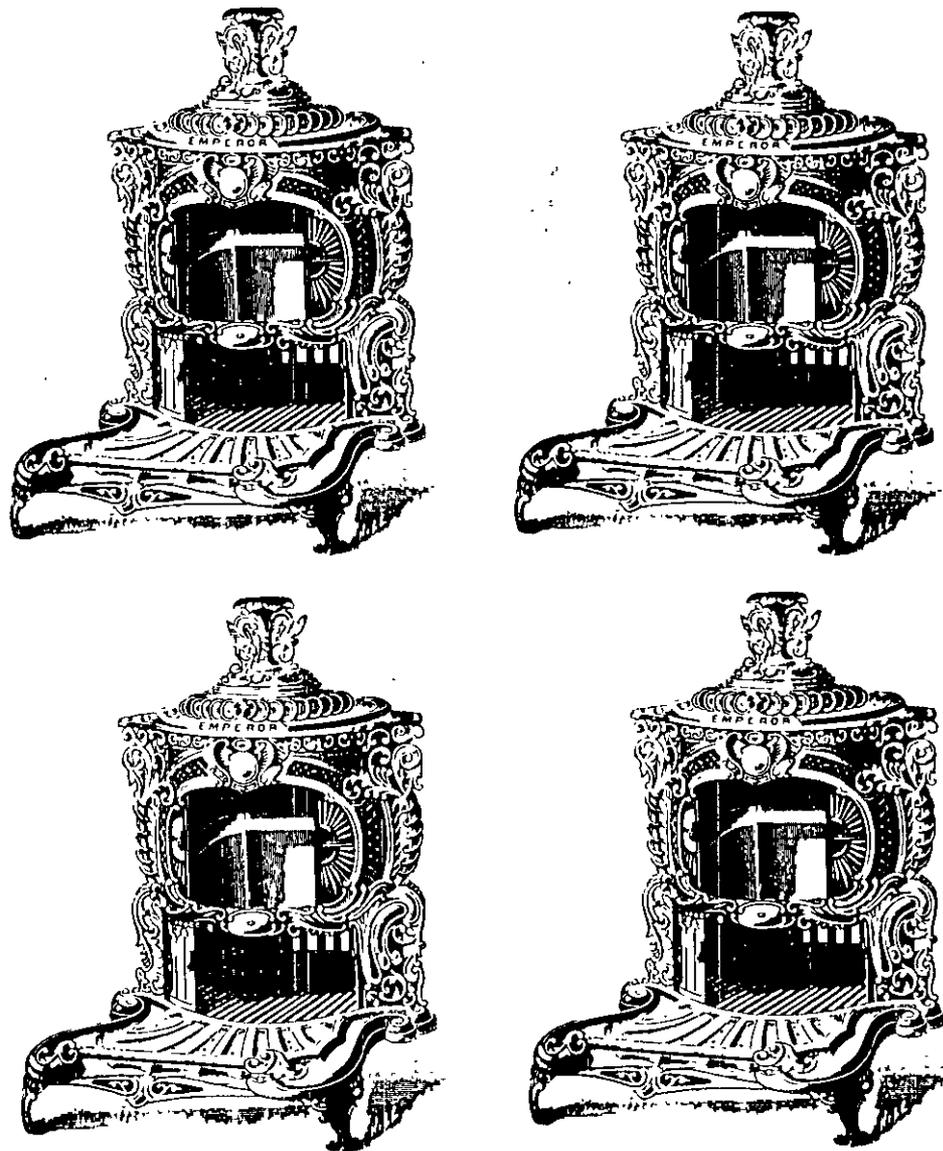


Fig. 15.—Un caso de réplica.

unidades producidas por réplicas no constituyen entre ellas un sistema histórico.

Copia: Hablamos de copia cada vez que tenemos una unidad modelo y un procedimiento de proyección para generar otra idéntica a ella. Por ejemplo, esta hoja de papel pasada a través de una máquina Xerox es una copia, como se dice en lenguaje cotidiano. Allí, la unidad modelo es esta hoja, y el procedimiento, el modo de operar con una proyección óptica de la máquina Xerox.

Ahora, podemos distinguir en esta situación dos casos esencialmente diferentes. Si el *mismo* modelo se utiliza para hacer sucesivamente muchas copias, se tiene una serie de copias históricamente independientes entre ellas. En cambio, si el resultado de una copia es usada como modelo para hacer la copia siguiente, se genera una serie de unidades históricamente conectadas, porque lo que le ocurre a cada una de ellas durante su devenir individual antes de ser usada como modelo determina las características de la copia siguiente. Así, si una copia Xerox de esta página se copia, a su vez, por la misma máquina, es evidente que el original y las otras dos copias difieren ligeramente entre sí. Si repetimos este mismo procedimiento, como es obvio, al cabo de muchas copias uno podrá notar la progresiva transformación de ellas en un linaje o sucesión histórica de unidades copiadas. Un uso creativo de este fenómeno histórico es lo que en arte se conoce como anamorfosis (fig. 16), que constituye un ejemplo excelente de deriva histórica.



Reproducción: Hablamos de la reproducción cuando una unidad sufre una *fractura* que da por resultado dos unidades de la misma clase. Esto pasa, por ejemplo, cuando un trozo de tiza es partido por una presión dando origen a dos trozos de tiza. O cuando se parte un racimo de uvas y quedan dos racimos de uvas. Las unidades que resultan de estas fracturas no son idénticas a la original, ni idénticas entre sí, pero pertenecen a la misma clase que la original, es decir, tienen la misma organización que ella. No pasa lo mismo con la fractura de otras unidades, como una radio o un billete. En estos casos la fractura de la unidad original la destruye y deja dos fragmentos, no dos unidades de la misma clase que ella.

Para que en la fractura de una unidad particular se dé el fenómeno de la reproducción, la estructura de la unidad tiene que realizar su organización de una manera *distribuida y no compartimentalizada*. De esta manera, el plano de fractura puede separar fragmentos con estructuras capaces de realizar de manera independiente la misma organización original. La tiza y el racimo de uvas tienen este tipo de estructura y admiten numerosos planos de fractura porque los componentes que realizan sus respectivas organizaciones se repiten de una manera distribuida y no compartimentalizada en toda su extensión (cristales de calcio en la tiza y granos de uva en el racimo).

Fig. 16.—Un caso de copia con reemplazo de modelo.





Fig. 17 — Un caso de reproducción por fractura

Hay muchos sistemas que cumplen con estos requisitos y por ende el fenómeno de reproducción es muy frecuente en la naturaleza. Ejemplos: cristales, palos, comunidades, caminos (fig. 17). Al mismo tiempo, una radio o una moneda no admite reproducción porque las relaciones que las definen no se repiten en su extensión. Hay muchos sistemas en esta clase, tales como: tazas, personas, estilográficas, la declaración de los derechos humanos... La no admisión de reproducción es también un fenómeno muy frecuente en el universo. Lo interesante es que la reproducción como fenómeno no está confinada a un espacio particular, o a un grupo particular de sistemas.

Lo central en el proceso reproductivo (a diferencia de la réplica o la copia) es que todo ocurre en la unidad como parte de ella y no hay separación entre el sistema reproductor y el sistema reproducido. Tampoco puede decirse que las unidades que resultan de la reproducción preexistan o se estén formando antes que ocurra la fractura reproductiva, simplemente no existen. Más aún, aunque las unidades resultantes de la fractura reproductiva tienen la misma organización que la unidad original y llevan, por tanto, aspectos estructurales semejantes a ella, también tienen aspectos estructurales distintos de ella y entre sí. Esto no sólo porque son más pequeñas, sino también porque sus estructuras derivan directamente de la estructura de la unidad original en el momento de la reproducción y reciben al formarse distintos componentes de ella que no están uniformemente distribuidos y que son función de su historia individual de cambio estructural.

Debido a estas características, el fenómeno de reproducción *necesariamente* da origen a unidades conectadas históricamente, que sí, a su vez, sufren fracturas reproductivas, forman en conjunto un sistema histórico.

LA REPRODUCCION CELULAR

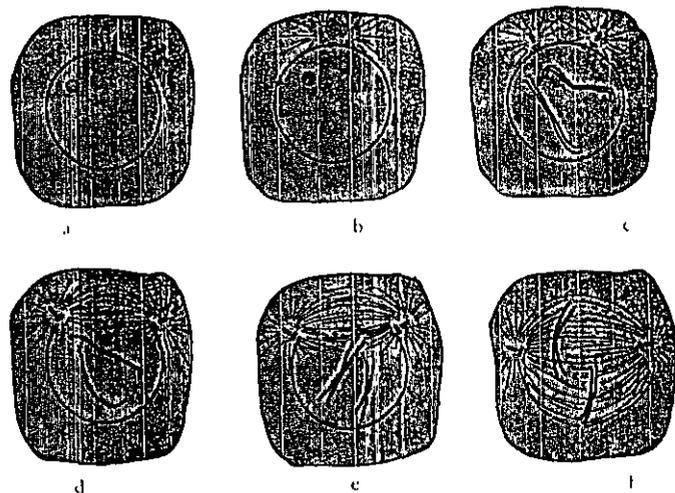
¿Qué pasa a todo esto con las células? Si tomamos una célula cualquiera en lo que se llama su estado de interfase, es decir, cuando no está en el proceso de reproducirse, y la fracturamos, no obtenemos dos células. Durante la interfase una célula es un sistema compartimentalizado (es decir, hay componentes que están segregados del resto o están en dosis única) y no admite un plano de fractura reproductiva. Esto ocurre en particular con los ácidos

desoxiribonucleicos (ADN) que forman parte de los cromosomas, y que en la interfase están recluidos en el núcleo, separados por una membrana nuclear del resto de la célula (fig. 18).

Durante la mitosis o división celular todos los procesos que ocurren (*b-j*) consisten en una descompartimentación celular. Esto es fácilmente visible en la figura en la disolución de la membrana nuclear (acompañada de una réplica de las grandes dobles hélices de ADN), y en el desplazamiento de cromosomas y otros componentes de modo que se establece un plano de posible fractura. Ahora bien, todo esto ocurre sin interrupción de la autopoiesis celular, y como resultado de ella. Así, como parte de la dinámica misma de la célula, se producen cambios estructurales tales como la formación de un huso mitótico (*d-b*), que hacen efectivo un clivaje o fractura de la célula así dispuesta.

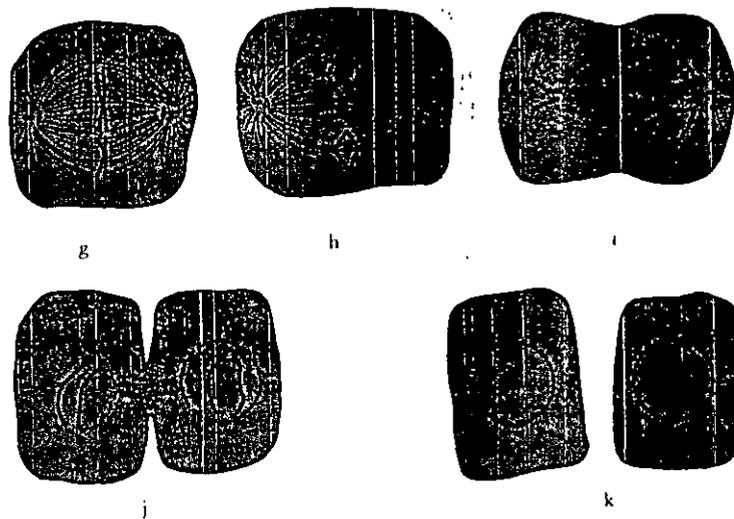
Visto de esta manera, el proceso de la reproducción celular es simple: una fractura en un plano que genera dos unidades de la misma clase. En las células modernas eucarióticas (con núcleo) el establecimiento de este plano y la mecánica de la fractura es un

Fig. 18 — Mitosis o reproducción por fractura en una célula animal. El diagrama muestra las distintas etapas de descompartimentalización que hacen posible la fractura reproductiva.



exquisito e intrincado mecanismo de coreografía molecular. Sin embargo, en las células más antiguas (o procarióticas) que no muestran la misma compartimentalización mostrada en la figura 18, el proceso de hecho es más simple. En cualquier caso, es evidente que la reproducción celular es una reproducción en el sentido discutido más arriba, no una réplica o una copia de unidades.

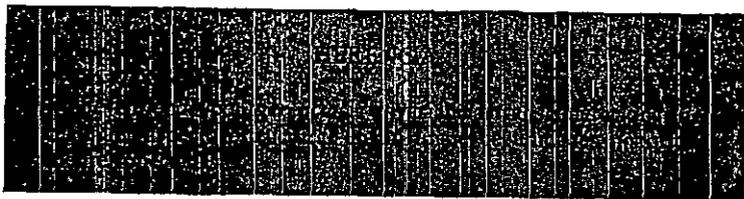
Sin embargo, a diferencia de los ejemplos de reproducción dados más arriba, en la reproducción celular se da un fenómeno peculiar: es la propia dinámica autopoietica la responsable de hacer efectiva la fractura en un plano permitido. No es necesario un agente o fuerza externa. Podemos imaginar que en las primeras unidades autopoieticas esto no fue así, y que de hecho su reproducción primera fue una fragmentación que resultó de choques con otros entes exteriores. En la red histórica así producida, algunas variantes llegaron a fracturarse como resultado de su propia dinámica interna y dispusieron de un mecanismo de división que derivó en un linaje o sucesión histórica estable. Cómo haya ocurrido esto está lejos de ser claro y, probablemente, estos orígenes estén perdidos para siempre. Pero esto, sin embargo, no invalida el hecho de que la división celular es un caso particular de reproducción que legítimamente podemos llamar auto-reproducción.



HERENCIA REPRODUCTIVA

Independientemente de cómo se genere, toda vez que se da una serie histórica, se da el fenómeno *hereditario*. Es decir, encontramos la reaparición de configuraciones estructurales propias de un miembro de una serie en el que le sigue. Esto se evidencia tanto en la realización de la organización propia a la clase, como en otras características individuales. Si pensamos, otra vez, en el caso de la serie histórica de copias Xerox sucesivas, tendremos que, por mucho que difieran las primeras de las últimas copias, ciertas relaciones de negro y blanco de las letras permanecerán invariantes permitiendo la lectura y haciendo posible el decir que una es copia de la otra. Precisamente, en el momento en que la copia se haga tan difusa que no sea posible leerla, ese linaje histórico habrá terminado ahí.

De la misma manera, en los sistemas que se reproducen la herencia se da en cada instancia reproductiva como un fenómeno constitutivo de ella al resultar dos unidades de la misma clase. Precisamente porque la reproducción ocurre cuando se da un plano de fractura en una unidad de estructura distribuida, habrá necesariamente una cierta permanencia de configuraciones estructurales de una generación a otra.



Y, de la misma manera que el resultado de la fractura reproductiva es la separación de dos unidades con la misma organización, pero con estructuras diferentes de la unidad original, junto con mantener constante la organización, la fractura reproductiva da origen también a la *variación* estructural. El fenómeno de la reproducción implica, necesariamente, la generación tanto de semejanzas como de diferencias estructurales entre «progenitores», «hijos», y «hermanos». A aquellos aspectos de la estructura inicial de la nueva unidad que evaluamos como idénticos a la unidad original

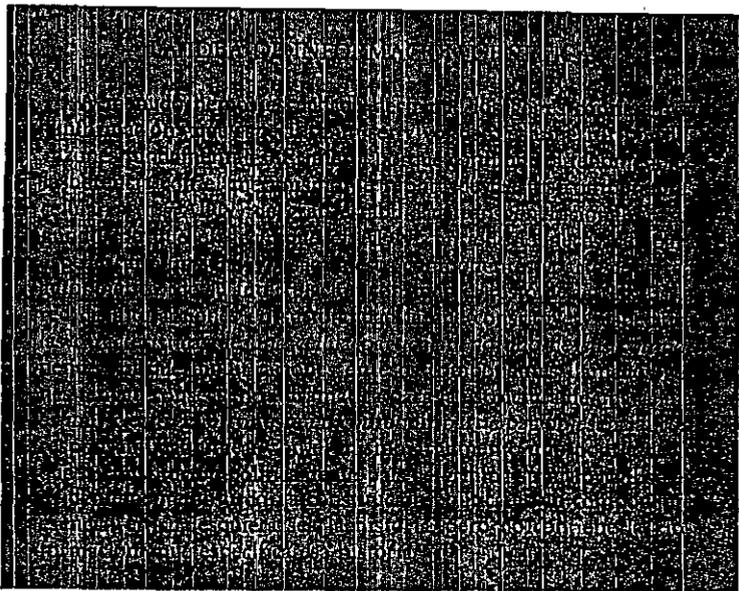
los llamamos *herencia*; a aquellos aspectos de la estructura inicial de la nueva unidad que evaluamos como distintos de la unidad original los llamamos *variación reproductiva*. Por todo esto, cada nueva unidad comienza obligadamente su historia individual con semejanzas y diferencias estructurales con respecto a su antecesores, que se conservan o pierden según sean las circunstancias de sus respectivas ontogénias, como discutiremos más adelante en detalle. Por el momento, lo que nos interesa resaltar es que el fenómeno de la herencia y producción de diferencias estructurales en los descendientes es propio del fenómeno de la reproducción, y que, por tanto es aún más válido en la reproducción de los seres vivos.

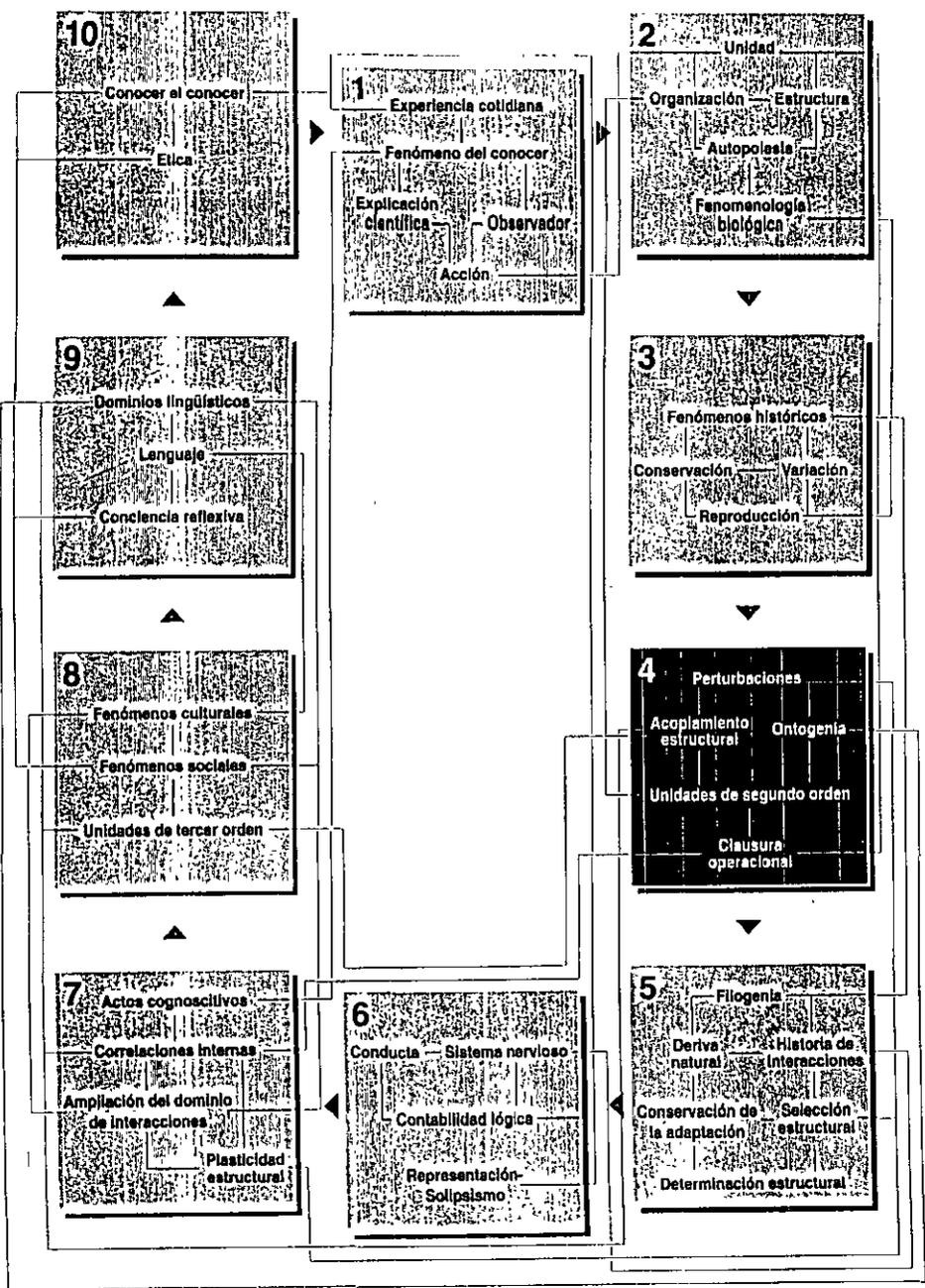
En la reproducción celular hay muchas instancias en las cuales es posible detectar con precisión las circunstancias estructurales que determinan tanto la variación como la conservación de la semejanza. Así, hay algunos componentes que admiten pocas variaciones en su modo de participación en la autopoiesis, pero mucha en las peculiaridades de cómo se realiza este modo de participación. Tales componentes participan en configuraciones estructurales fundamentales que se conservan de generación en generación (pues si no ocurre no hay reproducción) con sólo ligeras variaciones.

Los más conocidos y populares son los ADN (ácidos nucleicos) o genes, cuya estructura fundamental es replicada en la reproducción con poca variación. El resultado es que se encuentran grandes invariancias entre individuos de un linaje, al mismo tiempo que hay aspectos estructurales que están variando continuamente y no permanecen constantes más que una o dos generaciones. Así, por ejemplo, el modo de síntesis de las proteínas con la participación del ADN ha permanecido invariante en muchos linajes, pero el tipo de proteínas sintetizadas ha cambiado mucho en la historia de los mismos.

El modo de distribución de la variancia o invariancia estructural a lo largo de un árbol de linajes históricos determina las distintas maneras de cómo nos parece que lo hereditario se distribuye de generación en generación, y que nosotros vemos como sistemas genéticos (hereditarios) distintos. El estudio moderno de la genética se ha concentrado especialmente en la genética de los ácidos nucleicos. Sin embargo, hay otros sistemas genéticos (hereditarios) que apenas empezamos a entender que han permane-

cido ocultos bajo el brillo de la genética de los ácidos nucleicos, tales como los asociados a otros compartimentos celulares como mitocondrias o membranas.





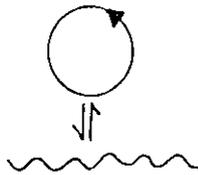
Capítulo IV

LA VIDA DE LOS METACELULARES

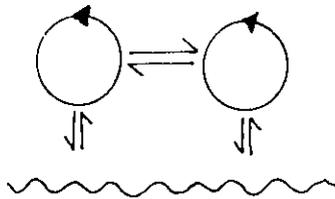


Fig. 19.—Agua, óleo de G. Arcimboldo

La *ontogenia* es la historia del cambio estructural de una unidad sin que ésta pierda su organización. Este continuo cambio estructural se da en la unidad, en cada momento, o como un cambio desencadenado por interacciones provenientes del medio donde se encuentra o como resultado de su dinámica interna. La unidad celular clarifica sus continuas interacciones con el medio, viéndolas de acuerdo con su estructura en cada instante, que, a su vez, está en continuo cambio por su dinámica interna. El resultado general es que la transformación ontogénica de una unidad no cesa hasta su desintegración. Para abreviar toda esta situación, cuando nos refiramos a unidades autopoieticas usaremos el diagrama.



Ahora bien, ¿qué ocurre cuando no consideramos la ontogenia de una unidad, sino de dos (o más) vecinas en su medio de interacciones? Podemos abreviar esta situación así:



ACOPLAMIENTO ESTRUCTURAL.

Es evidente que podemos mirar esta situación desde el punto de vista de una u otra de las unidades, y será simétrica. Vale decir, para la célula de la izquierda, la de la derecha es sólo una fuente

más de interacciones, indistinguibles como tales de aquellas que nosotros, como observadores, clasificamos como provenientes del medio «inerte». A la inversa, para la célula de la derecha, la otra es una fuente más de interacciones que verá según su propia estructura.

Esto significa que dos (o más) unidades autopoieticas pueden encontrarse acopladas en su ontogenia cuando sus interacciones adquieran un carácter *recurrente* o muy estable. Esto es necesario entenderlo bien. Toda ontogenia se da dentro de un medio que nosotros como observadores, podemos a la vez describir como teniendo una estructura particular, tal como radiación, velocidad, densidad, etc. Como también describimos la unidad autopoietica como teniendo una estructura particular, nos resultará aparente que las interacciones, mientras sean recurrentes entre unidad y medio, constituirán perturbaciones recíprocas. En estas interacciones la estructura del medio sólo desencadena los cambios estructurales de las unidades autopoieticas (no los determina ni destruye) y viceversa para el medio. El resultado será una historia de mutuos cambios estructurales concordantes mientras no se desintegren: habrá *acoplamiento estructural*.

Dentro de todas las interacciones posibles podemos encontrar algunas que son, particularmente, recurrentes o repetitivas. Por ejemplo, si miramos la membrana de una célula, vemos que hay un constante transporte activo de ciertos iones (tales como el sodio o el calcio) a través de ella, de tal manera que, en presencia de esos iones, la célula reacciona incorporándolos a su red metabólica. Este transporte iónico activo ocurre muy regularmente, y uno, como observador, puede decir que el acoplamiento estructural de las células en su medio permite las interacciones recurrentes de éstas con los iones que éste contiene. El acoplamiento estructural celular permite que tales interacciones se den sólo en ciertos iones, pues si se introducen al medio otros iones (cesio o litio, por ejemplo), los cambios estructurales que éstos desencadenarán en la célula no serán los concordantes con la realización de su autopoiesis.

Ahora bien, ¿por qué en cada tipo celular la autopoiesis se realiza con la participación de una cierta clase de interacciones regulares y recurrentes y no de otras? Esta pregunta sólo tiene respuesta en la filogenia o historia de la estirpe celular correspondiente, y es: el tipo de acoplamiento estructural actual de cada

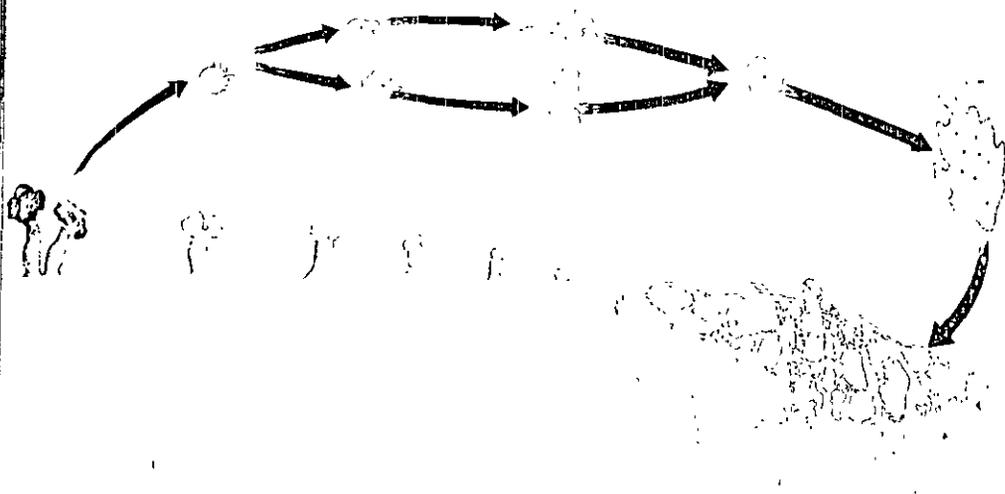


Fig. 20 —Ciclo de vida de *Physarum*, con formación de plasmodio por fusión celular.

célula es el estado presente de la historia de transformaciones estructurales de la filogenia a que pertenece, es decir, es un momento en la deriva natural de este linaje que resulta de la continua conservación del acoplamiento estructural de cada célula al medio en que se realiza. Así, en el presente de esta deriva natural celular, para el ejemplo dado arriba, las membranas operan transportando iones de sodio y calcio, y no otros.

El acoplamiento estructural al medio como condición de existencia abarca todas las dimensiones de interacciones celulares y, por tanto, también las que tienen que ver con otras células. Las células de los sistemas multicelulares existen normalmente sólo teniendo a otras células en estrecho agregamiento celular como medio de realización de su autopoiesis. Tales sistemas son el resultado de la deriva natural de linajes en los que se ha conservado dicho estrecho agregamiento.

Un grupo de animales unicelulares llamado mixomicetes son una fuente magnífica de ejemplos que revelan esto claramente. Así, en *Physarum*, una espóra que germina da origen a una célula (fig. 20) Si el ambiente es húmedo, la ontogenia de esa célula deviene en el crecimiento de un flagelo y en la capacidad de mo-

verse. Si el ambiente es más bien seco, la ontogenia deviene en células de tipo ameboide. El acoplamiento estructural entre estas células lleva a un agregado tan estrecho de ellas que deviene en su fusión, con la formación de un plasmodio que, a su vez, lleva a la formación de un cuerpo fructífero macroscópico que produce esporas. (Nótese que en el dibujo la parte de arriba corresponde a un aumento grande; en cambio, la de abajo a un aumento muy reducido.)

En estos eucariontes, filogenéticamente primitivos, el agregado celular estrecho culmina en la constitución de una nueva unidad al formarse el cuerpo fructífero como resultado de la fusión celular. Este cuerpo fructífero de hecho constituye una unidad metacelular, cuya existencia se complementa históricamente con las células que le dan origen en la realización del ciclo vital de la unidad orgánica a que pertenece (y que queda definida por tal ciclo vital). Es aquí donde hay que poner atención: la formación de unidades metacelulares capaces de dar origen a linajes como resultado de su reproducción a nivel celular da origen a una fenomenología distinta de la fenomenología de las células que las integran. Esta unidad de segundo orden metacelular tendrá un acoplamiento estructural y una ontogenia adecuada a su estructura como unidad compuesta. En particular, en el ejemplo recién descrito, el metacelular tendrá un dominio de ontogenia macroscópico, y no microscópico como el de sus células.

Otro ejemplo, más intrincado, es otro mixomicete, *Dycostellium* (fig. 21). En este grupo, individuos ameboides, cuando el medio tiene ciertas características muy particulares, son capaces de agregarse para formar un cuerpo fructífero como en el ejemplo anterior, pero sin fusión celular*. Sin embargo, aquí además encontramos en la unidad de segundo orden una clara diversificación de los tipos celulares. Así las células de la punta van a ser capaces de generar esporas, en tanto que las de la base no, llenándose de vacuolas y de paredes, lo que permite dar un soporte mecánico a todo el metacelular. Aquí vemos que en el dinamismo de este estrecho agregado celular como parte de un ciclo de vida, los cambios estructurales seguidos por cada célula en su historia de interacciones con otras células son, necesariamente, comple-

* J. T. Bonner, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 45:379, 1959

mentarios entre sí y acotados por su participación en la constitución de la unidad metacelular que integran. Por esto mismo, los cambios estructurales ontogénicos de cada célula son, necesariamente, distintos según su modo de participación en la constitución de dicha unidad en el devenir de sus interacciones y relaciones de vecindad.

CICLOS DE VIDA

Insistamos: el estrecho agregado entre células todas descendientes de una misma célula que resulta en una unidad metacelular es una condición enteramente consistente con la continuada autopoiesis de éstas. Pero ciertamente no es imprescindible en la medida que en la filogenia de los seres vivos muchos han permanecido como unicelulares. En aquellos linajes en que sí se establece un agregamiento celular que deviene en un metacelular, las consecuencias para las respectivas historias de transformaciones

Fig. 21 —Ciclo de vida de *Dycoctelium* (moho de limo), con cuerpo fructífero formado por agrupación de las células que surgen de la reproducción de una célula espora fundadora.

estructurales son profundas. Veamos más de cerca esta situación.

Es evidente que la ontogenia de un metacelular va a estar determinada por el dominio de interacciones que éste especifique como unidad total, y no por las interacciones individuales de las células componentes. En otras palabras, la vida de un individuo multicelular como unidad transcurre en el operar de sus componentes, pero no está determinada por las propiedades de éstos. Sin embargo, cada uno de estos individuos pluricelulares es el resultado de la división y segregación de un linaje de células que se originan en el momento de la fecundación de una sola célula o cigoto, producto de algunos de los órganos o partes del organismo multicelular. De no haber generación de nuevos individuos, no hay continuidad del linaje. Y para que haya nuevos individuos tiene que darse el comienzo de su formación a partir de una célula. Es así de simple: es la lógica de su constitución la que exige que cada organismo metacelular sea parte de un *ciclo* en el cual hay una etapa unicelular necesaria.

Pero es en la fase unicelular de un organismo multicelular, durante la reproducción, en la que ocurren las variaciones generacionales y, por tanto, éstos no se diferencian en su modo de establecer linajes de los seres vivos unicelulares. En otras palabras, el ciclo de vida de un metacelular constituye una unidad en la que la ontogenia del organismo ocurre en su transformación de unicelu-

lar a multicelular hasta la reproducción, pero en la que la reproducción y las variaciones reproductivas ocurren al pasar por la etapa unicelular.

Todos los seres vivos multicelulares que conocemos hay que entenderlos como elaboradas variaciones sobre el mismo tema que conocimos en el caso de la organización y la filogenia celular. Cada individuo multicelular representa un momento elaborado de la ontogenia de un linaje cuyas variaciones siguen siendo celulares. En esto, la aparición de la multicelularidad no introduce una novedad fundamental. Su gran novedad consiste en que hace posibles muchas clases distintas de individuos, al hacer posible muchos linajes diferentes como distintos modos de conservación del acoplamiento estructural ontogénico al medio. La riqueza y variedad de los seres vivos sobre la tierra se debe a la aparición de esta variante o desviación multicelular dentro de los linajes celulares que continúan hasta hoy, y a los que nosotros mismos pertenecemos.

Notemos, sin embargo, que la reproducción sexual de organismos multicelulares no hace excepción de la caracterización fundamental de reproducción que vimos en el capítulo anterior. En efecto, la reproducción sexual requiere que una de las células del organismo multicelular adquiera una dinámica operacional independiente (como el espermatozoide) y se fusione con otra célula de otro organismo de la misma clase, para formar el cigoto que constituye la fase unicelular de ese ser vivo. Hay algunos organismos multicelulares que pueden además, o exclusivamente, reproducirse por simple fractura. Cuando esto ocurre, la unidad de variación en el linaje no es celular, sino que la constituye el organismo.

Las consecuencias de la reproducción sexual están en la rica recombinación estructural que resulta de ella. Esto permite, por un lado, el entrecruzamiento en los linajes reproductivos y, por otro, un aumento muy grande en las posibles variaciones estructurales en cada instancia reproductiva. De esta manera, la genética y herencia se enriquecen con efectos combinatorios de las alternativas estructurales de un grupo de seres vivos. Este efecto de aumentar la variabilidad que, a su vez, hace posible la deriva filogenética —como veremos en el próximo capítulo— explica el que la sexualidad sea, prácticamente, universal entre los seres vivos al facilitar la multiplicación de los linajes.

TEMPO DE TRANSFORMACIONES

Una manera elegante de mirar este fenómeno de la vida de los metacelulares y sus ciclos de vida es comparar el tiempo que demoran en cubrir un ciclo completo de vida, según sean sus tamaños*. Así, por ejemplo, en la figura 22a está diagramado el mismo ciclo que discutimos antes, el de un mixomicete, poniendo en un eje el tiempo que tarda en completarse cada etapa, y en el otro eje el tamaño alcanzado. Así, transcurre más o menos un día en formarse el cuerpo fructífero que es de 1 cm. La espora, de unas 10 millonésimas de metro, se forma en aproximadamente un minuto.

En la figura 22b está dibujada la misma historia, esta vez para la rana. El cigoto, que da origen a un adulto, se forma en más o menos un minuto, en tanto que un adulto formado tarda casi un año en crecer hasta varios centímetros. Lo mismo puede hacerse para el árbol más grande del mundo, la sequoia, que llega hasta los 100 metros de altura con tiempo de formación de mil años (fig. 22c), o para el animal más grande del mundo, la ballena azul, que alcanza hasta 40 metros en diez años (fig. 22d).

Independientemente del tamaño y aspecto externo, en todos estos casos las etapas son siempre las mismas: a partir de una célula inicial, el proceso de división y diferenciación celular genera un individuo de segundo orden por el acoplamiento entre las células resultantes de esas divisiones celulares. El individuo así formado tiene una ontogenia de variada extensión que lleva a la siguiente etapa reproductiva con la formación de un nuevo cigoto. De manera que el ciclo generacional es una unidad fundamental que se transforma en el tiempo. Una manera de hacer esto evidente es poner en un gráfico el tiempo de reproducción con el tamaño (fig. 23). Una bacteria que no está acoplada a otras tiene una reproducción muy rápida y, por tanto, su ritmo de transformaciones es rápido. Un efecto necesario de la formación de individuos de segundo orden por agregación celular es que se requiere tiempo para el crecimiento y la diferenciación celular y, por tanto, la frecuencia de generaciones será mucho menor.

Esta visión nos hace evidente que hay una tremenda similitud entre los metacelulares, tal como la hay entre las células. A pesar

* J. T. Bonner, *Size and Cycle*, Princeton University Press, 1965.

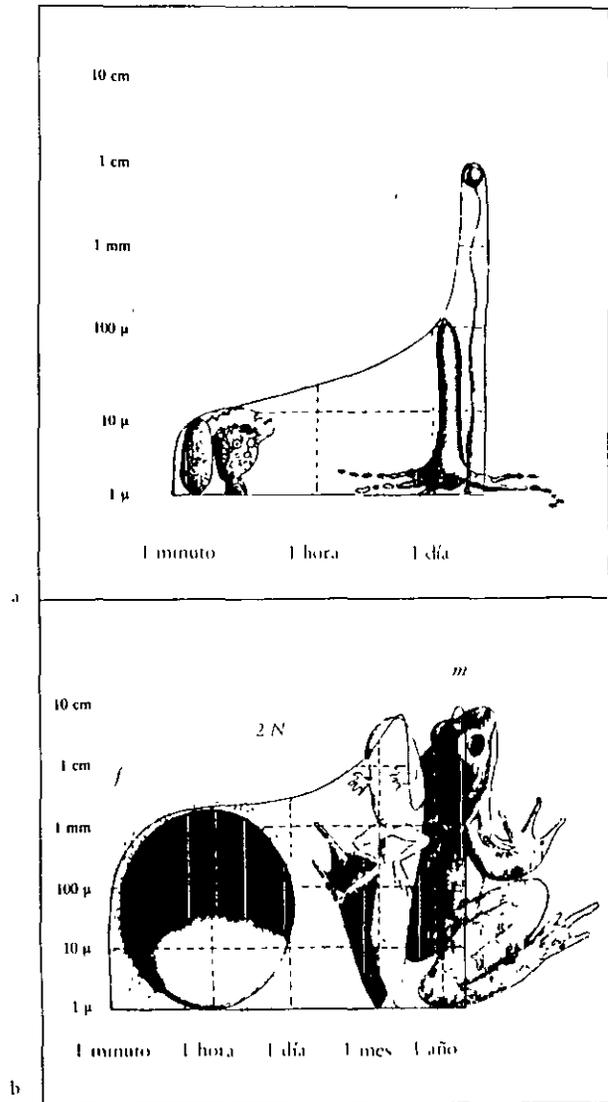
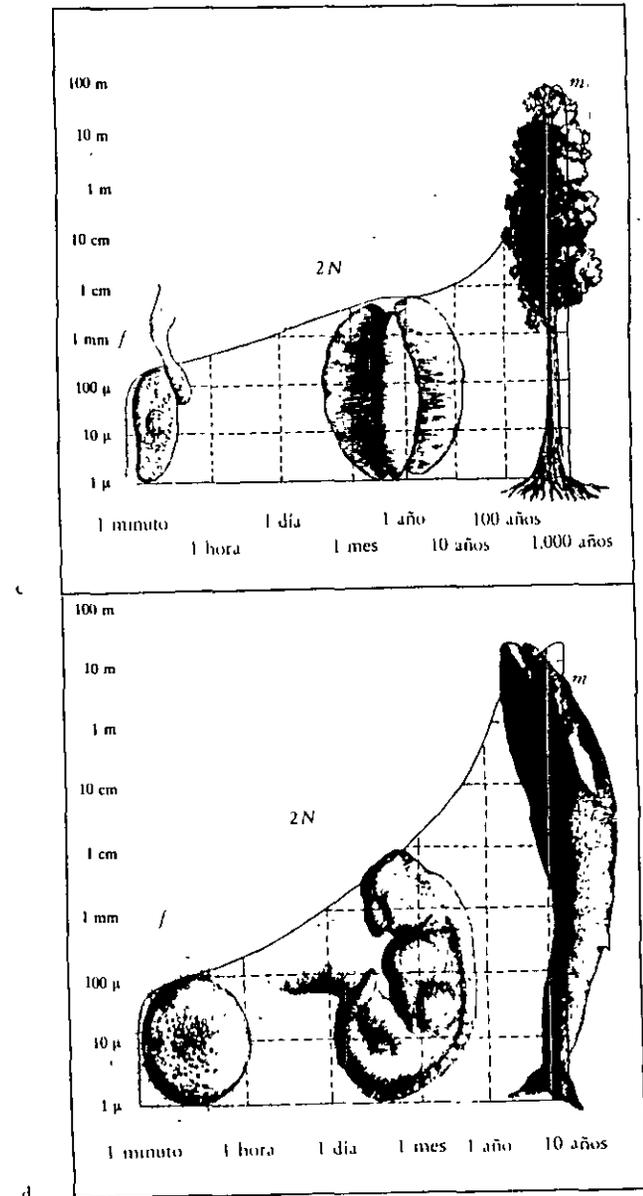
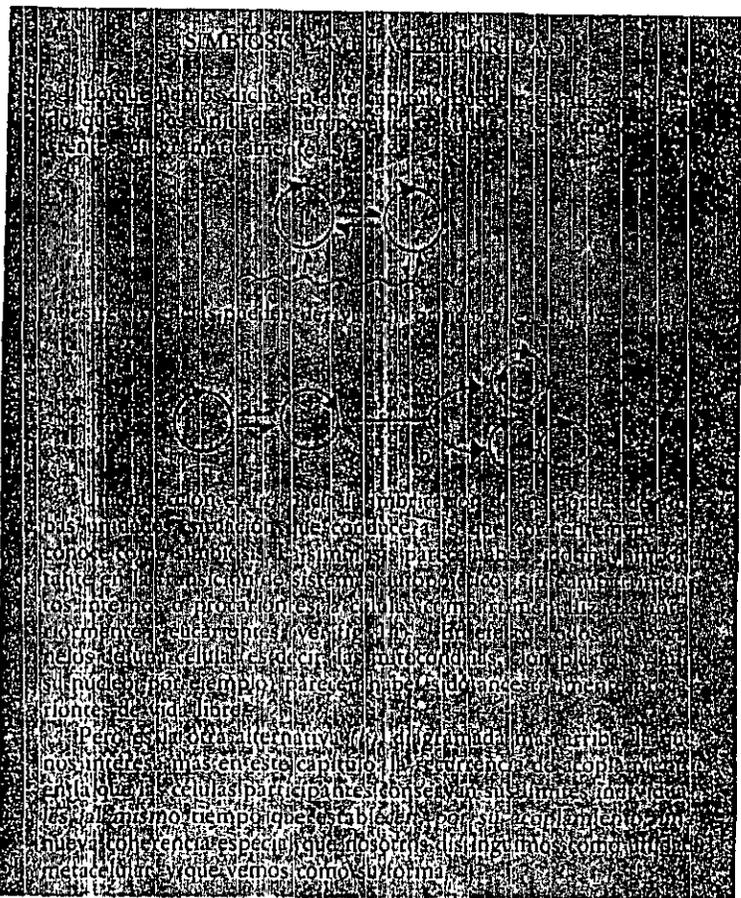


Fig. 22 —Ejemplos de las relaciones entre tamaño alcanzado y tiempo necesario para alcanzarlo en las distintas etapas de los ciclos de vida de cuatro organismos





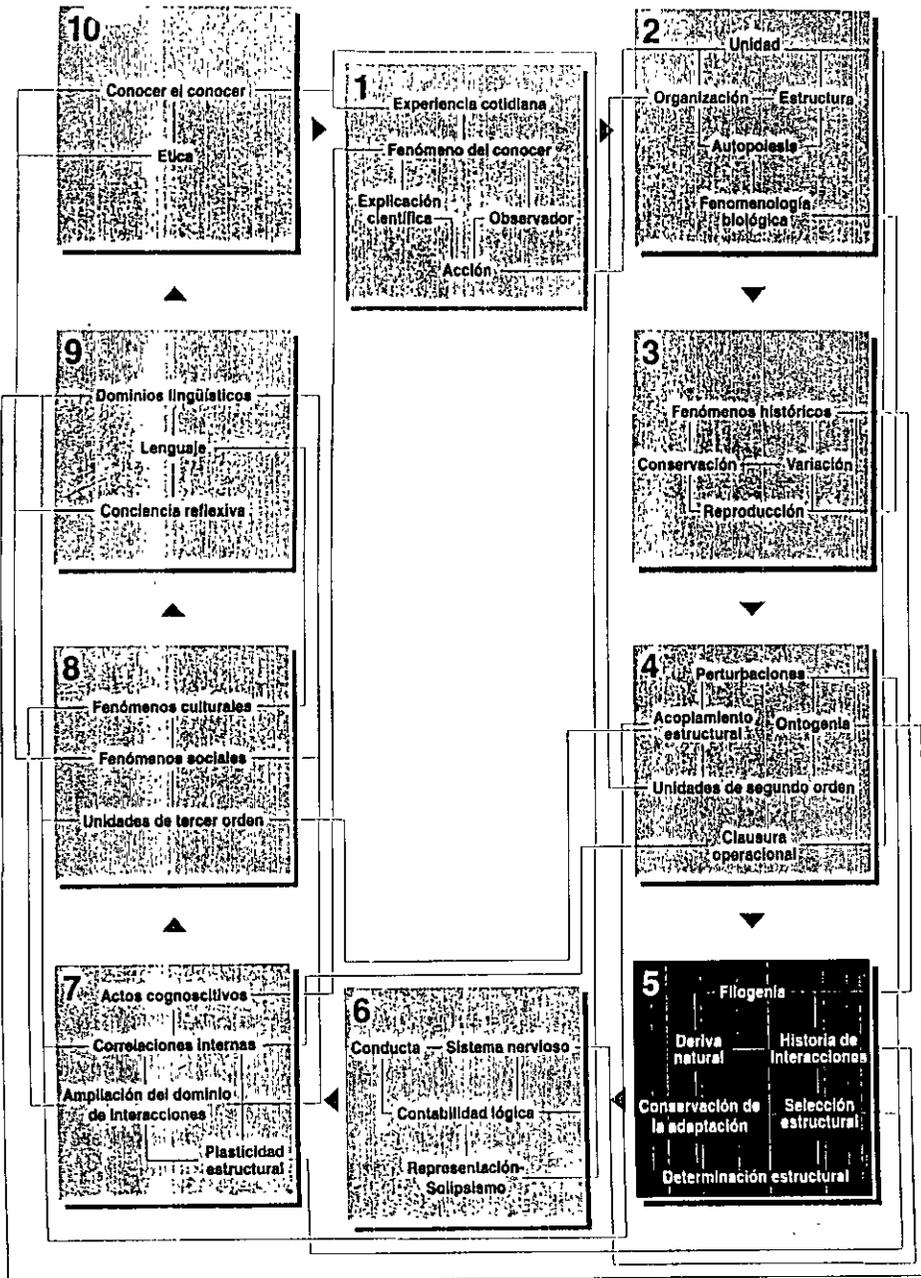
mas autopoieticos de primer orden? ¿Es el cuerpo fructífero de un mixomicete una unidad autopoietica?, ¿la ballena?

Estas no son preguntas fáciles. No es evidente cómo podría uno describir las relaciones entre componentes en un organismo de manera que se revele la organización de éste como una autopoiesis molecular de la misma manera que en una célula, caso que conocemos en gran detalle. En el caso de los metacelulares, tene-

mos hoy día un conocimiento mucho menos preciso de los procesos moleculares que los constituirían como unidades autopoieticas comparables a las células.

Para los propósitos de este libro vamos a dejar abierta la pregunta de si los metacelulares son sistemas autopoieticos de primer orden o no. Lo que sí podemos decir es que poseen *clausura operacional* en su organización: su identidad está especificada por una red de procesos dinámicos cuyos efectos no salen de esa red. Pero acerca de cuál es la forma explícita de tal organización no vamos a decir más. El no hacerlo no constituye una limitación para nuestros propósitos aquí; como ya hemos dicho, cualquiera que sea la organización de los metacelulares, ellos están compuestos por sistemas autopoieticos de primer orden y forman linajes a través de reproducción a nivel celular. Estas dos son condiciones suficientes para asegurarnos que todo lo que ocurre en ellos, como unidades autónomas, ocurre con conservación de la autopoiesis de las células componentes, así como con conservación de su propia organización. En consecuencia, todo lo que diremos a continuación se aplica tanto a sistemas autopoieticos de primero como de segundo orden, y no haremos distinción entre ellos a menos que sea estrictamente necesario.

* I. Margulis, *Symbiosis in Cell Evolution*, Freeman, San Francisco, 1980.



Capítulo V

LA DERIVA NATURAL DE LOS SERES VIVOS

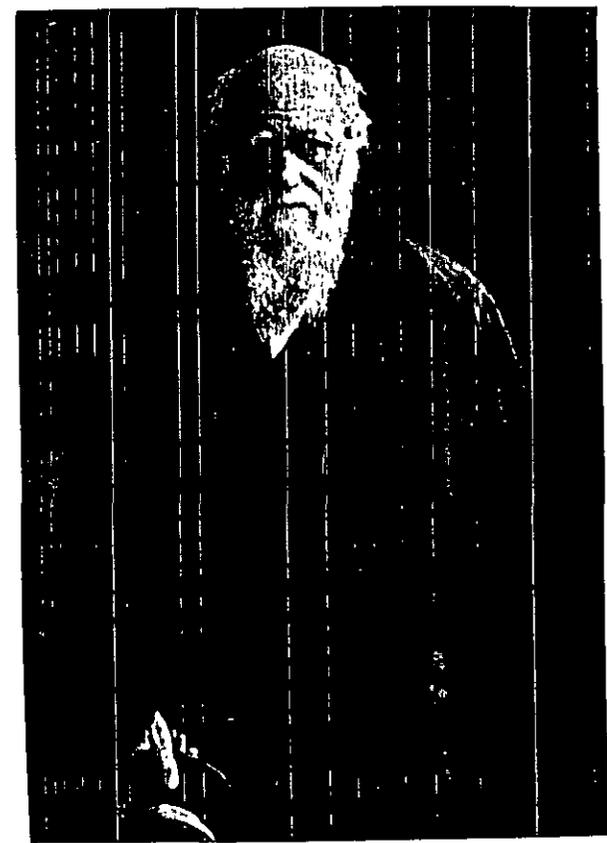


Fig. 24 — Charles Darwin

En los tres capítulos anteriores nos hemos formado una idea de tres aspectos fundamentales de los seres vivos. En primer lugar, hemos entendido cómo se constituyen como unidades, cómo su identidad queda definida por la organización autopoietica que les es peculiar. En segundo lugar, hemos precisado de qué manera esta identidad autopoietica puede adquirir la complicación de la reproducción, y así generar una red histórica de linajes producidos por la reproducción secuencial de unidades. Por último, hemos visto de qué manera los organismos celulares como nosotros nacen como resultado del acoplamiento entre células descendientes de una sola, y que todos los organismos como unidades metacelulares intercaladas en ciclos generacionales que siempre pasan por el estado unicelular no son sino variaciones fundamentales del mismo tema.

Todo esto conduce a que hay ontogenias de seres vivos que son capaces de reproducirse, y filogenias de distintos linajes reproductivos, todos ellos entretreídos en una gigantesca red histórica. Red que presenta una variación asombrosa, como nos es patente en el mundo orgánico que nos rodea de plantas, animales, hongos y bacterias, así como en las diferencias que observamos entre nosotros como seres humanos y otros seres vivos. Esta gran red de transformaciones históricas de los seres vivos es la trama de su existencia como seres históricos. En este capítulo vamos a retomar varios temas que surgen de los capítulos anteriores para comprender esta *evolución orgánica* de manera global y general, ya que sin una comprensión adecuada de los mecanismos históricos de transformación estructural no hay comprensión del fenómeno del conocer.

En realidad, la clave para entender el origen de la evolución descansa sobre algo que ya hemos notado en los últimos capítulos: la asociación inherente que hay entre diferencias y semejanzas en cada etapa reproductiva, conservación de organización y cambio estructural. Porque hay semejanza, hay la posibilidad de una serie histórica o linaje ininterrumpido. Porque hay diferencias estructurales, hay la posibilidad de variaciones históricas en los linajes. Pero, más precisamente ¿cómo es que se producen o establecen ciertos linajes y no otros? ¿Cómo es que al mirar alrededor nuestro nos parece que el pez es tan naturalmente acuático y el caballo tan adecuado en el llano? Para poder contestar estas preguntas es necesario primero que examinemos más de cerca y

explícitamente cómo ocurren las interacciones entre los seres vivos y lo que los rodea.

DETERMINACION Y ACOPLAMIENTO ESTRUCTURAL

La historia del cambio estructural de un ser vivo particular es su ontogenia. En esta historia todo ser vivo parte con una estructura inicial, que condiciona el curso de sus interacciones y acota los cambios estructurales que éstas desencadenan en él. Al mismo tiempo, nace en un lugar particular, en un medio que constituye el entorno en que se realiza, y en el cual interactúa y que nosotros también vemos como dotado de una dinámica estructural propia, *operacionalmente distinta* del ser vivo. Esto es crucial. Como observadores, hemos distinguido la unidad que es el ser vivo de su trasfondo y lo hemos caracterizado con una organización determinada. Con ello hemos optado por distinguir dos estructuras que van a ser consideradas operacionalmente independientes una de la otra, ser vivo y medio, y entre las cuales se dan una congruencia estructural necesaria (o la unidad desaparece). En tal congruencia estructural una perturbación del medio no contiene en sí una especificación de sus efectos sobre el ser vivo, sino que es éste en su estructura el que determina su propio cambio ante ella. Tal interacción no es instructiva porque no determina cuáles van a ser sus efectos. Por esto hemos usado nosotros la expresión *gatillar* un efecto, con lo que hacemos referencia a que los cambios que resultan de la interacción entre ser vivo y medio son desencadenados por el agente perturbante y *determinados por la estructura de lo perturbado*. Lo propio vale para el medio, el ser vivo es una fuente de perturbaciones y no de instrucciones.

Ahora bien, el lector, a esta altura, quizá está pensando que todo esto suena muy complicado y que es también muy propio de los seres vivos. Precisamente, como en el caso de la reproducción, se trata más bien de un fenómeno absolutamente corriente y cotidiano. Y el no verlo en toda su obviedad es fuente de complicaciones. Por eso vamos a detenernos un momento más en examinar qué ocurre toda vez que hemos distinguido una unidad y un medio en el cual interactúa.

De hecho, la clave para entender todo esto es simple: como científicos sólo podemos tratar con unidades *determinadas estruc-*

turalmente. Esto es: sólo podemos tratar con sistemas en los cuales todos sus cambios están determinados por su estructura, cualquiera que ésta sea, y en los cuales estos cambios estructurales se dan como resultado de su propia dinámica o desencadenados por sus interacciones.

En nuestra vida cotidiana, de hecho, actuamos como si todo lo que encontramos fuesen unidades determinadas estructuralmente. El automóvil, la grabadora, la máquina de coser o el ordenador son sistemas que tratamos como si tuviesen determinación estructural. Si no, ¿cómo se explicaría que cuando hay un fallo intentamos modificar la estructura y no otra cosa? Si al apretar el acelerador del coche nos encontramos con que no avanza, a nadie se le ocurre pensar que algo malo pasa con el pie que aprieta. Se supone que el problema está en el acoplamiento entre acelerador y sistema de inyección, o sea, en la estructura del coche. Así los fallos de las máquinas construidas por el hombre son más reveladores de su operar efectivo que las descripciones que hacemos de ellas cuando no fallan. En ausencia de fallos, abreviamos nuestra descripción diciendo que hemos dado «instrucciones» al ordenador para que nos dé el balance de nuestra cuenta corriente.

Esta actitud cotidiana (que sólo se hace más sistemática y explícita en la ciencia, en la aplicación rigurosa del criterio de validación de las afirmaciones científicas) no es sólo adecuada a los sistemas artificiales, sino también a los seres vivos y los sistemas sociales. De no ser así, no acudiríamos nunca a un médico cuando sentimos malestar o cambiaríamos de administrador en un servicio cuando éste no funciona como se espera. Esto no contradice la posibilidad de que optemos por no dar una explicación de muchos fenómenos de nuestra experiencia humana. Pero si es que optamos por proponer una explicación científica, entonces las unidades que consideramos las suponemos determinadas estructuralmente.

Todo esto queda explícito distinguiendo cuatro dominios (o ámbitos o rangos) que la estructura de una unidad específica:

- a) *Dominio de cambios de estado*: esto es, todos aquellos cambios estructurales que una unidad puede sufrir sin que su organización cambie, es decir, manteniendo su identidad de clase.
- b) *Dominio de cambios destructivos*: todos aquellos cambios

estructurales que conllevan el que la unidad pierda su organización y, por tanto, desaparezca como unidad de una cierta clase.

- c) *Dominio de perturbaciones*: es decir, todas aquellas interacciones que gatillen cambios de estado.
- d) *Dominio de interacciones destructivas*: todas aquellas perturbaciones que resulten en un cambio destructivo.

Así, todos suponemos, con alguna razón, que las balas de

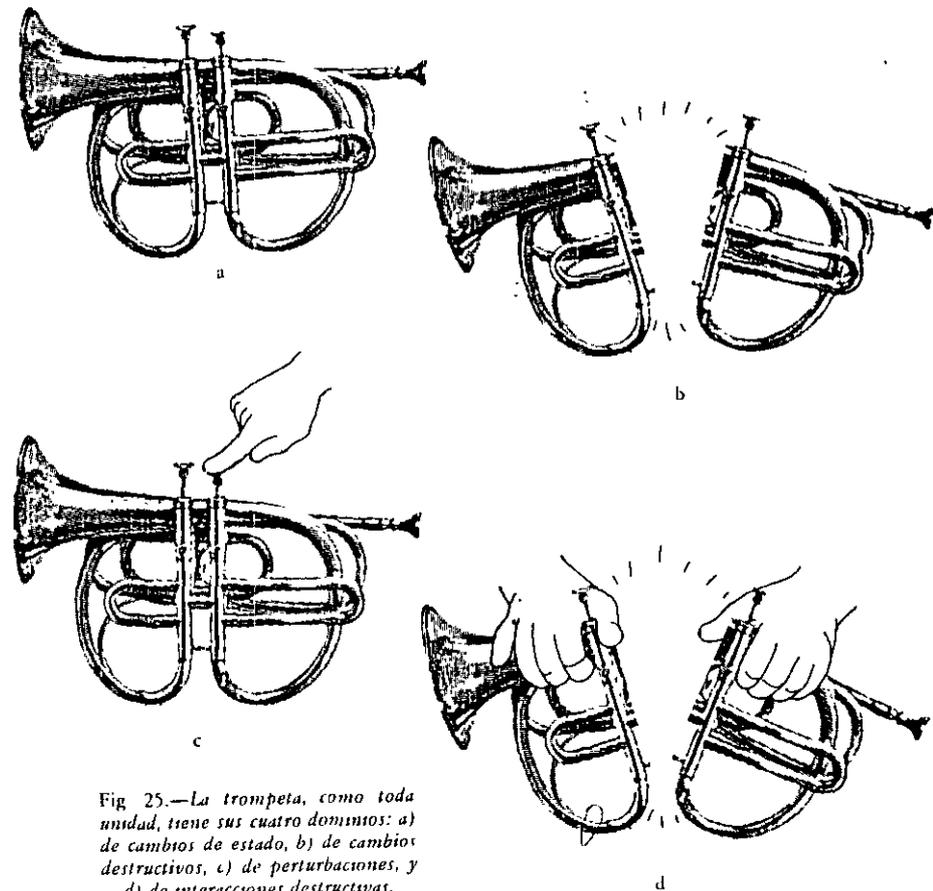


Fig. 25.—La trompeta, como toda unidad, tiene sus cuatro dominios: a) de cambios de estado, b) de cambios destructivos, c) de perturbaciones, y d) de interacciones destructivas.

plomo disparadas a corta distancia, en general, gatillan en el que las recibe cambios destructivos especificados por la estructura de los seres humanos. Pero como es bien sabido, las mismas balas son simples perturbaciones para la estructura especificada por los hombres-vampiros, que requieren estacas de madera en el corazón para sufrir un cambio destructivo. O bien, es obvio que un choque serio contra un poste es una interacción destructiva para una furgoneta, pero es una simple perturbación para un tanque, etcétera (fig. 25).

Notemos que en un sistema dinámico determinado estructuralmente (ya que la estructura está en continuo cambio) sus dominios estructurales sufrirán también variación, aunque siempre estarán especificados en cada momento por su estructura presente. Es este continuo cambio en sus dominios estructurales lo que va a ser lo propio de la ontogenia de cada unidad dinámica, ya sea una radio-casete o un leopardo.

Mientras una unidad no entre en una interacción destructiva con su medio, nosotros como observadores necesariamente veremos que entre la estructura del medio y de la unidad hay una compatibilidad o conmensurabilidad. Mientras esta compatibilidad exista, medio y unidad actuarán como fuentes mutuas de perturbaciones y se gatillarán mutuamente cambios de estado, proceso continuado que hemos designado con el nombre de *acoplamiento estructural*. Así, por ejemplo, en la historia de acoplamiento estructural entre los linajes de automóviles y las ciudades hay cambios dramáticos por ambos lados, pero en cada uno se dan como expresión de su propia dinámica estructural bajo interacciones selectivas con el otro.

ONTOGENIA Y SELECCION

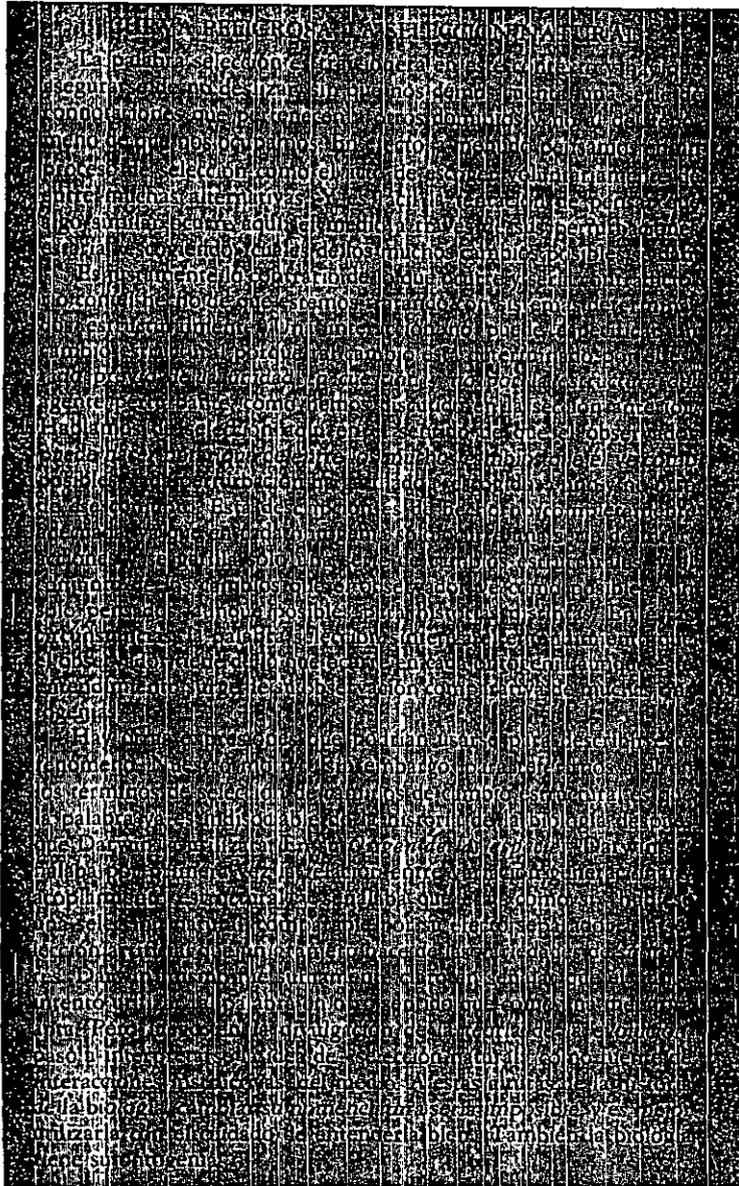
Todo lo dicho anteriormente es válido para cualquier sistema y, por tanto, es válido también para los seres vivos. Los seres vivos no son únicos ni en su determinación ni en su acoplamiento estructural, sin embargo. Lo que les es propio es que en ellos la determinación y el acoplamiento estructural se realizan en el marco de la continua conservación de la autopoiesis que los define, sea ésta de primer o segundo orden, y el que todo en ellos quede subordinado a esta conservación. Así, incluso la autopoiesis

de las células que componen un metacelular se subordina a la autopoiesis de éste como sistema autopoietico de segundo orden. Por tanto, todo cambio estructural ocurre en un ser vivo necesariamente acotado por la conservación de su autopoiesis, y serán perturbaciones aquellas interacciones que gatillen en él cambios estructurales compatibles con dicha conservación, e interacciones destructivas las que no. El continuo cambio estructural de los seres vivos con conservación de su autopoiesis está ocurriendo a cada instante, continuamente, de muchas maneras simultáneamente. Es el palpar de toda la vida.

Ahora bien, notemos una cosa interesante: cuando nosotros como observadores hablamos de lo que ocurre con un organismo en una interacción específica, estamos en una situación peculiar. Por un lado, tenemos acceso a la estructura del medio y, por otro lado, a la estructura del organismo, y podemos considerar las muchas maneras como podrían haber cambiado ambos en su encuentro, si se hubieran dado otras circunstancias de interacción que podemos imaginar conjuntamente con la que de hecho se da. Así podemos imaginar cómo sería el mundo si Cleopatra hubiese sido fea. O, en un ejemplo más serio, cómo sería ese niño que nos pide limosna si hubiese sido alimentado adecuadamente cuando era bebé. Desde esta perspectiva los cambios estructurales que de hecho se dan en una unidad aparecen como «seleccionados» por el medio mediante el continuo juego de las interacciones. Y como consecuencia, el medio puede verse como un continuo «selector» de cambio estructural que el organismo sufre en su ontogenia.

En un sentido estricto, con el medio pasa exactamente lo recíproco. Para él, en su propia historia, el o los seres vivos que en él interactúan operan como selectores de su cambio estructural. Así, por ejemplo, el hecho de que entre todos los gases posibles, las células disiparan oxígeno durante los primeros millones de años después del origen de los seres vivos, habría determinado cambios substanciales en la atmósfera terrestre, de manera que hoy día existe ese gas en un porcentaje importante como resultado de esa historia. A su vez, la presencia de oxígeno en la atmósfera habría seleccionado variaciones estructurales en muchos linajes de seres vivos, que llevaron a lo largo de la filogenia a la estabilización de formas que operan como seres respiradores de oxígeno. El acoplamiento estructural es siempre mutuo; ambos, organismos y medio, sufren transformaciones.





Si en estas circunstancias, frente a este fenómeno de acoplamiento estructural entre organismos y medio como sistemas operacionalmente independientes, prestamos atención al mantenimiento de los organismos como sistemas dinámicos en su medio, este mantenimiento nos aparecerá como centrado en una compatibilidad de los organismos con su medio que llamamos *adaptación*. Si observamos, en cambio, algún momento en que las interacciones del ser vivo en su medio resultan destructivas, y se desintegra al interrumpirse su autopoiesis, veremos al ser vivo como habiendo perdido su adaptación. La adaptación de una unidad en un medio, por tanto, es una consecuencia necesaria del acoplamiento estructural de esa unidad en ese medio, y no debiera sorprender. En otras palabras: la ontogenia de un individuo es una deriva de cambio estructural con invariancia de organización y, por tanto, con *conservación de adaptación*.

Digámoslo otra vez: la conservación de la autopoiesis y la conservación de la adaptación son condiciones necesarias para la existencia de los seres vivos; el cambio estructural ontogénico de un ser vivo en un medio será siempre una deriva estructural congruente entre el ser vivo y el medio. Esta deriva aparecerá ante un observador como «seleccionada» por el medio a lo largo de la historia de interacciones del ser vivo, mientras éste viva.

FILOGENIA Y EVOLUCION

Tenemos, a estas alturas, todos los elementos en la mano para entender en su conjunto la gran serie de transformaciones de los seres vivos durante su historia, y para contestar a las preguntas con que comenzamos este capítulo. El lector atento se habrá dado cuenta que, para poder adentrarnos más en este fenómeno, lo que hemos hecho es mirar bajo un microscopio conceptual lo que ocurre en la historia de las interacciones individuales. Porque entendiendo cómo esto ocurre *en cada caso*, y sabiendo que va a haber variaciones en cada etapa reproductiva, podemos proyectarnos en una escala de tiempo de varios millones de años y mirar a los resultados de un número muy (¡pero muy!) grande de repeticiones del mismo fenómeno de ontogenia individual seguida de cambio reproductivo. En la figura 26 tenemos una visión global

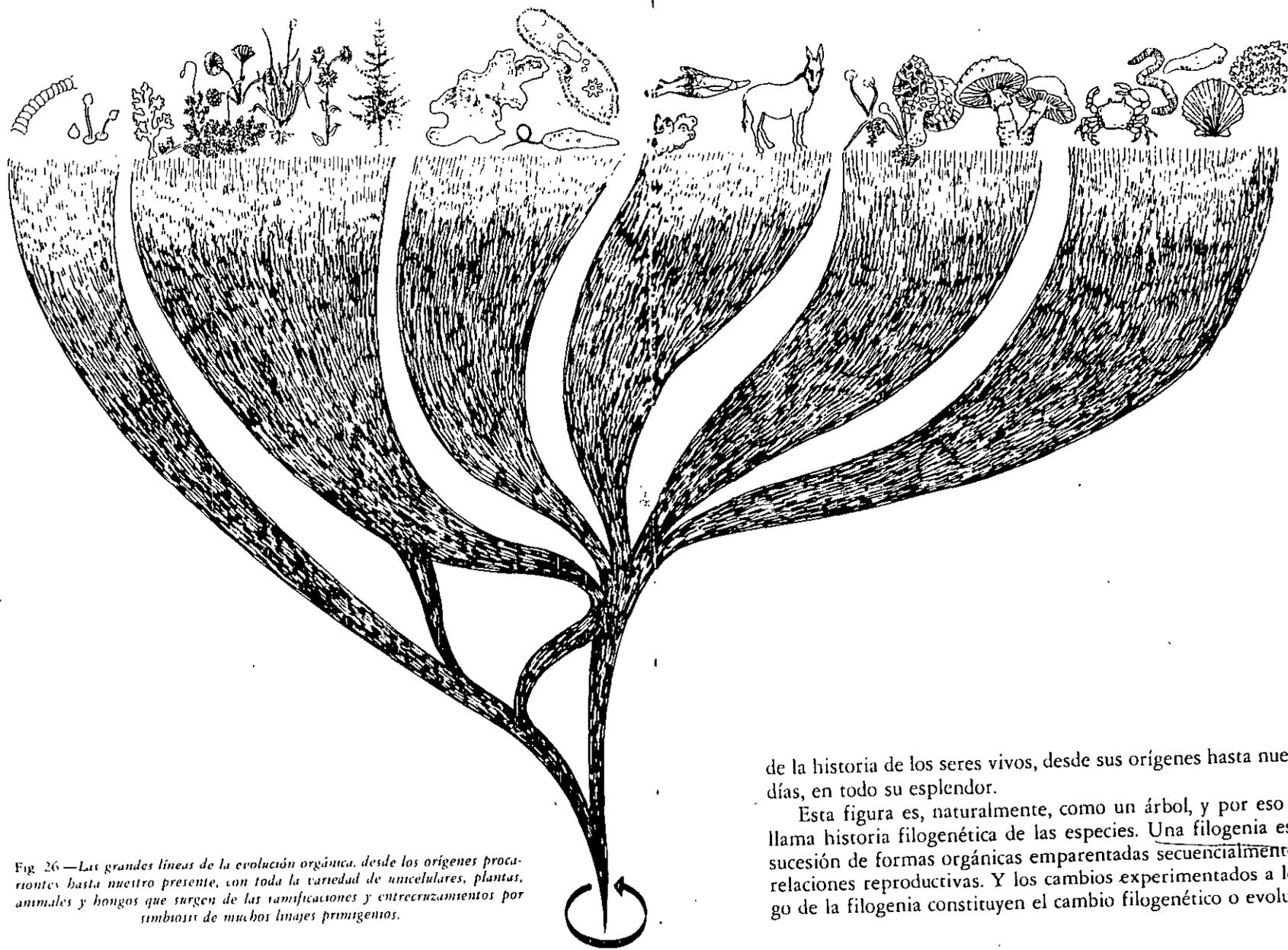


Fig. 26—Las grandes líneas de la evolución orgánica, desde los orígenes procariontes hasta nuestro presente, con toda la variedad de unicelulares, plantas, animales y hongos que surgen de las ramificaciones y entrecruzamientos por simbiosis de muchos linajes primigenios.

de la historia de los seres vivos, desde sus orígenes hasta nuestros días, en todo su esplendor.

Esta figura es, naturalmente, como un árbol, y por eso se la llama historia filogenética de las especies. Una filogenia es una sucesión de formas orgánicas emparentadas secuencialmente por relaciones reproductivas. Y los cambios experimentados a lo largo de la filogenia constituyen el cambio filogenético o evolutivo.

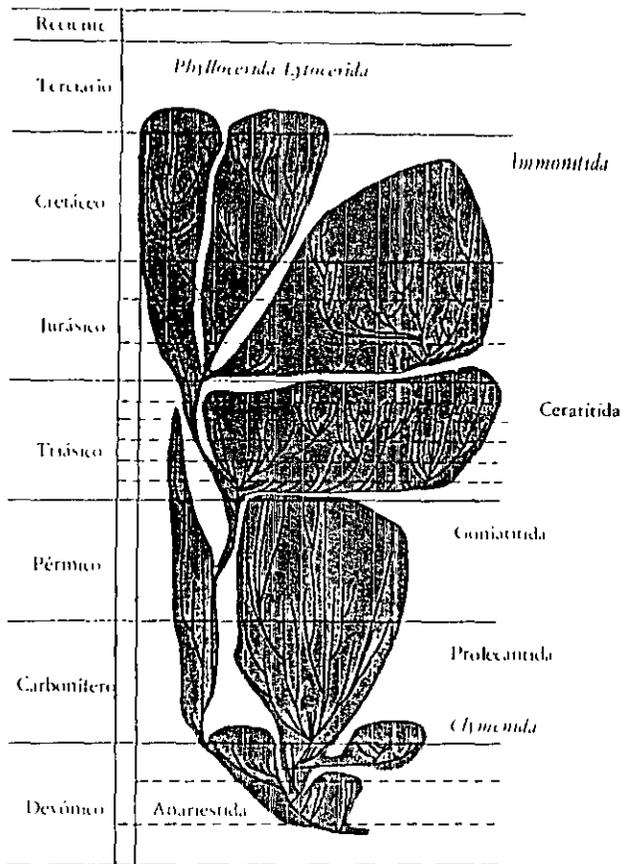


Fig. 27.—Expansión y extinción en linajes de un grupo de trilobites, animales que existieron entre 300 hasta 500 millones de años.

Por ejemplo, en la figura 27, tenemos una reconstrucción de la deriva de un grupo particular de metacelulares, unos invertebrados marinos muy antiguos conocidos como trilobites. Al haber variaciones en cada etapa reproductiva en la fase unicelular del animal, se genera, como se ve en cada momento de la historia de los trilobites, una gran diversidad de tipos dentro de este grupo. Cada una de estas variantes tiene un acoplamiento con el medio que es una variante de un tema central. Durante esta larga se-

cuencia hubo en la tierra transformaciones geológicas dramáticas, tales como las que ocurrieron al final del período llamado triásico, hace unos doscientos millones de años. Lo que el registro fósil nos revela es que durante este tiempo la mayoría de los linajes de los trilobites desaparecieron. Es decir, durante esos momentos del devenir estructural de los trilobites y su medio, las variaciones estructurales producidas en estos linajes no resultaron complementarias a las variaciones estructurales contemporáneas del medio, por lo que los organismos que constituían estos linajes no conservaron su adaptación, no se reprodujeron y estos linajes se interrumpieron. Los linajes en los que esto no pasó se conservaron por muchos millones de años más, pero eventualmente nuevos y repetidos cambios drásticos en el medio de los trilobites resultaron en que éstos no conservaron más su adaptación y todos sus linajes se extinguieron.

El estudio de los restos fósiles y de la paleontología permite construir historias semejantes a la de los trilobites para cada uno de los tipos de animales y plantas conocidos hoy día. No hay un solo caso en la historia estructural de los seres vivos que no revele que cada linaje es un caso particular de variaciones sobre un tema fundamental que se da en una secuencia ininterrumpida de etapas reproductivas con conservación de la autopoesis y adaptación.

Notemos que este caso, como todos, revela que hay muchas variaciones de una estructura que son capaces de producir individuos viables en un medio determinado. Todas ellas son igualmente adaptadas, como hemos visto antes, capaces de continuar el linaje a que pertenecen en el medio en que se dan, sea éste cambiante o no, por lo menos, por algunos miles de años. Este caso, sin embargo, también revela que los distintos linajes a que dan origen las distintas variaciones estructurales a lo largo de la historia evolutiva de un grupo difieren en la oportunidad que tienen de mantener ininterrumpida su contribución a la variedad del grupo en un medio cambiante. Esto se ve en una mirada retrospectiva que muestra que hay linajes que desaparecen revelando que las configuraciones estructurales que los caracterizaban no les permitieron la conservación de la organización y la adaptación que aseguraba su continuidad. En el proceso de la evolución orgánica, cumplido el requisito ontogénico esencial de la reproducción, todo está permitido. El no cumplirlo está prohibido, pues

lleva a la extinción. Ya veremos más adelante cómo eso condiciona de manera importante la historia cognoscitiva de los seres vivos.

DERIVA NATURAL

Miremos este deslumbrante árbol de la evolución orgánica desde el punto de vista de una analogía. Imaginemos un cerro de punta aguzada. Imaginemos que desde esta cumbre aguzada lanzamos hacia abajo gotas de agua, siempre en la misma dirección, aunque por la mecánica del lanzamiento se den variaciones en cómo comienzan a caer. Imaginemos, por último, que las gotas de agua así lanzadas sucesivamente dejan una huella sobre el terreno que constituye su registro de descenso.

Como es evidente, al repetir nuestro experimento muchas veces, tendremos resultados ligeramente distintos. Algunas gotas rodarán derecho hacia abajo en la dirección escogida; otras encontrarán obstáculos que sortearán de manera diferente debido a sus pequeñas diferencias de peso e impulso, desviándose hacia un lado o al otro; quizá habrá leves cambios de corrientes de viento que llevarán a otras gotas aún por caminos más sinuosos o que se alejan más del de la dirección inicial. Y así, indefinidamente.

Tomemos ahora esta serie de experimentos y siguiendo las huellas de cada gota, superpongamos todos los caminos que hemos recogido, con lo cual podemos de hecho imaginar que las hemos lanzado a todas juntas. Lo que obtendremos será algo como lo ilustrado en la figura 28.

Esta figura puede adecuadamente llamarse la representación de las múltiples derivas naturales de las gotas de agua sobre el cerro, resultado de sus diferentes modos individuales de interacción con las irregularidades del terreno, los vientos y demás. Las analogías con los seres vivos son obvias. La cumbre y la dirección inicial escogida equivalen al organismo ancestral común que da origen a descendientes con ligeras variaciones estructurales. La múltiple repetición equivale a los muchos linajes que surgen de estos descendientes. El cerro es, por supuesto, todo el medio circundante de los seres vivos que cambia según el devenir que en parte es independiente del devenir de los seres vivos y en parte depende de ellos, y que aquí se asocia a la disminución de altura,

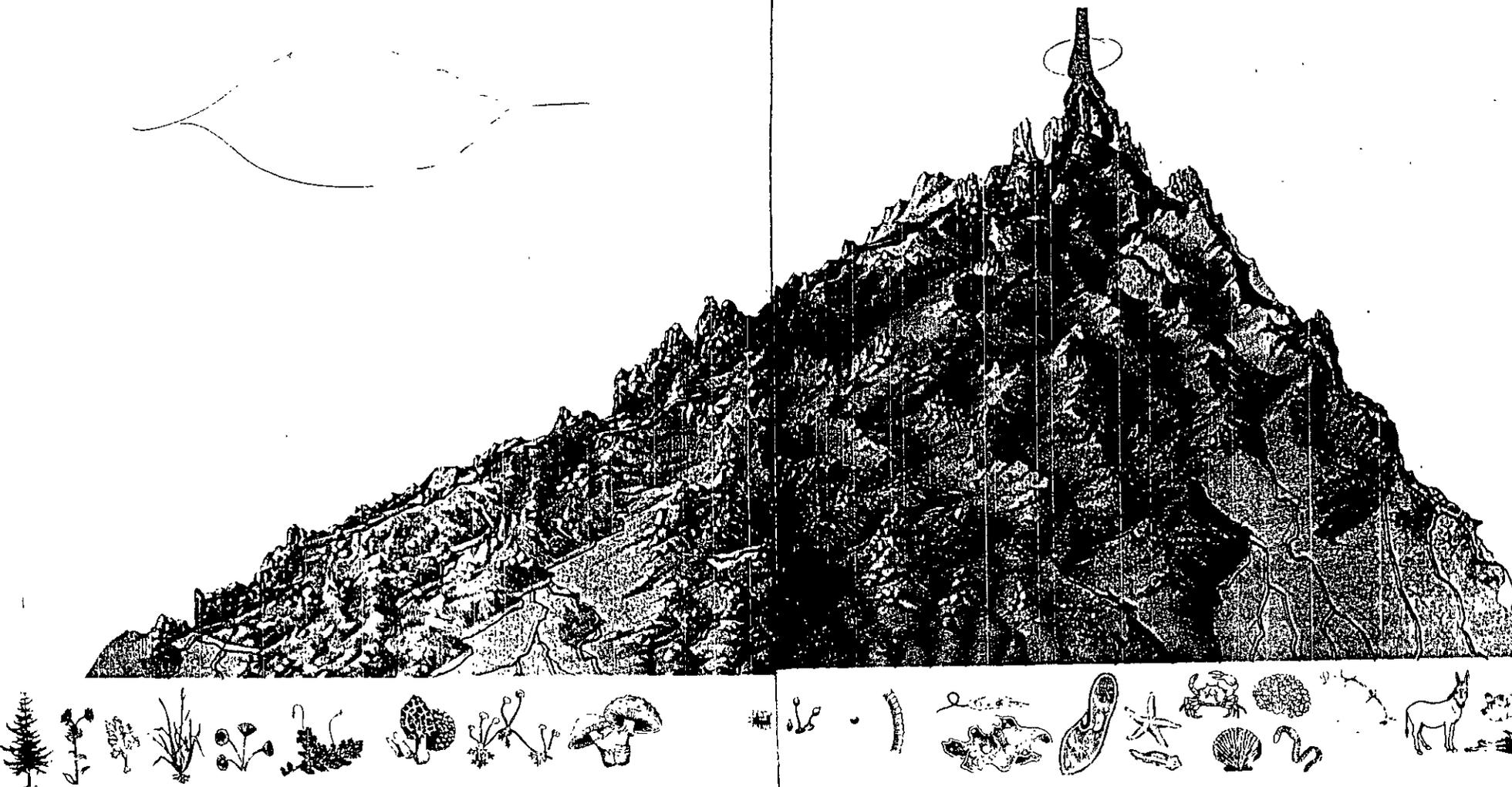
al mismo tiempo que el descenso continuo de las gotas de agua, en continua conservación de la disminución de la energía potencial, se asocia a la conservación de la adaptación. En esta analogía nos hemos saltado las etapas reproductivas porque lo que representamos en ella es el devenir de los linajes, no cómo se forman. Sin embargo, aun así, esta analogía nos muestra que la deriva natural se dará siguiendo sólo los cursos que son posibles en cada instante, muchas veces sin grandes variaciones en la apariencia de los organismos (fenotipo), y muchas veces con múltiples ramificaciones, según las relaciones organismo-medio que se conserve. Organismos y medio varían en forma independiente; los organismos en cada etapa reproductiva, el medio según una dinámica distinta. Del encuentro de estas dos variaciones surgirán la estabilización y la diversificación fenotípicas como resultado del mismo proceso de conservación de la adaptación y la autopoiesis según los momentos de dicho encuentro: estabilización cuando el medio cambia lentamente, diversificación y extensión cuando lo hace abruptamente. La constancia y variación de los linajes dependerán, por tanto, del juego entre las condiciones históricas en que éstos se dan, y de las propiedades intrínsecas de los individuos que los constituyen. Por esto habrá en la deriva natural de los seres vivos muchas extinciones, muchas formas sorprendentes y muchas formas imaginables como posibles que nunca veremos aparecer.

Imaginemos ahora otra visión de las trayectorias de la deriva natural de los seres vivos, mirándolas desde arriba, por así decirlo, de modo que ahora la forma primordial está en el centro, y los linajes derivados de ella se distribuyen a su alrededor, como ramificaciones que surgen del centro y se alejan más de él mientras más se diferencian los organismos que los constituyen de la forma original. Esto se ilustra en la figura 29*.

Al mirar de esta manera veríamos que la mayoría de los linajes de seres vivos que encontramos actualmente son, sobre todo, parecidos a las primeras unidades autopoieticas: bacterias, hongos, algas. Todos estos linajes equivalen a trayectorias que se mantienen cerca del punto central. Luego, algunas trayectorias se separan para constituir la variedad de seres multicelulares. Y algunas de esas, aún más para constituir vertebrados superiores:

* Concepto original de Raúl Berrios.

Fig. 28 — *La deriva natural de los seres vivos vista como la metáfora de la gota de agua.*



aves y mamíferos. Como en el caso de las gotas de agua, dados suficientes casos, y suficiente tiempo, muchos de los linajes posibles, por extraños que parezcan, van a ocurrir. También, algunos de los linajes se interrumpen porque llega un momento, como indicamos al hablar de los trilobites, en que la diversidad reproductiva que generan no es commensurable con la variación ambiental, y se acaba la conservación de la adaptación porque se producen en ellos seres incapaces de reproducción en el medio en que les toca vivir.

En el sistema de los linajes biológicos hay muchas trayectorias que pueden ser de larga duración sin grandes variaciones en torno a una forma fundamental, muchas que involucran grandes cambios generadores de nuevas formas y, por último, muchas que se extinguen sin dar ramificaciones que lleguen al presente. En todos los casos, sin embargo, se trata de derivas filogenéticas en las que se conserva la organización y la adaptación de los organismos que componen los linajes, mientras éstos existen. Más aún, no son las variaciones del medio que un observador ve lo que determina la trayectoria evolutiva de los distintos linajes, sino el curso que sigue la conservación del acoplamiento estructural de los organismos en un medio propio (nicho) que ellos definen y cuyas variaciones pueden pasar inadvertidas para un observador. ¿Quién puede observar las tenues variaciones en la fuerza del viento, del roce o de las cargas electrostáticas que pueden gatillar cambios en las trayectorias de las gotas del ejemplo ilustrado en la figura 28? El físico se desespera, levanta los brazos al cielo y habla simplemente de fluctuaciones azarosas. Sin embargo, a pesar de usar el lenguaje del azar, el físico sabe que debajo de cada situación observada hay procesos perfectamente deterministas que subyacen a lo que ocurre. Es decir, él sabe que para poder describir la situación en el nivel de las gotas de agua mismas necesita un detalle de descripción que le es prácticamente inaccesible, pero que puede ignorar si se atiene a una descripción probabilística que, suponiendo una legalidad determinista, predice la clase de fenómenos a ocurrir, pero ningún caso en particular.

Para entender el fenómeno evolutivo el biólogo se encuentra en una situación comparable, aunque los fenómenos que le interesan se rigen por leyes muy diferentes a los que rigen a los fenómenos físicos, como ya hemos visto al hablar de la conservación de la identidad y de la adaptación. Así, el biólogo conforta-

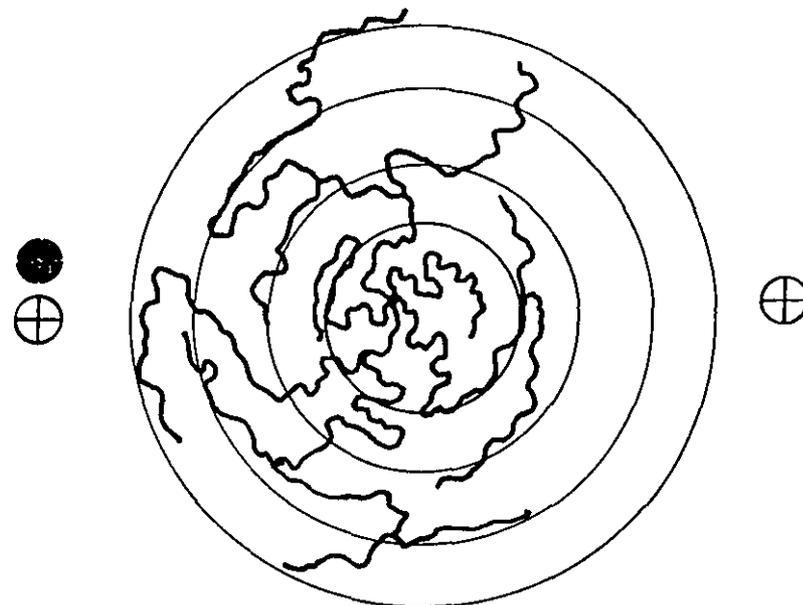


Fig. 29.—Deriva natural de los seres vivos como distancias de complejidad con respecto al origen común.

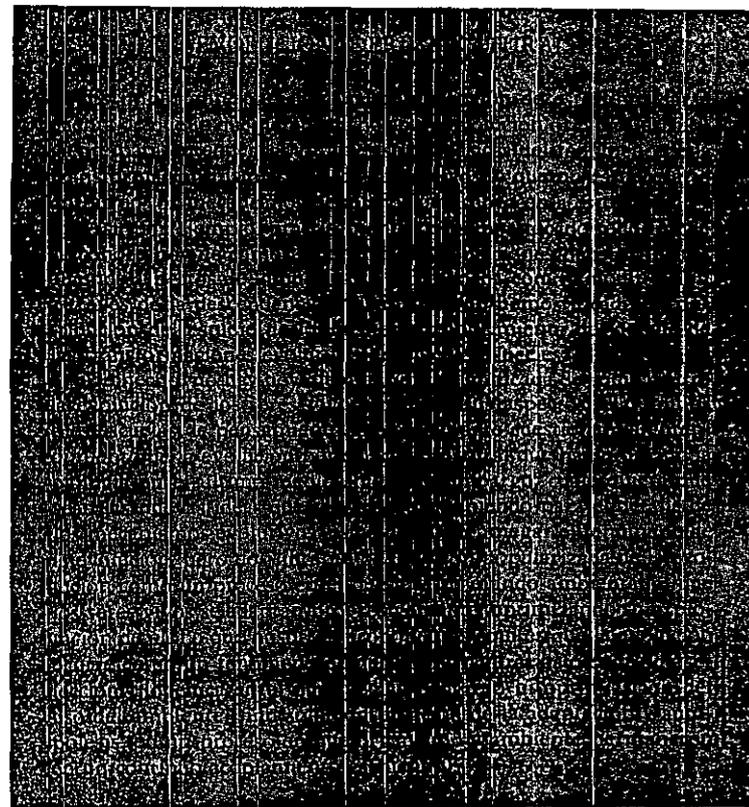
blemente puede dar cuenta de grandes líneas evolutivas en la historia de los seres vivos en base a su acoplamiento estructural a un medio cambiante (tales como los cambios ambientales a que hacemos referencia en el caso de los trilobites). Pero también levanta los brazos al cielo cuando se trata de explicar las transformaciones detalladas de un grupo animal, porque necesitaría reconstruir no sólo todas las variaciones ambientales sino también el modo como ese grupo en particular compensaría tales fluctuaciones según su propia plasticidad estructural. En definitiva, nos vemos forzados a describir cada caso particular como resultante de variaciones azarosas, ya que sólo podemos describir el transcurso de sus transformaciones *a posteriori*. De la misma manera que observaríamos un barco a la deriva, movido por variaciones del viento y la marea inaccesibles a nuestra previsión.

Podemos entonces decir que una de las partes más interesantes de la evolución es la manera cómo la coherencia interna de un

grupo de seres vivos compensa una perturbación determinada. Por ejemplo, si hay un cambio importante de temperatura terrestre, sólo aquellos organismos que sean capaces de vivir dentro de nuevos rangos de temperatura podrán mantener su filogenia ininterrumpida. Sin embargo, la compensación de temperatura puede hacerse de muchas maneras: con pieles gruesas, con cambios en las tasas metabólicas, con migraciones geográficas masivas, etc. En cada caso, lo que nosotros vemos como adaptación al frío también involucra al resto del organismo de una manera global, ya que el crecimiento de la piel, por ejemplo, implica necesariamente cambios correlativos, no sólo en la piel y los músculos, sino también en el cómo se reconocen los animales de un mismo grupo entre sí, y en la manera cómo se regula el tono muscular en la marcha. En otras palabras, ya que todo sistema autopoiético es una unidad de múltiples interdependencias, cuando hay una dimensión en ella que es afectada, es como si arrastrara a todo el organismo tras de sí a experimentar cambios correlativos en muchas dimensiones al mismo tiempo. Pero, por cierto, tales cambios correlativos que nos parecen como correspondiendo a cambios ambientales, no surgen así, sino en la deriva que se configura en el encuentro operacionalmente independiente de organismo y medio. Como no vemos todos los factores que participan en tal encuentro, la deriva se nos aparece como un proceso lleno de azar. Que no es así lo veremos más adelante cuando profundicemos más en las maneras como el todo coherente que es un organismo experimenta cambios estructurales.

Resumamos: la evolución es una *deriva natural* producto de la invariancia de la *autopoiésis* y de la adaptación. Como para el caso de las gotas de agua, no es necesaria una *direccionalidad externa* para generar la diversidad y la complementariedad entre organismo y medio que de hecho vemos; tampoco es necesaria tal guía para explicar la direccionalidad de las variaciones en un linaje, ni es el caso que se esté optimizando alguna cualidad específica de los seres vivos. La evolución más bien se parece a un escultor vagabundo que pasea por el mundo y recoge este hilo aquí, esta lata allá, este trozo de madera acá, y los une de la manera que su estructura y circunstancia permiten, sin más razón que el que puede unirlos. Y así, en su vagabundeo se van produciendo formas intrincadas compuestas de partes armónicamente interconectadas, que no son producto del diseño, sino de una deriva natural.

Así también, sin otra ley que la conservación de una identidad y la capacidad de reproducción, hemos surgido todos, y es lo que nos interconecta a todos en lo que nos es fundamental: a la rosa de cinco pétalos, al camarón de río o al ejecutivo de Santiago.



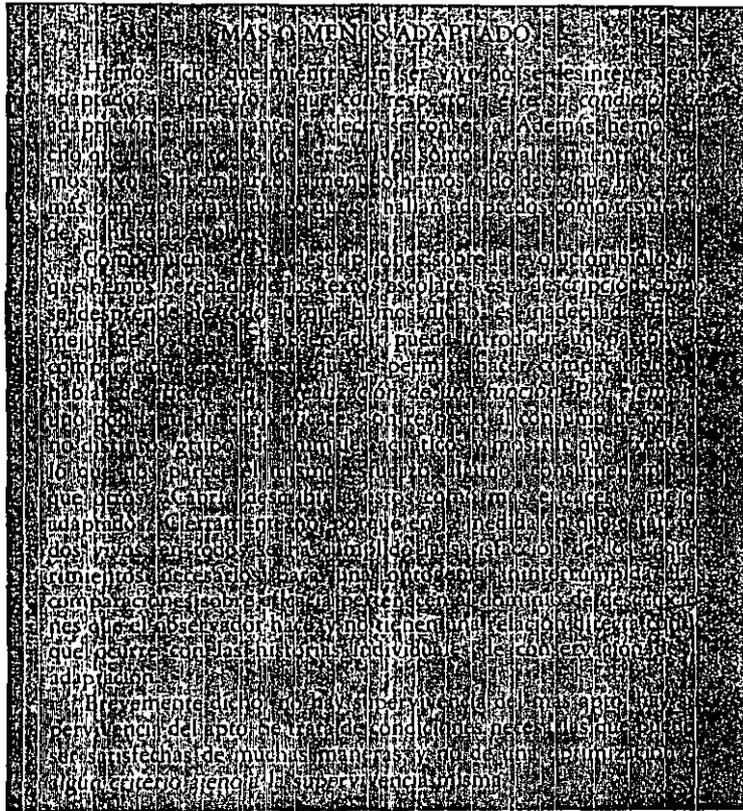
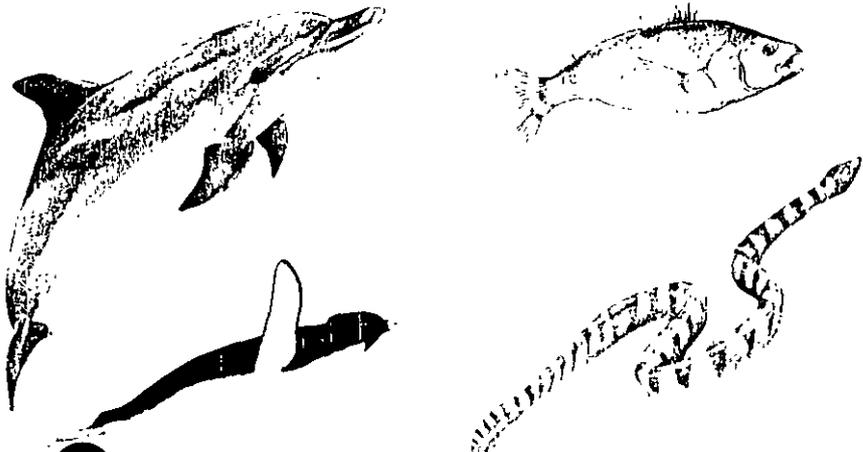


Fig. 30 — Distintas maneras de nadar.



Capítulo VI

DOMINIOS CONDUCTUALES

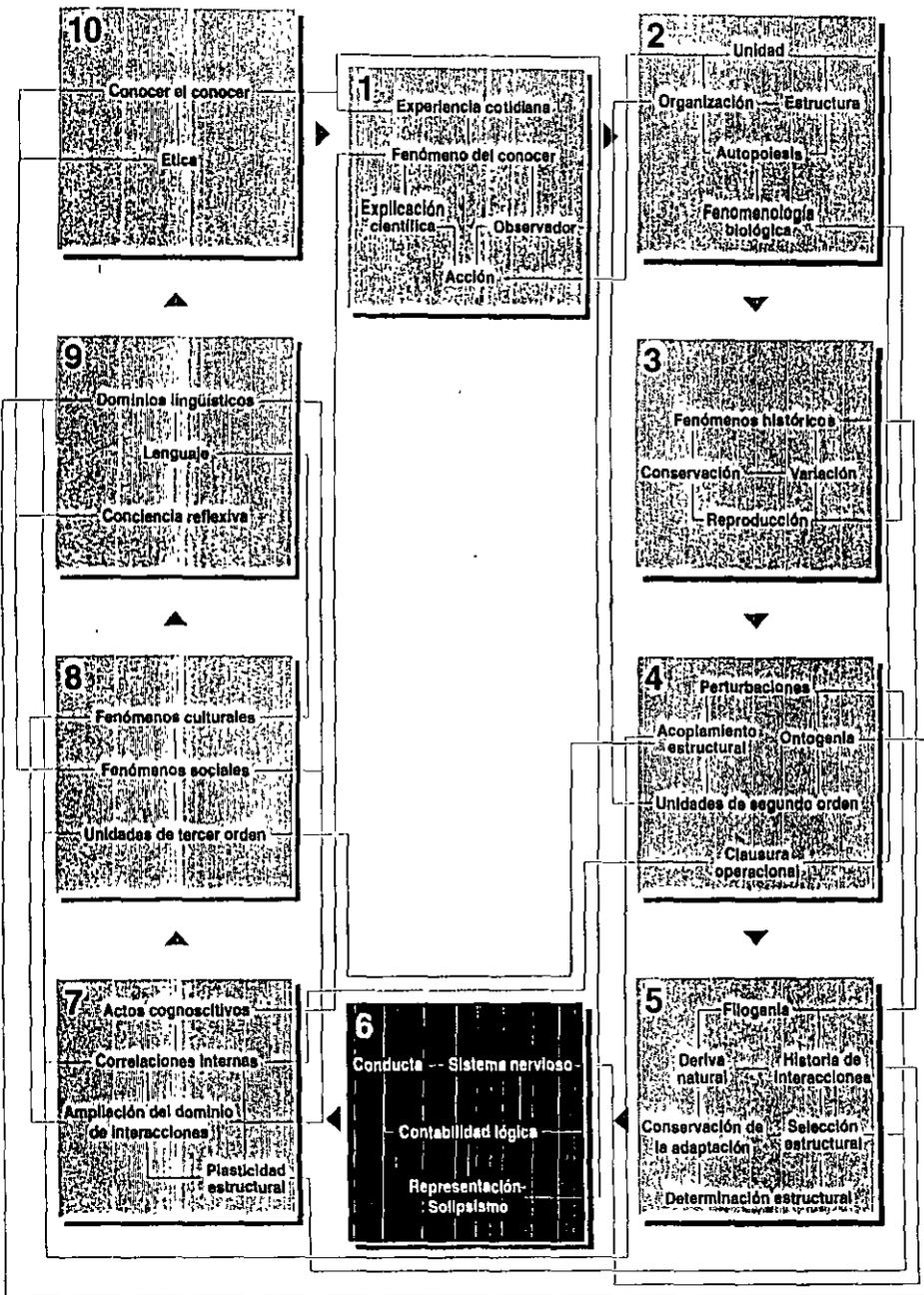


Fig 31 —Orangután quitando un ratón a un gato.

Cuando nos encontramos con un adivino profesional que nos promete con su arte predecir nuestro futuro, nos llenamos, en general, de sentimientos encontrados. Por un lado, nos atrae la idea de que alguien, mirando nuestras manos y apoyándose en un determinismo inescrutable para nosotros, pero que él revela, pueda anticiparnos nuestro futuro. Por otra parte, la idea de ser seres determinados, explicables y predecibles, nos parece inaceptable. Queremos el libre arbitrio de nuestra voluntad y estar más allá de todo determinismo. Pero, al mismo tiempo, queremos que el médico pueda curar nuestros males tratándonos como sistemas estructuralmente determinados. ¿Qué nos revela esto? ¿Qué relación hay entre nuestro ser orgánico y nuestra conducta? Nuestro propósito en este capítulo y en los próximos es responder a estas preguntas. Con este fin comenzaremos por examinar más de cerca cómo podemos entender un dominio conductual en todas sus posibles dimensiones.

PREDICTIBILIDAD Y SISTEMA NERVIOSO

Como hemos visto ya, sólo podemos generar una explicación científica en la medida que tratemos al fenómeno que nos interesa explicar como resultante del operar de un sistema determinado estructuralmente. De hecho, todo el análisis del mundo y los seres vivos que hemos presentado hasta ahora lo hemos hecho en términos deterministas, mostrando cómo el universo así visto se hace comprensible y cómo lo vivo surge de él como algo espontáneo y natural.

Ahora es preciso distinguir muy claramente entre determinismo y predictibilidad. Hablamos de predicción cada vez que después de considerar el estado presente de un sistema cualesquiera que observamos afirmamos que habrá un estado consecuente en él que resultará de su dinámica estructural y que también podremos observar. Una predicción, por tanto, revela lo que como observadores esperamos que ocurra.

De esto se sigue que la predictibilidad no es siempre posible, y que no es lo mismo afirmar el carácter estructuralmente determinado de un sistema que afirmar su completa predictibilidad. Porque como observadores podemos no estar en condiciones de conocer lo que es necesario conocer en el operar de un cierto

sistema para que una afirmación predictiva sea posible en él. Así, nadie discute que las nubes y los vientos siguen obedientemente ciertos principios de movimiento y transformación relativamente simples. Sin embargo, la dificultad de conocer todas las variables relevantes hace de la meteorología una disciplina sólo limitadamente predictiva hoy día. En este caso, nuestra limitación predictiva es por incapacidad observacional. En otros casos, nuestra incapacidad es de otra índole. Así hay fenómenos como la turbulencia, para la que ni siquiera tenemos elementos que nos permitan imaginar un sistema determinista detallado que le dé origen. En este caso, nuestra limitación predictiva revela nuestra limitación conceptual. Por último, hay sistemas que cambian de estado al ser observados, con lo que el solo intento por parte de un observador de predecir su curso estructural los saca del dominio de predicciones de éste.

En otras palabras, lo que nos parece como necesario e inevitable nos revela a nosotros como observadores capaces de hacer una predicción eficaz. Lo que vemos como azaroso, nos revela como observadores incapaces de proponer para ello un sistema explicativo científico.

Guardar estas condiciones *in mentis* es particularmente importante cuando nos ocupamos de estudiar qué ocurre con la ontogenia de aquellos organismos multicelulares dotados de sistema nervioso, a los cuales habitualmente atribuimos un dominio conductual muy vasto y muy rico. Y esto porque ya aún antes de que hayamos hecho explícito qué queremos decir al hablar de sistema nervioso podemos estar seguros de que éste, como parte de un organismo, tendrá que operar en él contribuyendo momento a momento a su determinación estructural. Esta contribución será tanto por su estructura misma como porque el resultado de su operar (lenguaje, por ejemplo) formará parte del medio que, instante a instante, operará como selector en la deriva estructural del organismo que conserva allí su identidad. El ser vivo (con o sin sistema nervioso), por tanto, opera siempre en su presente estructural. El pasado como referencia a interacciones ocurridas, y el futuro como referencia a interacciones por ocurrir, son dimensiones valiosas para comunicarnos entre nosotros como observadores, pero no entran como tales en el operar del determinismo estructural del organismo en cada momento.

Dotados o no de un sistema nervioso, todos los organismos,

incluidos nosotros, funcionan como funcionan y están donde están en cada instante, como resultado de su acoplamiento estructural. Nosotros escribimos estas líneas porque estamos hechos de una cierta manera y hemos seguido una cierta ontogenia particular. El lector, al leer esto, entiende lo que entiende porque su estructura en el presente y, por tanto, indirectamente, su historia, así lo determina. En un sentido estricto nada es accidente. Y, sin embargo, nuestra experiencia es de libertad creativa, y en nuestra visión el hacer de los animales superiores parece impredecible. ¿Cómo puede ocurrir esta riqueza tremenda en la conducta de los animales dotados de sistema nervioso? Para entender mejor esta pregunta necesitamos examinar más de cerca el operar mismo del sistema nervioso con toda la riqueza de los dominios de acoplamiento estructural que su presencia hace posibles.

DE SAPOS Y NIÑAS-LOBO

Todas las variedades de sapos, tan conocidos y populares en nuestros campos, se alimentan de animales pequeños, tales como gusanos, polillas y moscas, y su conducta alimenticia es siempre parecida: el animal se orienta a la presa, tira su lengua larga y pegajosa y al retraerla con la presa adherida a ella, engulle con rapidez. En esto la conducta del sapo es notoriamente precisa, y el observador ve que la dirección en que lanza su lengua siempre apunta hacia la presa.

Con un animal como el sapo, es posible, sin embargo, hacer un experimento muy revelador*. Se puede tomar un renacuajo o larva de sapo y, con pulso de cirujano, cortar el borde del ojo —respetando su nervio óptico— y rotarlo en 180 grados. Al animal así operado se le deja completar su desarrollo larval y metamorfosis hasta convertirse en adulto. Tomamos ahora nuestro sapo-experimento y le mostramos un gusano cuidando de cubrir su ojo rotado. La lengua sale y vemos que hace un blanco perfecto. Ahora repetimos el experimento, esta vez cubriendo el ojo normal. En este caso, vemos que el animal tira la lengua con una desviación exacta de 180 grados. Es decir, si la presa está abajo y al frente del animal, como sus ojos miran un poco hacia el lado,

* R. W. Sperry, *J. Neurophysiol.* 8:15, 1945.

éste gira y tira la lengua a lo que era atrás y arriba. Cada vez que repetimos la prueba comete el mismo tipo de error, se desvía en 180 grados, y es inútil insistir: el animal con el ojo rotado nunca cambia este nuevo modo de lanzar la lengua con una desviación respecto de la posición de la presa igual a la rotación impuesta por el experimentador (fig. 32). El animal lanza su lengua como si la zona de la retina donde se forma la imagen de la presa estuviese en su posición normal.

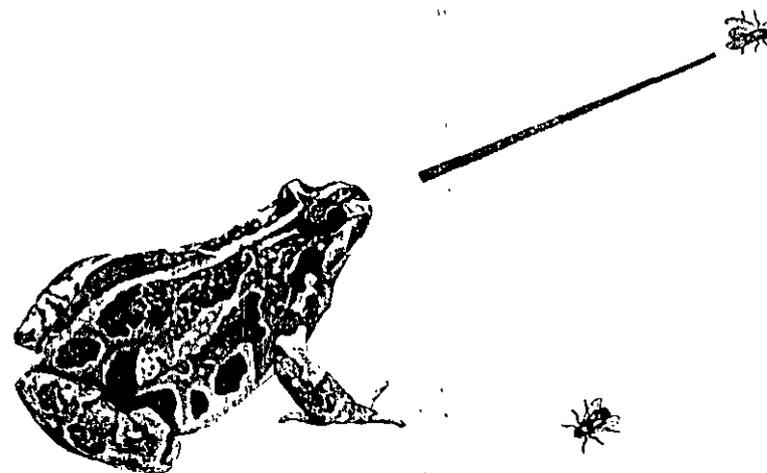


Fig. 32.—¿Error en la puntería o expresión de una inalterada correlación interna?

Este experimento revela de una manera muy dramática que para el animal no existe, como para el observador que lo estudia, el arriba o el abajo, el adelante o el atrás referidos al mundo exterior a él. Lo que hay es una correlación *interna* entre el lugar donde la retina recibe una perturbación determinada y las contracciones musculares que mueven la lengua, la boca, el cuello y en último término todo el cuerpo del sapo.

En un animal con el ojo rotado, al poner la presa abajo y adelante, hacemos caer una perturbación visual arriba y atrás, en la zona de la retina que habitualmente está ubicada adelante y abajo. Para el sistema nervioso del sapo esto desencadena una

correlación senso-motora entre posición de la retina y movimiento de la lengua y no una computación sobre un mapa del mundo como podría parecer razonable para un observador.

Este experimento, como muchos otros que se han realizado desde los años cincuenta, puede ser visto como evidencia directa de que el operar del sistema nervioso es expresión de su conectividad o estructura de conexiones, y que la conducta surge según el modo cómo se establecen en él sus relaciones de actividad *internas*. Pero vamos a volver sobre esto más explícitamente. Queremos ahora llamar la atención del lector sobre la dimensión de plasticidad estructural que la presencia del sistema nervioso introduce en el organismo; esto es de como para cada organismo su historia de interacciones resulta en un camino específico de cambios estructurales, que constituye una historia particular de transformación de una estructura inicial, en la que el sistema nervioso participa ampliando el dominio de estados posibles.

Si separamos de su madre por unas pocas horas a un corderito recién nacido para luego devolvérselo, veremos que el animalito se desarrolla de un modo aparentemente normal. El corderito crece, camina, sigue a su madre y no revela nada diferente hasta que observamos sus interacciones con otros corderos pequeños. Estos animales gustan de jugar corriendo y de darse golpes con la cabeza. El corderito que hemos separado de su madre por unas pocas horas, sin embargo, no lo hace. No sabe, y no aprende a jugar; permanece apartado y solitario. ¿Qué pasó? No podemos dar una respuesta en detalle de lo ocurrido, pero sabemos, por todo lo que hemos visto hasta aquí en este libro, que la dinámica de estados del sistema nervioso depende de su estructura. Por tanto, también sabemos que el que este animal se comporte de manera diferente revela que su sistema nervioso es diferente del de los otros como resultado de la privación materna transitoria. En efecto, durante las primeras horas después de nacer al corderito su madre lo lame persistentemente, pasándole la lengua por todo el cuerpo. Al separarlo, hemos impedido esta interacción y todo lo que conlleva de estimulación táctil, visual y, probablemente, contactos químicos de varios tipos. Estas interacciones se revelan en el experimento como decisivas para una transformación estructural del sistema nervioso que tiene consecuencias aparentemente muy remotas del simple lengüeteo como es el jugar.

Todo ser vivo comienza su existencia con una estructura uni-

celular particular que constituye su punto de partida. Por esto la ontogenia de todo ser vivo consiste en su continua transformación estructural, en un proceso que, por un lado, ocurre en él sin interrupción de su identidad ni de su acoplamiento estructural a su medio desde su inicio hasta su desintegración final y, por otro lado, sigue un curso particular seleccionado en su historia de interacciones por la secuencia de cambios estructurales que éstas han gatillado en él. Lo dicho para el corderito, por tanto, no es una excepción. Como en el ejemplo de la rana, es un caso que nos parece muy evidente, porque tenemos acceso a una serie de interacciones que podemos describir como «selectoras» de un cierto camino de cambio estructural que en el caso que nos preocupa resultó patológico al compararlo con el curso normal.

El que todo lo anterior de hecho ocurre con nosotros como seres humanos lo demuestra el caso, dramático, de dos niñas hindúes*, que en 1922 en una aldea bengalí, al norte de la India, fueron rescatadas (o arrancadas) del seno de una familia de lobos que las había criado en completo aislamiento de todo contacto humano (fig. 33). Las niñas tenían, una unos ocho años, la otra cinco; la menor falleció al poco tiempo de ser encontrada, en tanto que la mayor sobrevivió por unos diez años junto a otros huérfanos con quienes fue criada. Al ser encontradas, las niñas no sabían caminar erguidas y se movían con rapidez a cuatro patas. Desde luego, no hablaban y tenían rostros inexpresivos. Sólo querían comer carne cruda y eran de hábitos nocturnos, rechazaban el contacto humano y preferían la compañía de perros o lobos. Al ser rescatadas estaban perfectamente sanas, y no presentaban ningún síntoma de debilidad mental o idiocia por desnutrición; y su separación del seno de la familia loba produjo en ellas una profunda depresión que las llevó al borde de la muerte, con el fallecimiento de una de ellas.

La niña que sobrevivió diez años cambió eventualmente sus hábitos alimenticios y sus ciclos de actividad, y aprendió a caminar erguida, aunque siempre recurría a correr a cuatro patas cuando estaba movida por la urgencia. Nunca llegó a hablar con propiedad, aunque sí a usar unas pocas palabras. La familia del misionero anglicano que la rescató y cuidó de ella, lo mismo que

* C. McLean, *The Wolf Children*, Penguin Books, Nueva York, 1977.

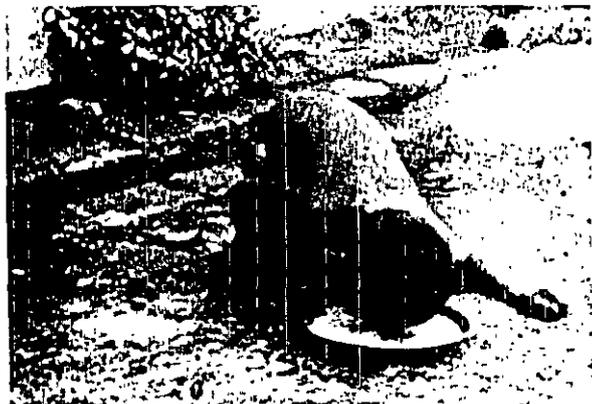
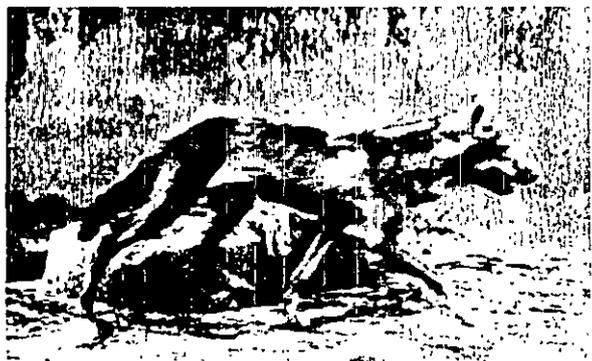


Fig 33 —a) y b) Carrera lobuna de la niña bengali, algún tiempo después de ser encontrada; c) Comiendo como aprendió; d) Nunca la sintieron completamente humana

las otras personas que la conocieron en alguna intimidad, nunca la sintieron verdaderamente humana.

Este caso —y no es el único— nos muestra que aunque en su constitución genética y en su anatomía y fisiología eran humanas, estas dos niñas nunca llegaron a acoplarse al contexto humano. Las conductas que el misionero y su familia querían cambiar en ellas porque eran aberrantes en un contexto humano eran enteramente naturales a su crianza lobuna. En verdad, Mowgli, el niño de la selva que imaginó Kipling, nunca habría podido existir en carne y hueso, porque Mowgli sabía hablar y se condujo como hombre en cuanto conoció el medio humano. Los seres de carne y hueso no somos ajenos al mundo en que existimos y que traemos a la mano con nuestro existir cotidiano.

mento como sistema determinado con clausura operacional, como se verá en el capítulo siguiente.

Por el otro lado, tenemos la otra trampa, la de negar el medio circundante, la de suponer que el sistema nervioso funciona completamente en el vacío, donde todo vale y todo es posible. Es el extremo de la absoluta soledad cognoscitiva o *solipsismo* (de la tradición filosófica clásica que afirmaba que sólo existe la propia interioridad). Y es una trampa porque no nos permite explicar el cómo hay una adecuación o conmensurabilidad entre el operar del organismo y su mundo.

Ahora, estos dos extremos o trampas han existido desde los primeros intentos de comprender el fenómeno del conocer, aún en sus raíces más clásicas. Hoy día predomina el extremo representacional, en otros tiempos ha predominado la visión contraria.

Nosotros queremos proponer ahora cómo cortar este aparente nudo gordiano y encontrar una manera natural de evitar estos dos abismos en el filo de la navaja. En realidad, el lector atento ya se habrá adelantado a lo que vamos a decir, porque está contenido en todo lo anterior. La solución es la de mantener una clara *contabilidad lógica*. Esto equivale a no perder nunca de vista aquello que dijimos desde un comienzo: todo lo dicho es dicho por alguien. La solución, como todas las soluciones de aparentes contradicciones, consiste en salirse del plano de la oposición y cambiar la naturaleza de la pregunta pasando a un contexto más abarcador.

La situación es en realidad simple. Como observadores podemos ver una unidad en dominios *diferentes*, según sean las distinciones que realicemos. Así, por un lado, podemos considerar a un sistema en el dominio del operar de sus componentes, en el dominio de sus estados internos y sus cambios estructurales. Desde este operar, para la dinámica interna del sistema, el ambiente no existe, es irrelevante. Por otro lado, *también* podemos considerar a una unidad en sus interacciones con el medio y describir su historia de interacciones en él. Para esta perspectiva en la que el observador puede establecer relaciones entre ciertas características del medio y la conducta de la unidad, la dinámica interna de ésta es irrelevante.

Ninguno de estos dos posibles dominios de descripción es problemático en sí, y ambos son necesarios para satisfacer nuestro sentido de cabal entendimiento de una unidad. Es el observa-

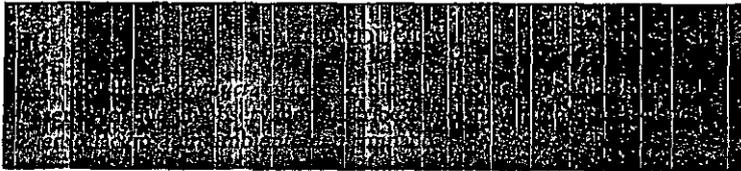


Fig 35.—La Odisea epistemológica: navegando entre el remolino Caribdis del solipsismo y el monstruo Scila del representacionismo.

dor quien desde su perspectiva externa los correlaciona; es él quien reconoce que la estructura del sistema determina sus interacciones al especificar qué configuraciones del medio pueden gatillar en él cambios estructurales; es él quien reconoce que el medio no especifica o instruye los cambios estructurales del sistema. El problema comienza cuando nos cambiamos, sin notarlo, de un dominio al otro, y empezamos a exigir que las correspondencias que nosotros podemos establecer entre ellos (porque podemos ver a estos dos dominios simultáneamente), entren de hecho en el operar de la unidad, organismo y sistema nervioso en este caso. Al mantener limpia nuestra contabilidad lógica, esta complicación

se disipa, nos hacemos cargo de estas dos perspectivas y las relacionamos en un dominio más abarcador que nosotros establecemos. Así no necesitamos recurrir a las representaciones, ni necesitamos negar que el sistema opera en un medio que le es conmensurable como resultado de su historia de acoplamiento estructural.

Todo esto quizá se aclara más a través de una analogía. Imaginemos a un sujeto que ha vivido toda su vida en un submarino y que, no habiendo jamás salido de él, ha recibido un entrenamiento perfecto de cómo manejarlo. Ahora, nosotros estamos en la playa y vemos que el submarino se acerca y emerge grácilmente a la superficie. Entonces, tomamos la radio y decimos al piloto en el interior: «Felicitaciones, has evitado los escollos y emergido con gran elegancia; las maniobras del submarino resultaron perfectas.» Nuestro amigo del interior, sin embargo, se desconcierta: «¿Qué es eso de escollos y de emerger? Todo lo que yo hice fue mover palancas y girar perillas y establecer ciertas relaciones entre indicadores al accionar las palancas y las perillas, en una secuencia prescrita de acuerdo con mi modo acostumbrado. Yo no he realizado maniobra alguna, y que, además, me hables de un submarino, me parece casi una burla.»



Para el hombre en el interior del submarino sólo existen las lecturas de los indicadores, sus transiciones, y las maneras de obtener ciertas relaciones específicas entre ellas. Es sólo para nosotros afuera, que vemos cómo cambian las relaciones entre el submarino y su ambiente, que existe la conducta del submarino, y que ésta puede aparecer más o menos adecuada según las consecuencias que tenga. Si hemos de mantener la contabilidad lógica no debemos confundir el operar del submarino mismo, su dinámica de estados, con sus desplazamientos y cambios de posición en el medio. La dinámica de estados del submarino, con su piloto que no conoce el mundo exterior, nunca ocurre en un operar con

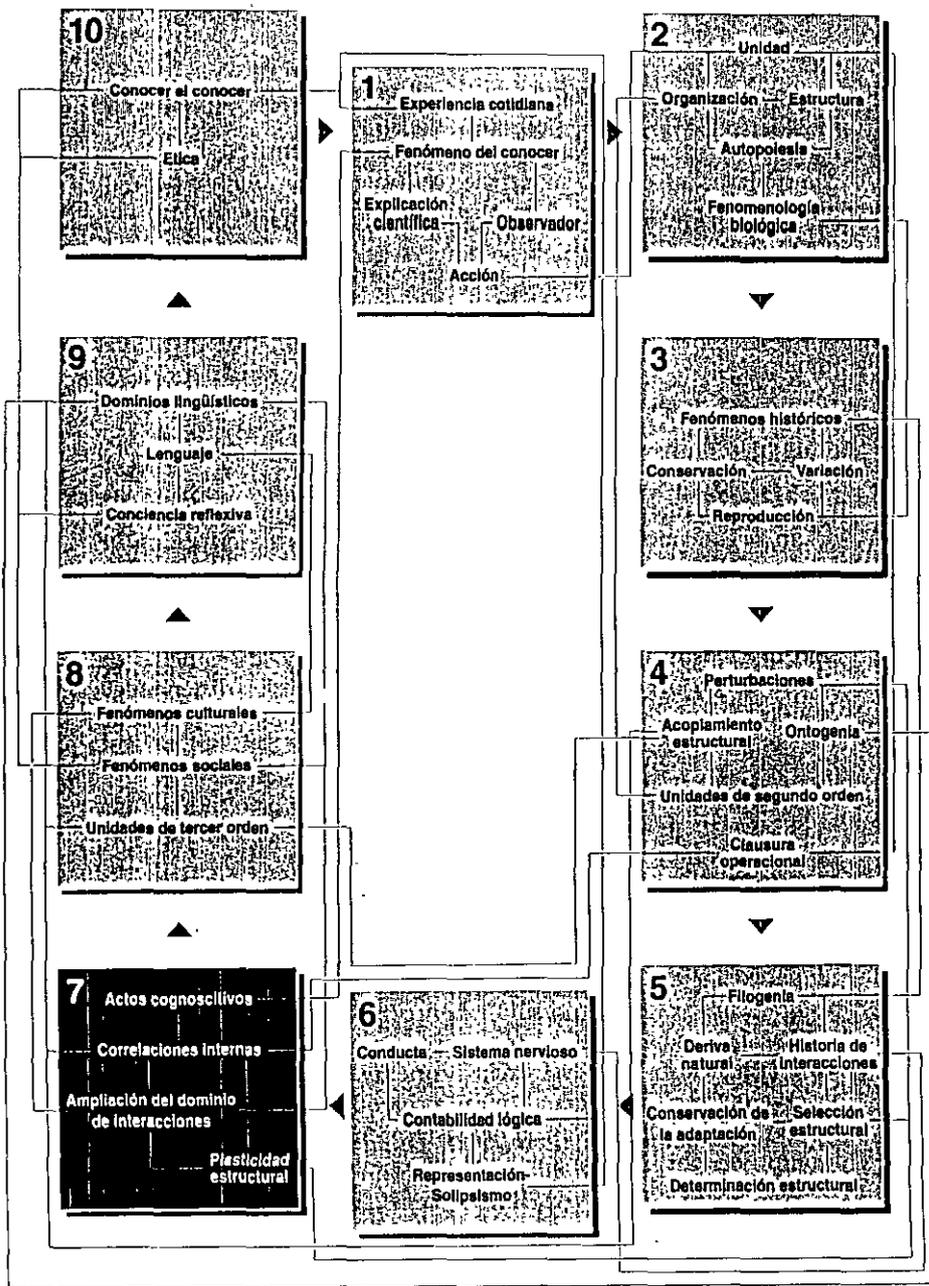
representaciones del mundo que el observador externo ve: no involucra ni «playas», ni «escollos», ni «superficie», sino sólo correlaciones entre indicadores dentro de ciertos límites. Entidades como playas, escollos o superficie son válidas únicamente para un observador externo, no para el submarino ni para el piloto que opera como componente de él.

Lo que es válido para el submarino en esta analogía es también válido para todos los sistemas vivos: para el sapito con ojo rotado, para la niña-lobo y para cada uno de nosotros los seres humanos.

CONDUCTA Y SISTEMA NERVIOSO

Lo que llamamos conducta al observar los cambios de estado de un organismo en su medio corresponde a la descripción que hacemos de los movimientos del organismo en un ambiente que nosotros señalamos. La conducta no es algo que el ser vivo *hace* en sí pues en él sólo se dan cambios estructurales internos, sino algo que nosotros señalamos. En la medida que los cambios de estado de un organismo (con o sin sistema nervioso) dependen de su estructura, y ésta de su historia de acoplamiento estructural, los cambios de estado del organismo en su medio serán necesariamente congruentes o conmensurables con él, cualesquiera sean las conductas y ambientes que describamos. Por esto, el que una conducta, como una configuración particular del movimiento, aparezca adecuada, dependerá del ambiente en que la describamos. El éxito o fracaso de una conducta queda siempre definido por el ámbito de expectativas que el observador especifica. Si el lector realiza los mismos movimientos y posturas que ahora adopta al leer este libro en el medio del desierto de Atacama, resultará una conducta no sólo excéntrica, sino patológica.

Así, la conducta de los seres vivos no es una invención del sistema nervioso, y no está exclusivamente asociada a él, ya que el observador verá conducta al mirar a cualquier ser vivo en su medio. Lo que hace la presencia del sistema nervioso es *expandir* el dominio de posibles conductas al dotar al organismo de una estructura tremendamente versátil y plástica. Este es el tema del próximo capítulo.



Capítulo VII

SISTEMA NERVIOSO Y CONOCIMIENTO

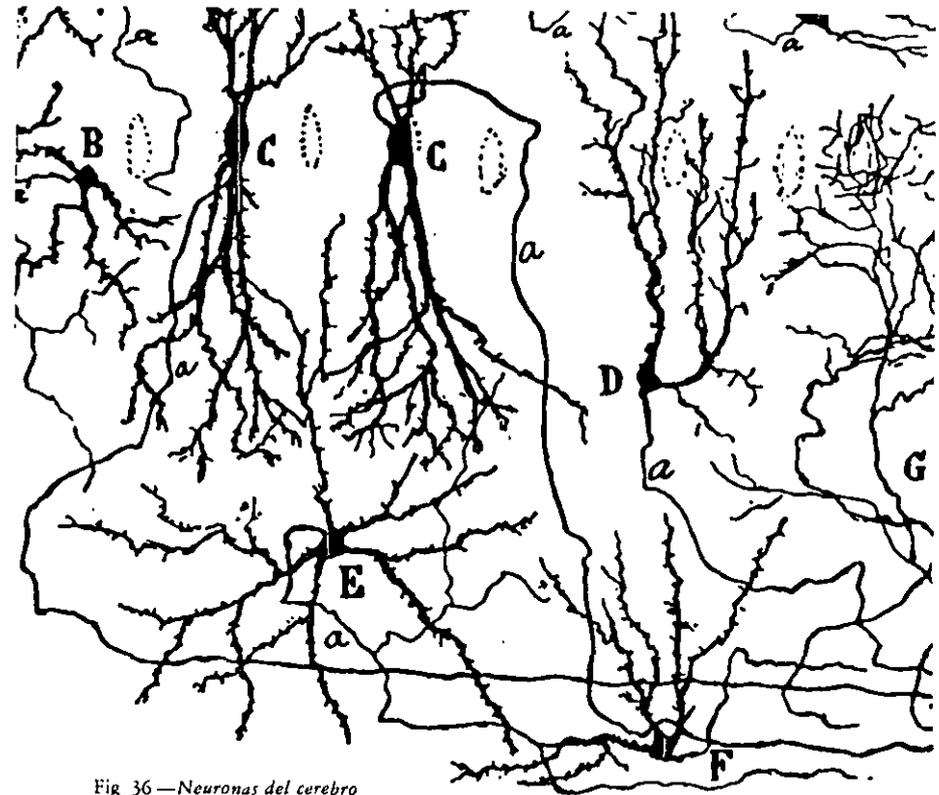


Fig 36 — Neuronas del cerebro dibujadas por Santiago Ramón y Cajal

En este capítulo queremos examinar *de qué manera* el sistema nervioso expande los dominios de interacción de un organismo. Hemos visto ya que la conducta no es una invención del sistema nervioso. Es propia de cualquier unidad vista en un medio donde especifica un dominio de perturbaciones y mantiene su organización como resultado de los cambios de estado que estas gatillan en ella.

Es importante mantener esto presente porque habitualmente nosotros vemos la conducta como algo propio de animales con sistema nervioso. Más todavía, las asociaciones usuales con la palabra conducta vienen de acciones tales como caminar, comer, buscar, etc. Si examinamos más de cerca lo que es común a todas esas actividades asociadas corrientemente a la noción de conducta, vemos que todas ellas tienen que ver con *movimiento*. Sin embargo, el movimiento, sea éste sobre tierra o agua, no es universal de los seres vivos. Entre las muchas formas resultantes de la deriva natural hay bastantes en que el movimiento está excluido.

HISTORIA NATURAL DEL MOVIMIENTO

Consideremos, por ejemplo, la planta ilustrada en la figura 37. Esta sagitaria, cuando crece fuera del agua, tiene la forma ilustrada arriba. Sin embargo, cuando sube el nivel del agua y queda sumergida, la planta cambia de estructura a través de algunos días y se transforma a su forma acuática, ilustrada abajo en la figura 37. La situación es enteramente reversible y ocurre con transformaciones estructurales bastante complicadas que tienen que ver con una distinta forma de diferenciación de las distintas partes de la planta. Este es un ejemplo que uno podría describir como conducta, en la medida que hay cambios estructurales que aparecen como cambios observables de forma de la planta en compensación de ciertas perturbaciones recurrentes del ambiente. Sin embargo, esta situación se describe normalmente como cambio en el desarrollo de la planta y no como conducta. ¿Por qué?

Comparemos el caso de la sagitaria con la conducta alimentaria de una ameba a punto de ingerir un pequeño protozoo mediante la extensión de sus pseudópodos (fig. 38). Estos pseudópodos son expansiones o digitaciones de protoplasma asociables a cambios en la constitución fisicoquímica local de la corteza y



Fig. 37.—*Sagittaria sagittifolia* en sus formas acuática y terrestre.

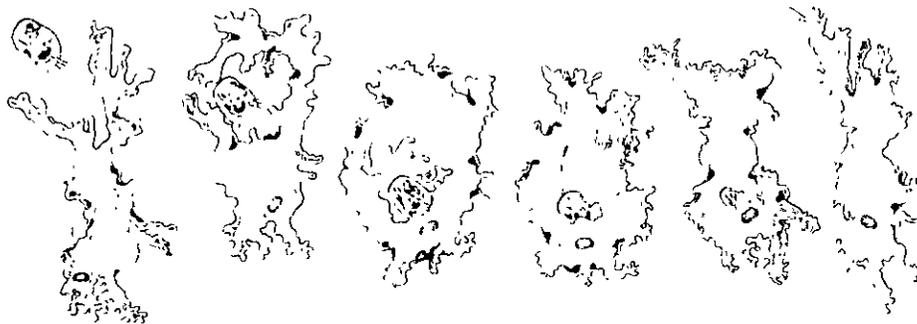


Fig. 38.—Ingestión

membrana celular. El resultado es que el protoplasma fluye en ciertos puntos y empuja al animal en una dirección u otra constituyendo su movimiento ameboide. En contraste a lo que ocurre con la sagitaria, nadie duda en describir esta situación como conducta.

Desde nuestro punto de vista es claro que entre ambos casos hay una continuidad. Ambas son instancias de conducta. Lo que nos interesa resaltar es que ingenuamente nos resulta más fácil llamar a uno conducta y al otro no, sólo porque somos capaces de detectar movimiento en la ameba y no en la sagitaria. Es decir, hay una continuidad entre este movimiento de la ameba y la gran diversidad de conductas en los animales superiores que siempre vemos como formas de movimiento. Por contraste, los cambios de diferenciación de la sagitaria parecen alejarse de lo que nos es más familiar como movimiento por su lentitud y lo vemos sólo como cambio de forma.

En realidad, desde el punto de vista de la aparición y transformación del sistema nervioso, la posibilidad de movimiento es esencial, y es esto lo que hace que la historia del movimiento sea tan fascinante. Exactamente cómo y por qué es lo que iremos viendo, poco a poco, a lo largo de este capítulo. Pero primero demos una mirada un poco más abarcadora y distanciada de los casos generales. Consideremos la posibilidad de movimiento como se da en todo el ámbito de la naturaleza.

En la figura 39 se ha representado gráficamente el tamaño de distintas unidades naturales en función de su capacidad de movi-

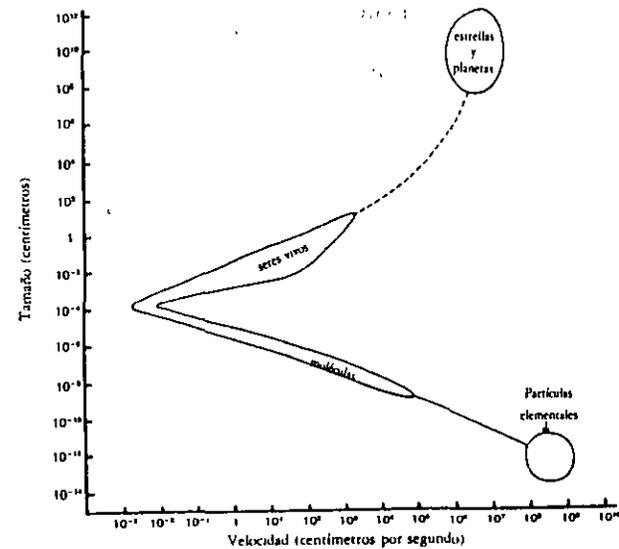


Fig. 39.—Relaciones de tamaño y velocidad en la naturaleza.

miento, medido en términos de velocidades máximas alcanzadas*. Así, se hace evidente que en los extremos de lo grande y lo pequeño, las galaxias y las partículas elementales son ambas capaces de movimientos muy rápidos, del orden de miles de kilómetros por segundo. Sin embargo, a medida que consideramos moléculas grandes, como las que constituyen los seres vivos, su movimiento será cada vez más lento toda vez que su tamaño es mayor y se mueven entre moléculas que les forman un entorno viscoso. Así, uno tiene moléculas, con muchas proteínas de nuestro organismo, que son tan grandes que sencillamente su desplazamiento espontáneo es despreciable comparado con la movilidad de las moléculas más pequeñas.

Es en estas circunstancias en que se da, como vimos en el capítulo II, la aparición de los sistemas autopoiéticos, hecho posible por la existencia de esta variedad de moléculas orgánicas de

* J. T. Bonner, *The Evolution of Culture in Animal Societies*, Princeton University Press, 1980.

gran tamaño. Una vez formadas las células, de un tamaño mucho mayor, es cuando la curva muestra ese brusco giro, en el que la historia de las transformaciones celulares permite la aparición de estructuras, tales como flagelos o pseudópodos, que hacen otra vez posible un movimiento considerable porque ponen en juego fuerzas mucho mayores que las de viscosidad. Más aún, cuando se originan los organismos pluricelulares, algunos de ellos desarrollan, a través de la diferenciación celular, capacidades locomotivas mucho más espectaculares. Así, un impala podrá correr a varias decenas de kilómetros por hora, a pesar de ser de un tamaño muchas veces mayor que la pequeña molécula que se desplaza (en promedio) a la misma velocidad. Los metazoos y los organismos unicelulares móviles crean, por tanto, un ámbito de movimiento que, para su tamaño, es único en la naturaleza.

No perdamos de vista, sin embargo, que la aparición de esta clase de movimiento no es universal ni necesaria para todas las formas de seres vivos. Las plantas son un caso fundamental resultante de una deriva natural en la que el movimiento está, esencialmente, ausente como modo de ser. Presumiblemente esto se correlaciona con el hecho de que las plantas realizan su mantenimiento a través de la fotosíntesis en condiciones de disponer de un aporte local constante de nutrientes y agua en el suelo, y de gases y luz en la atmósfera, que permite la conservación de la adaptación sin grandes desplazamientos rápidos. Pero también es cierto que la condición sésil es perfectamente posible sin fotosíntesis, como podemos apreciar en los múltiples ejemplos de linajes de animales como los picorocos que, aunque descendientes de ancestros móviles, han adoptado este modo de vida al darse para ellos condiciones locales de nutrición que les permiten la conservación de la adaptación igual que las plantas, sin desplazamientos durante la mayor parte de su ontogenia.

Para un observador es evidente que en el movimiento hay múltiples posibilidades, muchas de las cuales aparecen realizadas en los seres vivos como resultado de su deriva natural. Así, los organismos móviles no sólo basan su reproducción en el movimiento, sino también su alimentación y modos de interacción con el medio. Es en relación a estos seres vivos en los que la deriva natural ha llevado al establecimiento de motilidad en los que el sistema nervioso cobra importancia. Esto es lo que queremos ahora mirar con más detalle.

COORDINACION SENSO-MOTORA UNICELULAR

Volvamos por un momento a la ameba a punto de engullirse un protozoo. ¿Qué está ocurriendo en esa secuencia? Podría resumirse así: la presencia del protozoo genera una concentración de substancia en el medio capaz de interactuar con la membrana de la ameba, gatillando cambios de consistencia protoplasmática, que resultan en la formación de un pseudópodo. El pseudópodo, a su vez, produce cambios en la posición del animal que se desplaza, modificando así la cantidad de moléculas del medio que interactúan con su membrana. Este ciclo se repite, y la secuencia de desplazamiento de la ameba, por tanto, se produce a través del mantenimiento de una *correlación interna* entre el grado de modificación de su membrana y aquellas modificaciones protoplasmáticas que vemos como pseudópodos. Es decir, se establece una correlación recurrente o invariante entre un área perturbada o sensorial del organismo y un área capaz de producir desplazamiento (o motora) que mantiene invariante un conjunto de relaciones internas en la ameba.

Otro ejemplo puede hacer más nítida esta idea. En la figura 40 se ilustra un protozoo que posee una estructura muy especializada llamada flagelo, el que, con su batir, es capaz de desplazar al protozoo en su medio acuoso. En este caso particular, el flagelo

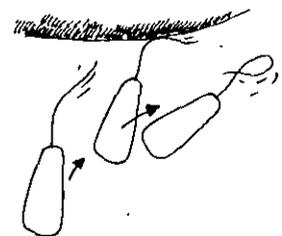


Fig 40.—Correlación sensomotora en la natación de un protozoo.

bate en una forma tal que arrastra a la célula por detrás de él. En este nadar, a veces, el protozoo se encuentra con un obstáculo con el que choca. ¿Qué ocurre en esta situación? Hay una interesante conducta de cambio de orientación: el flagelo se dobla al toparse con el obstáculo. Este doblamiento gatilla cambios en la base del flagelo inserta en la célula, o que, a su vez, gatilla cambios en el

citoplasma; cambios que lo hacen rotar de modo que al reiniciarse su batir la célula es llevada en una dirección diferente. Como resultado, al protozoo se lo ve tocar, torcerse y evadir el obstáculo. De nuevo, como en el caso de la ameba, lo que está ocurriendo aquí es que se está manteniendo una cierta correlación interna entre una estructura capaz de admitir ciertas perturbaciones o sensora, y una estructura capaz de generar un desplazamiento o motora. Lo interesante de este ejemplo es que ambas, la superficie sensora y la motora, son la *misma* y, por tanto, su acoplamiento es inmediato.

Veamos todavía otro ejemplo de este acoplamiento entre superficies sensoras y superficies motoras. Hay bacterias (unicelulares) que poseen, como algunos protozoos, flagelos de apariencia similar. Sin embargo, como se muestra en la figura 41, estos flagelos funcionan de una manera muy diferente. En vez de batir como en el otro caso, simplemente rotan fijos sobre su base, de manera que constituyen una verdadera hélice propulsora para la

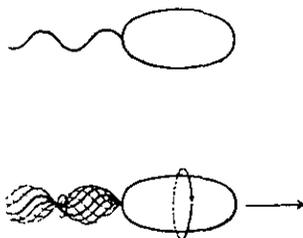


Fig. 41 —Propulsión flagelar en la bacteria

bacteria*. Más aún, se dan ambas direcciones posibles para estos giros. Pero hay una dirección en la que la coordinación de los giros resulta en un desplazamiento neto de la bacteria, en tanto que en la dirección de giro opuesta dicha coordinación resulta en que la bacteria simplemente da tumbos en el mismo lugar. Es posible seguir los movimientos de una de estas bacterias bajo el microscopio y ver sus cambios, en distintas condiciones controladas. Si uno la pone, por ejemplo, en un medio en donde en una esquina se ha colocado un grano de azúcar, se observa que la

* H. Berg, *Sci. Amer.*, 233 36, 1975

bacteria luego de dejar su conducta de dar tumbos, cambia la dirección de giro de los flagelos y se dirige hacia la zona de mayor concentración de azúcar siguiendo su gradiente de concentración. ¿Cómo ocurre esto? Resulta que en la membrana de la bacteria hay moléculas especializadas capaces de interactuar específicamente con los azúcares, de tal manera que al haber una diferencia de concentración en un pequeño entorno suyo se producen cambios en el interior que determinan el cambio en la dirección de giro del flagelo. En cada momento, por tanto, se está estableciendo otra vez una correlación estable entre la superficie sensorial de la célula y su superficie motora, lo que le permite esta conducta netamente discriminativa de dirigirse hacia las zonas de mayor concentración de ciertas sustancias. Esto se conoce como quimiotaxis, y es un caso de conducta de nivel unicelular, de la cual se conocen muchos de sus detalles moleculares.

A diferencia de estas bacterias, la sagitaria que mencionamos y otras plantas no tienen una superficie motora que las dote de movimiento. De hecho, uno se encuentra, entre las bacterias, con algunos casos que son, diríase, un compromiso entre la capacidad de movimiento y la de renunciar a él. Así, por ejemplo, *Caulobacter*: cuando está en un medio de alta humedad existe fijo al suelo mediante un pedestal en una forma de tipo vegetal y, sin embargo, cuando sobreviene un período de desecación la bacteria se reproduce y las nuevas células crecen con un flagelo capaz de transportarlas a otro ambiente de más humedad.

CORRELACION SENSO-MOTORA MULTICELULAR

Hemos visto en los ejemplos anteriores que el movimiento en los unicelulares, la conducta de desplazamiento, se basa en una correlación muy específica entre las superficies sensoriales y las superficies responsables del movimiento o motoras. También hemos visto que esta correlación se hace a través de procesos del interior de la célula, es decir, a través de transformaciones metabólicas propias de la unidad celular. ¿Qué ocurre en el caso de los organismos metacelulares?

Examinemos esta situación otra vez, a través de un ejemplo. En la figura 42 hay una fotografía de una hidra, como las que se pueden encontrar en la laguna del parque O'Higgins de Santiago.

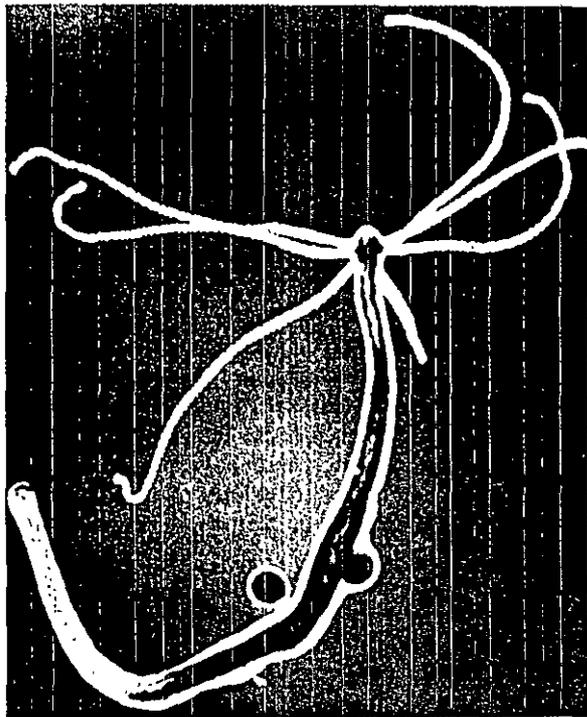


Fig. 42.—Un pequeño celenterado: la hidra.

Estos metazoos pertenecen al grupo de los celenterados, un linaje de animales muy antiguos y primitivos, formados por una doble capa de células en forma de vaso. Unos tentáculos en el borde permiten al animal mover el agua y coger otros animales que lleva a su interior y que digiere mediante la secreción de jugos digestivos. Si miramos la constitución celular de este animal, vemos una doble capa, una que mira hacia el interior y otra hacia el exterior. En estas dos superficies uno se encuentra con una cierta diversidad celular. Así hay células con lancetas que al ser tocadas eyectan su proyectil al exterior, en tanto otras poseen vacuolas capaces de secretar líquidos digestivos al interior. También encontramos en la hidra algunas células de carácter motor que poseen fibrillas contráctiles y que están dispuestas tanto longitudi-

nalmente como radialmente en la pared del animal (fig. 43). Estas células musculares al contraerse en diferentes combinaciones producen toda la diversidad de movimientos del animal.

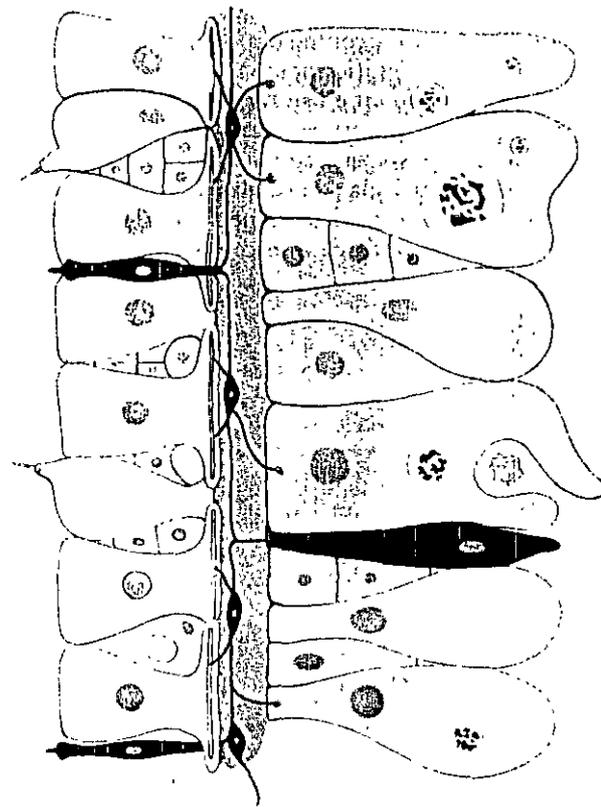


Fig. 43.—Esquema de la diversidad celular en los tejidos de la hidra, con las neuronas destacadas.

Es evidente que para producir una acción coordinada entre, digamos, las células musculares de los tentáculos y las células secretoras del interior, tiene que haber algún tipo de acoplamiento entre estas células. No basta que estén simplemente puestas en esta doble capa.

Para entender cómo se da este acoplamiento basta mirar con más detalle lo que hay entre ambas capas celulares. Encontramos ahí unas células de un tipo muy peculiar, con prolongaciones que se extienden por una considerable longitud dentro del animal. Estas células son peculiares en la medida en que, a través de sus prolongaciones, ponen en contacto a elementos celulares de un metazoo que están topográficamente distantes. Estas células son células nerviosas o *neuronas* en su forma más simple y primitiva. La hidra posee una de las formas más simplificadas que se conocen del sistema nervioso, que se constituye como una red que incluye a esta clase particular de células, así como a receptores y efectores. En conjunto, este sistema nervioso de la hidra aparece como una verdadera maraña de interconexiones que se extienden a todos los lugares del animal por el espacio intercelular, y de esa manera trae a interactuar los elementos sensoriales y motores que se encuentran distantes.

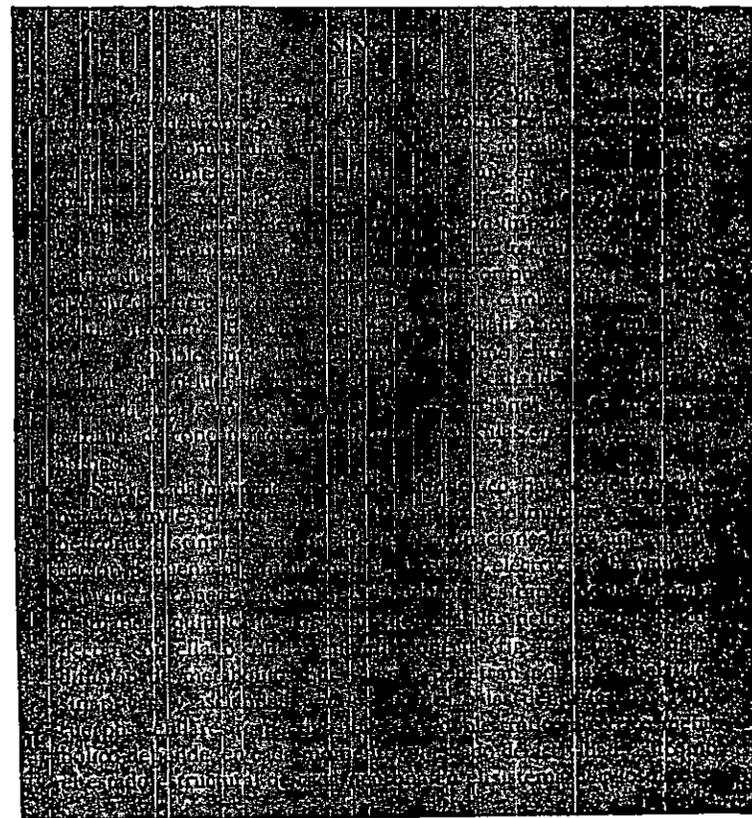
Así tenemos completa, en todos sus detalles, la misma situación que se tenía en el caso de la conducta unicelular. Una superficie sensora (en este caso, células sensoriales), una superficie motora (en este caso, células musculares y secretoras) y vías de interconexión entre ambas superficies (la red neuronal). Y la conducta de la hidra (alimentación, huida, reproducción, etc.) resulta de las distintas maneras en como estas dos superficies, sensora y motora, se relacionan dinámicamente entre sí, vía la red interneuronal que constituye el sistema nervioso

ESTRUCTURA NEURONAL

Lo que distingue a las neuronas es que poseen ramificaciones citoplasmáticas de formas específicas que se extienden por distancias enormes, alcanzando decenas de milímetros en las más grandes. Esta característica neuronal universal, presente en todos los organismos con sistema nervioso, determina el modo específico en cómo éste participa en las unidades de segundo orden que integra al poner en contacto elementos celulares ubicados en muy distintas partes del cuerpo. No hay que despreciar la exquisita serie de transformaciones de crecimiento que se requiere para que una célula que inicialmente mide unas pocas millonésimas de milímetro llegue a tener ramificaciones de formas específicas que

pueden alcanzar decenas de milímetros en una expansión de varios órdenes de magnitud (fig. 44).

Es, pues, a través de su presencia física que las neuronas acoplan, de muchos modos particulares y distintos, a grupos celulares que de otra manera sólo podrían acoplarse mediante la circulación general de los humores internos del organismo. La presencia física de una neurona permite el transporte de sustancias entre dos regiones a través de un camino muy específico que no afecta a las células circundantes, y al reparto local de aquéllas. La particularidad de las conexiones e interacciones que las formas neuronales hacen posible son la clave maestra del operar del sistema nervioso.



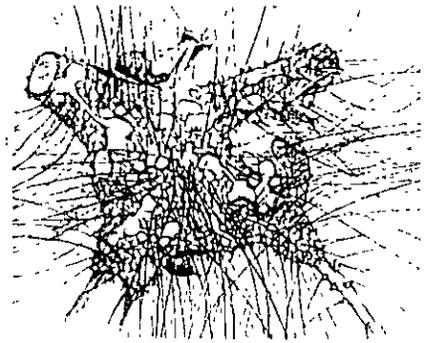
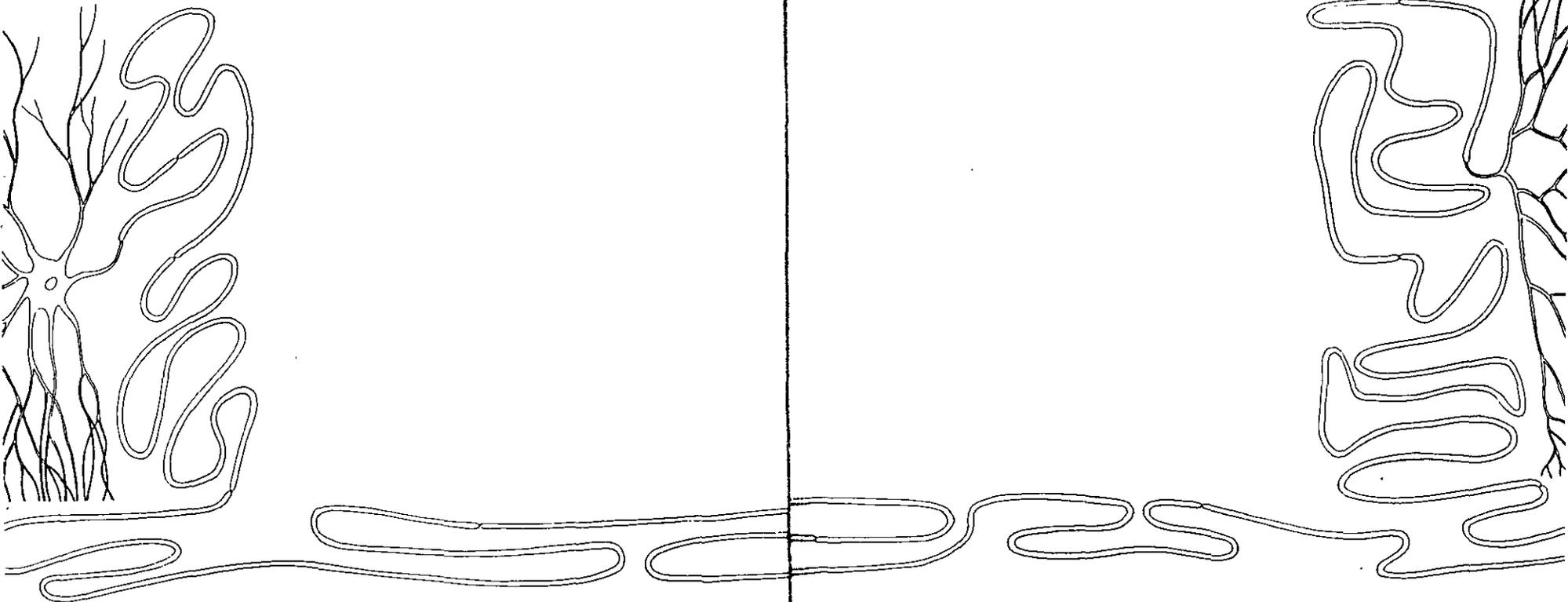


Fig. 44—Reconstrucción tridimensional de todos los contactos sinápticos que recibe el cuerpo celular de una neurona motora de la médula espinal

Fig. 45—La neurona y su extensión



Las influencias recíprocas que tienen lugar entre neuronas son de muchos tipos. La mejor conocida de todas es una descarga eléctrica que se propaga a lo largo de la prolongación neuronal llamada axón, a alta velocidad, como un reguero de pólvora. Es por eso que a menudo se dice que el sistema nervioso es un órgano que funciona en base a cambios eléctricos. Esto no es enteramente cierto, sin embargo, ya que las neuronas no sólo interactúan mediante cambios eléctricos, sino también y de manera constante, mediante sustancias que se transportan en el interior del axón y que, liberadas (o recogidas) en las terminales, gatillan en las neuronas, en los efectores o en los sensores con que se conectan, cambios de diferenciación y crecimiento.

¿Con qué tipos de células se conectan las neuronas? En realidad se conectan con casi todos los tipos celulares dentro de un

organismo, pero lo más corriente es que las neuronas lleguen con sus expansiones hasta otras neuronas. Estas expansiones nerviosas son, a su vez, muy especializadas, y se las conoce como dendritas y terminales axónicas. Tanto en estas zonas como en los cuerpos celulares se establecen los contactos llamados *sinapsis*, y es la sinapsis el punto donde se producen efectivamente las mutuas influencias en el acoplamiento entre una neurona y aquella con la que hace contacto. Las sinapsis, por tanto, constituyen las estructuras efectivas que permiten al sistema nervioso la realización de interacciones específicas entre grupos celulares distantes.

Naturalmente, aunque en el sistema nervioso la mayoría abrumadora de los contactos sinápticos son entre neuronas, éstas hacen sinapsis con muchos otros tipos celulares en el organismo. Tal es el caso de las células que colectivamente hemos estado llamando la superficie sensorial. En la hidra, por ejemplo, ésta incluirá todas las células capaces de responder frente a perturbaciones específicas, ya sea del medio (tales como las células con lancetas), ya sea del organismo mismo (tales como células de tipo quimiorreceptores). Asimismo, hay neuronas que se conectan con células de la superficie motora, especialmente los músculos, en una configuración muy precisa. En resumen, el sistema neuronal se halla inserto en el organismo a través de múltiples conexiones con muchos tipos celulares, formando una red tal que entre la superficie sensorial y la motora, siempre hay una red de interconexiones neuronales, constituyendo en conjunto lo que llamamos el sistema nervioso.

LA RED INTERNEURONAL

Esta arquitectura fundamental del sistema nervioso es universal y válida no sólo para la hidra, sino también para los vertebrados superiores, incluido el hombre. La única diferencia está no en la organización fundamental de la red generadora de correlaciones sensomotoras, sino en la forma en cómo esta red se implementa mediante neuronas y conexiones que varían de una especie animal a otra. En efecto, un catastro de los tipos neuronales que uno encuentra en los sistemas nerviosos de los animales muestra una diversidad enorme. Algunas de estas variedades neuronales se muestran en la figura 46. Más aún, si se piensa que ya en el

cerebro humano hay ciertamente más de 10^{10} y quizá más de 10^{11} neuronas (decenas de miles de millones), y que cada una de ellas reciben múltiples contactos de otras neuronas y se conecta, a su vez, con muchas células, la combinatoria de posibles interacciones es más que astronómica.

Pero insistamos: la organización básica de este sistema nervioso tan inmensamente complicado del hombre sigue, en lo esencial, la misma lógica que en la humilde hidra. En la serie de

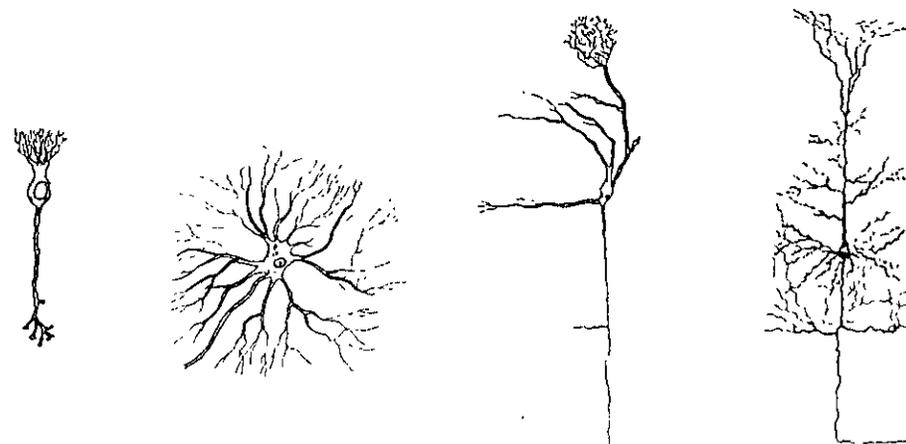


Fig. 46.—Diversidad neuronal (de izquierda a derecha): célula bipolar de la retina, cuerpo celular de una motoneurona de la médula espinal, célula mitral del bulbo olfatorio, célula piramidal de la corteza cerebral de un mamífero.

transformaciones de los linajes que van desde la hidra a los mamíferos, nos encontramos con diseños que son variaciones alrededor del mismo tema. En los gusanos, por ejemplo, el tejido nervioso entendido como una red de neuronas ha sido separado como un compartimento dentro del animal en un cordón, con nervios por donde pasan conexiones que van o vienen de las superficies sensoriales y las superficies motoras. Cada variación en el estado motor del animal va a ser producto de una cierta configuración de actividad en ciertos grupos de neuronas que se conectan a los músculos (motoneuronas). Pero tal actividad motora genera cambios múltiples, tanto en células sensoriales ubicadas en

los músculos, en otras partes del cuerpo y en la superficie de contacto con el medio, como en las neuronas motoras mismas, en un proceso realizado por medio de cambios en la misma red de neuronas interpuestas, o *interneuronas*, que las interconecta. De esta manera hay una continua correlación sensorimotora determinada y mediada por la configuración de actividad de esta red interneuronal. Como puede haber una cantidad, prácticamente, ilimitada de estados posibles dentro de esta red, las conductas posibles del organismo pueden ser también, prácticamente, ilimitadas.

Este es el mecanismo clave mediante el cual el sistema nervioso expande el dominio de interacciones de un organismo: *acopla las superficies sensoriales y motoras mediante una red de neuronas cuya configuración puede ser muy variada*. Mecanismo eminentemente simple, pero que, una vez establecido, ha permitido en la filogenia de los metazoos una variedad y una diversificación inmensa de dominios conductuales. De hecho, los sistemas nerviosos de distintas especies se diferencian esencialmente sólo en las configuraciones específicas de sus redes interneuronales.

Así en el hombre, unas 10^{11} (cien mil millones) interneuronas interconectan unas 10^6 (un millón) motoneuronas que activan unos pocos miles de músculos, con unas 10^7 (decenas de millones) células sensoriales distribuidas como superficies receptoras en varios sitios del cuerpo. Entre neuronas motoras y sensoriales está interpuesto el cerebro, como un gigantesco tumor de interneuronas que las interconecta (en una razón de $10/100.000/1$) en una dinámica siempre cambiante.

Por ejemplo, en la figura 47 se ha esquematizado una neurona sensorial de la piel capaz de responder (eléctricamente) ante un aumento de presión en ese punto. ¿Qué causa esa actividad? Bueno, esa neurona se conecta al interior de la médula espinal, donde hace contactos con muchas interneuronas. Entre éstas, algunas hacen contacto directo con una motoneurona capaz, por su actividad, de gatillar la contracción de un músculo que resulta en un movimiento. Este movimiento resulta en un cambio de la actividad sensorial al disminuir la presión sobre la neurona sensorial, con lo que se restablece una cierta relación recíproca entre las superficies sensoriales y motoras. Descrito desde afuera, lo que ha ocurrido es que se ha retirado la mano de un estímulo doloroso. Descrito desde el sistema nervioso, lo que ha ocurrido es la con-

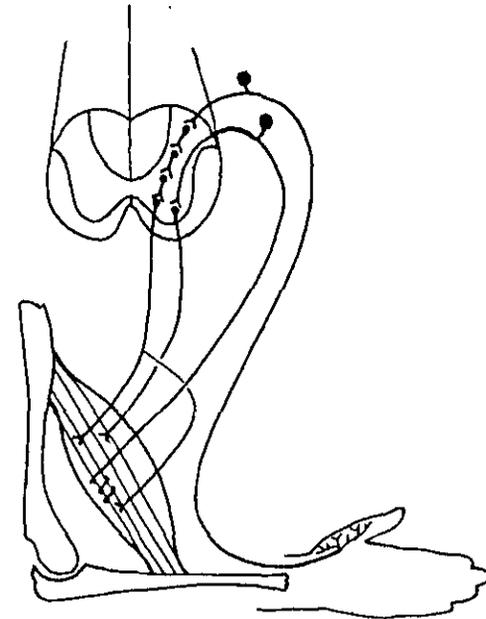
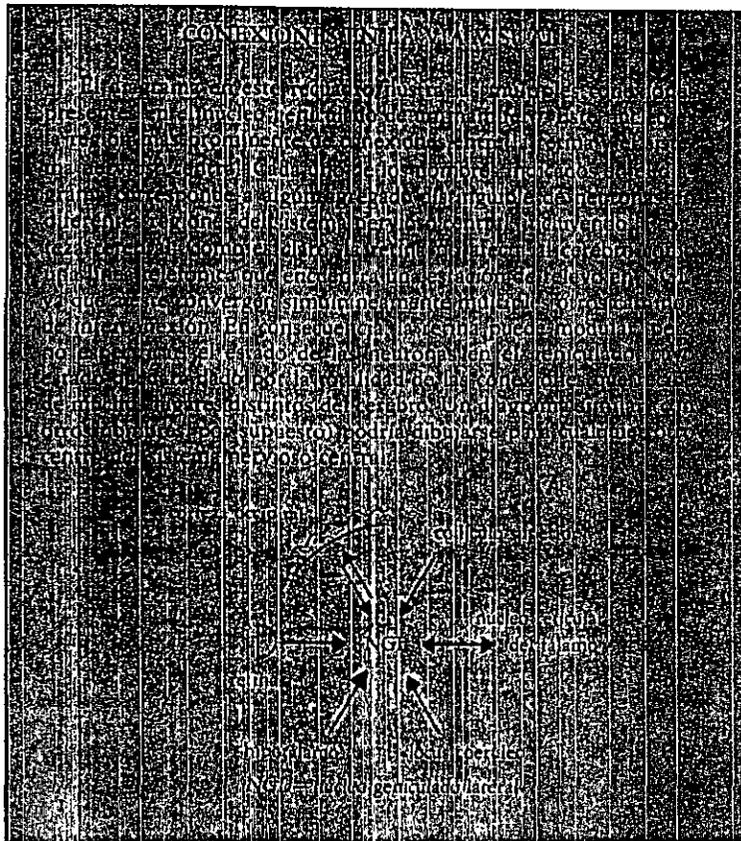


Fig. 47 —Correlación sensorimotora en el movimiento del brazo.

secución de una cierta correlación sensorimotora en su interior a través de una red neuronal. Ahora bien, como sobre esa misma motoneurona pueden influir muchas otras neuronas que tienen origen, por ejemplo, en la corteza cerebral, ocurre que la conducta de dejar la mano bajo el exceso de presión es también posible. Pero sería establecer un nuevo balance interno, implicando a otros grupos neuronales más diversos que en el primer caso de retirar la mano.

Hagamos el esfuerzo de imaginar, a partir de situaciones puntuales y aisladas como el ejemplo anterior de presión dolorosa, un organismo funcionando normalmente. En cada momento nos encontraremos con que el sistema nervioso estará operando en base a múltiples ciclos internos de interacciones neuronales (como el de las motoneuronas y fibras sensoriales del músculo), en incesante cambio. A esta inmensa actividad se le superponen y la



modulan aquellos cambios en la superficie sensorial debidos a perturbaciones que son independientes del organismo (tales como la presión sobre la piel). Como observadores, estamos habituados a poner nuestra atención sobre lo que nos es más accesible, las perturbaciones externas, y tendemos a pensar que eso es determinante. Sin embargo, tales perturbaciones externas, como acabamos de decir, sólo pueden modular el constante ir y venir de los balances internos. Esta es una idea importante que podemos ilustrar con lo que ocurre con el sistema visual. Habitualmente, pensamos en la percepción visual como una cierta operación so-

bre la imagen retiniana, cuya representación será transformada sucesivamente al interior del sistema nervioso. Esta es la aproximación representacionista del fenómeno. Sin embargo, esta aproximación al fenómeno visual se disipa tan pronto nos damos cuenta de que por cada neurona de la retina que se proyecta a nuestra corteza visual se conectan a esa misma zona más de cien neuronas que provienen de otras partes de la corteza. Más aún, incluso antes de llegar a la corteza, cuando la proyección de la retina entra al cerebro, en lo que se llama el núcleo geniculado lateral del tálamo (NGL), éste no es simplemente una vía de estación de la retina hacia la corteza, sino que convergen a este centro muchos otros centros con múltiples efectos que se superponen a la acción retiniana, como se muestra en el recuadro. Nótese en este diagrama que una de las estructuras que afecta al NGL es, precisamente, la corteza visual misma. Es decir, ambas estructuras están entrelazadas en una relación de efecto mutuo y no de una simple secuencialidad.

Nos basta contemplar esta estructura del sistema nervioso, aunque no podamos conocer muchos de los detalles de las relaciones de actividad que en cada momento se especifican allí, para convencernos que el efecto de proyectar una imagen sobre la retina no será como el de una línea telefónica a un receptor. Será más bien como una voz (perturbación) que se añade a las muchas voces de una agitada sesión de transacciones en la bolsa de comercio (relaciones de actividad interna entre todas las proyecciones convergentes), en la que cada participante oye lo que le interesa.

CLAUSURA OPERACIONAL DEL SISTEMA NERVIOSO

Partimos diciendo que la conducta es la descripción que hace un observador de los cambios de estado de un sistema con respecto a un medio al compensar las perturbaciones que recibe de éste. Dijimos también que el sistema nervioso no inventa la conducta, sino que la expande de una manera dramática. Ahora deberá estar claro qué es lo que queremos decir más explícitamente con este «expandir». Quiere decir que el sistema nervioso surge en la historia filogenética de los seres vivos como un tejido de células peculiares, que se inserta en el organismo de tal manera que aco-

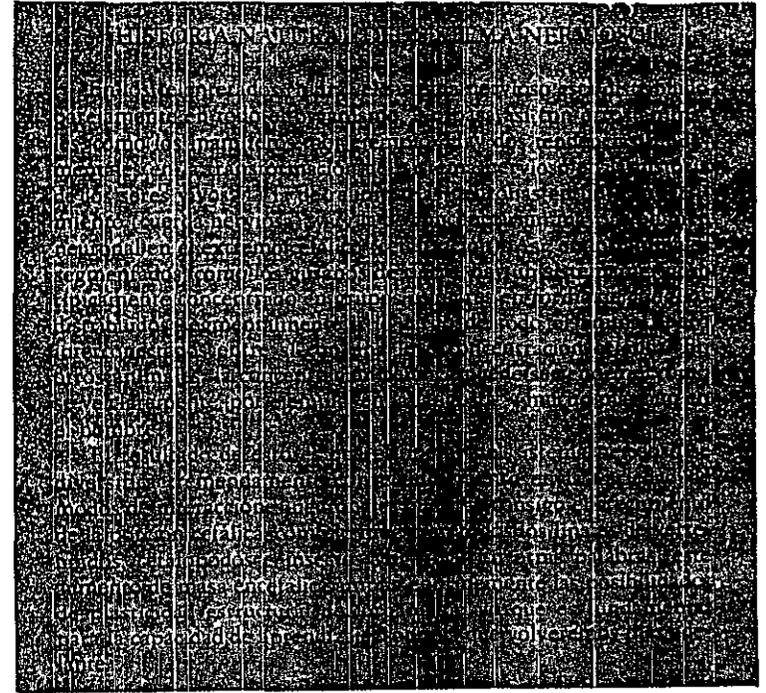
pla puntos en las superficies sensoriales con puntos en las superficies motoras. Así, al mediar este acoplamiento con una red de neuronas, se amplía el campo de las posibles correlaciones somomotoras del organismo y se expande el dominio de la conducta.

Es más, es claro ahora que la superficie sensorial no sólo incluirá aquellas células que vemos externamente como receptores capaces de ser perturbados por el ambiente, sino también todas las células capaces de ejercer una influencia en el estado de la red neuronal. Así, por ejemplo, hay células quimiorreceptoras en algunas arterias capaces de ser modificadas específicamente por cambios de concentración en el medio sanguíneo de un vertebrado. Estas células, a su vez, modifican ciertas neuronas que contribuyen con su cambio de actividad a los cambios de estados globales de toda la red. Estos cambios pueden resultar o no en un cambio en algún punto de las superficies motoras. Por ejemplo, una baja de glucosa en la concentración de la sangre puede, mediante ciertas correlaciones internas, llevar a la secreción de más insulina por las células del páncreas, con el resultado de que la correlación sanguínea de glucosa se mantiene dentro de ciertos límites.

Así, el sistema nervioso contribuye o participa en el operar de un metazoo al constituirse, mediante múltiples circuitos entrelazados, en un mecanismo que conserva las constancias internas que son esenciales para el mantenimiento de la organización del organismo como un todo.

Visto desde este punto de vista, es evidente que el sistema nervioso puede definirse, en cuanto a su organización, como un sistema que tiene una *clausura operacional*. Esto es, el sistema nervioso está constituido de tal manera que cualquiera que sean sus cambios éstos generan otros cambios dentro de él mismo, y su operar consiste en mantener ciertas relaciones entre sus componentes invariantes frente a las continuas perturbaciones que generan en él tanto la dinámica interna como las interacciones del organismo que integra. En otras palabras, el sistema nervioso opera como una red cerrada de cambios de relaciones de actividad entre sus componentes.

Así, cuando experimentamos una excesiva presión en un punto del cuerpo, como observadores podemos decir: «¡Ajá!, el contraer este músculo va a causar que yo levante el brazo.» Pero desde el punto de vista del operar del sistema nervioso pro-



piamente tal, como con nuestro amigo en el submarino, lo que ocurre es sólo un mantener constantes ciertas relaciones entre elementos sensores y motores que fueron transitoriamente perturbados por la presión externa. La relación interna que se mantiene en este caso es relativamente simple: es el balance entre actividad sensorial y tono muscular. Qué determina el balance de tono muscular en función del resto de la actividad del sistema nervioso no es fácil decir de manera sucinta. Pero, en principio, toda conducta es una visión externa de la danza de relaciones internas del organismo. El encontrar en cada caso los mecanismos precisos de tales coherencias neurales es la tarea abierta al investigador.

Lo que hemos dicho muestra que el operar del sistema nervioso es plenamente consistente con su estar formando parte de una unidad autónoma en la que, también, todo estado de actividad llevará a otro estado de actividad en la misma unidad porque su

operar es circular, o en clausura operacional. El sistema nervioso, por tanto, por su propia arquitectura, no viola sino que enriquece este carácter autónomo del ser vivo. Empiezan ya a ser claros los modos como todo proceso está necesariamente fundado en el organismo como una unidad y en el cierre operacional de su sistema nervioso, de donde viene que todo su conocer es su hacer como correlaciones sensoefectoras en los dominios de los acoplamientos estructurales en los que existe.



Fig. 48.—Tamaño relativo de la porción cefálica del sistema nervioso en varios animales

PLASTICIDAD

Varias veces hemos mencionado el hecho de que el sistema nervioso es un sistema en continuo cambio estructural, es decir, con plasticidad. En verdad, ésta es una dimensión fundamental en su participación en la constitución de un organismo. En efecto, la presencia de esta plasticidad se traduce en que el sistema nervioso, al participar mediante los órganos sensoriales y efectores en los dominios de interacción del organismo que seleccionan su

cambio estructural, participa en la deriva estructural de éste con conservación de su adaptación.

Ahora bien, el cambio estructural del sistema nervioso no ocurre normalmente en la forma de cambios radicales de sus grandes líneas de conectividad. Estas, en general, son invariantes y son, habitualmente, las mismas en todos los individuos de una especie. Entre el cigoto fecundado y el adulto, en el proceso de desarrollo y diferenciación celular, a medida que se multiplican las neuronas, se van ramificando y conectando según una arquitectura que es propia de la especie. Exactamente cómo ocurre esto mediante procesos de exclusiva determinación local es uno de los grandes y más interesantes puzzles de la biología moderna.

¿Dónde ocurren los cambios estructurales, entonces, sino en las grandes líneas de conectividad? La respuesta es que ocurren no en las conexiones que unen grupos de neuronas, sino en las características locales de esas conexiones. Es decir, los cambios ocurren en el nivel de las ramificaciones finales y en el de las sinapsis. Allí, cambios moleculares resultan en cambios en la eficacia de las interacciones sinápticas que pueden modificar drásticamente el modo de operar de grandes redes neuronales.

Así, por ejemplo, imaginemos que tomamos la pata de un ratón y, ubicando uno de los músculos grandes que accionan los dedos, aislamos el nervio que desciende de la médula espinal y lo inerva. Luego, con unas tijeras, cortamos el nervio y dejamos que el animal se recupere. Al cabo de un cierto tiempo reabrimos el animal y examinamos el músculo: lo encontramos atrofiado y reducido. Sin embargo, no hemos hecho ninguna alteración de su alimentación e irrigación sanguínea. Sólo hemos cortado el tráfico eléctrico y químico que normalmente existe entre el músculo y el nervio al que se conecta. Si dejamos que el nervio crezca nuevamente y reinerve el músculo, éste se recupera y desaparece la atrofia. Otros experimentos revelan que algo parecido ocurre entre muchos (si no todos) los elementos neuronales que componen el sistema nervioso. El nivel de actividad y el tráfico químico entre dos células —en este caso una muscular y una neurona—modulan la eficacia y el modo de interacción que se da entre ellas durante su continuo cambio. Al cortar el nervio revelamos este dinamismo de una manera muy dramática.

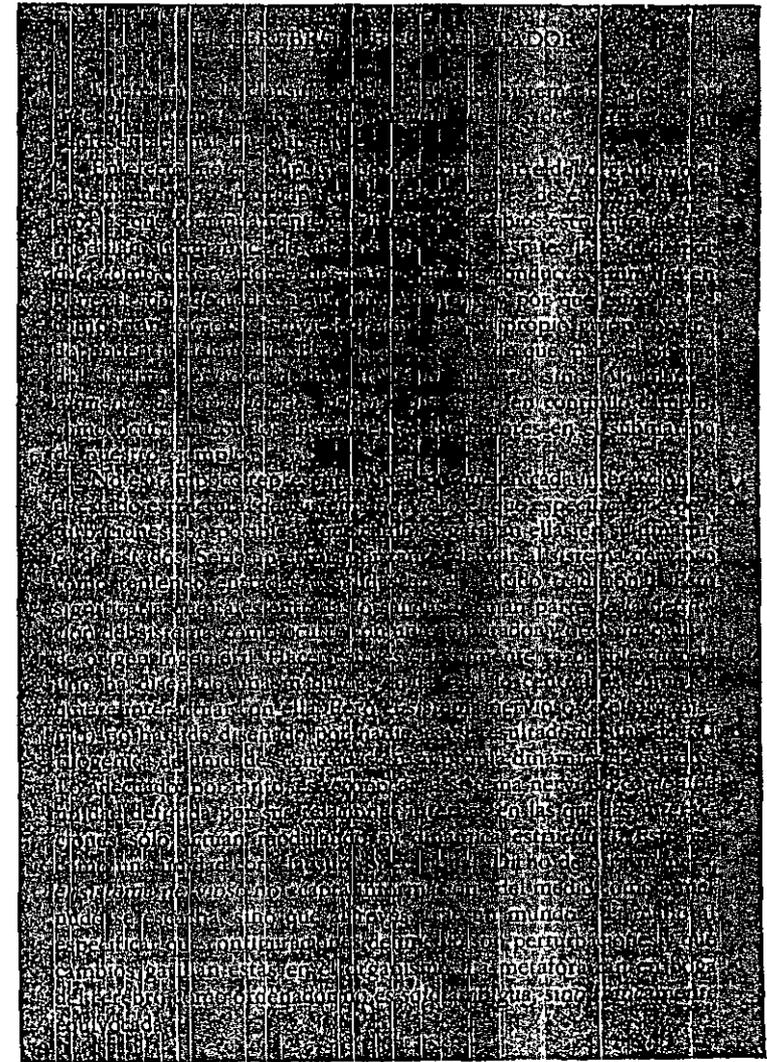
La plasticidad del sistema nervioso está en que las neuronas no se hallan conectadas como si fueran cables con sus convenien-

tes enchufes. Los puntos de interacciones entre las células son delicados equilibrios dinámicos, modulados por un sinnúmero de elementos que gatillan cambios estructurales locales y que se producen como resultado de la actividad de esas mismas células y de otras células cuyos productos viajan por el torrente sanguíneo y bañan las neuronas, todo como parte de la dinámica de interacciones del organismo en su medio.

No hay sistema nervioso conocido que no presente algún grado de plasticidad. Sin embargo, entre los insectos, por ejemplo, la plasticidad está mucho más limitada, en parte por su número menor de neuronas y su tamaño más reducido. Donde el fenómeno de cambio estructural se manifiesta con vigor es entre los vertebrados y particularmente entre los mamíferos. Así, no hay interacción, no hay acoplamiento que no deje un efecto en el operar del sistema nervioso como resultado de los cambios estructurales que gatillan en él. A nosotros en particular, toda experiencia nos modifica, aunque a veces los cambios no sean del todo visibles.

Esto lo sabemos conductualmente. No tenemos hoy día una pintura clara de cuáles son con precisión los cambios estructurales del sistema nervioso de los vertebrados involucrados en esta plasticidad. Ni tampoco hay una descripción clara de cómo esta constante especificación del modo de interacción neuronal resulta en cambios bien definidos que podemos observar en la conducta. Esto, otra vez, constituye una de las áreas más importantes de investigación de la neurobiología hoy día.

Sin embargo, cualquiera que sean los mecanismos precisos que intervienen en esta constante transformación microscópica de la red neuronal durante las interacciones del organismo, tales cambios no pueden ser nunca localizados ni vistos como algo propio de cada experiencia, es decir, no pueden ser nunca de tal naturaleza que uno pueda encontrar «el» recuerdo de su nombre en algún lugar de la cabeza del perro. Esto no puede ser, en primer lugar, porque los cambios estructurales gatillados en el sistema nervioso son por necesidad distribuidos al ser resultados de cambios de actividad relativa en una red neuronal. En segundo lugar, porque la conducta de responder a un nombre es una descripción que hace un observador de ciertas acciones que resultan de ciertas configuraciones sensoriomotoras que, por necesidad de su operar interno, involucran, en un sentido estricto, a todo el sistema nervioso.



La riqueza plástica del sistema nervioso no está en que guarde representaciones «engramas» de las cosas del mundo, sino en que en su continua transformación permanece congruente con las

transformaciones del medio como resultado de que cada interacción lo afecta. Desde el punto de vista del observador, eso se ve como aprendizaje adecuado. Lo que está ocurriendo, sin embargo, es que las neuronas, el organismo que integran y el medio en que éste interactúa operan recíprocamente como selectores de sus correspondientes cambios estructurales y se acoplan estructuralmente entre sí: el operar del organismo, incluyendo su sistema nervioso, selecciona los cambios estructurales que le permiten seguir operando, o se desintegra.

Para un observador el organismo aparece como moviéndose adecuadamente en un medio cambiante, y habla de aprendizaje. Para él los cambios estructurales que ocurren en el sistema nervioso parecen corresponderse a las circunstancias de las interacciones del organismo. Para el operar del sistema nervioso, en cambio, sólo hay una deriva estructural continua que sigue el curso en que en cada instante se conserva el acoplamiento estructural (adaptación) del organismo a su medio de interacción.

CONDUCTAS INNATAS Y CONDUCTAS APRENDIDAS

Hemos dicho muchas veces —para no olvidarlo— que toda conducta es un fenómeno relacional que nosotros, como observadores, señalamos entre organismos y medio. Sin embargo, cuál es el ámbito de conductas posibles de un organismo está determinado por su estructura, ya que es ésta la que especifica sus dominios de interacciones. Por esto, cada vez que en los organismos de una misma especie se desarrollan ciertas estructuras con *independencia* de las peculiaridades de sus historias de interacciones se dice que tales estructuras están determinadas genéticamente, y que las conductas que ellas hacen posibles (si se dan) son *instintivas*. Cuando el bebé, a las horas de nacer, presiona el pecho de su madre y chupa del pezón, lo hace con independencia de si nació de parto natural o de cesárea, o si nació en un lujoso hospital de Santiago o al interior de Chiloé.

Por el contrario, si las estructuras que hacen posible una cierta conducta en los miembros de una especie se desarrollan sólo si hay una historia particular de interacciones, se dice que las estructuras son ontogénicas y que las conductas son *aprendidas*. Nuestra niña-lobo del capítulo anterior no tuvo las interacciones socia-

les que todo niño tiene y su conducta de correr erguida, por ejemplo, no se desarrolló. Hasta en estas cosas, aparentemente tan elementales como correr, dependemos de un contexto humano que nos rodea como el aire que respiramos.

Notemos bien que las conductas innatas y las aprendidas son, como conductas, indistinguibles en su naturaleza y en su realización. La distinción está en la historia de las estructuras que las hacen posibles y, por tanto, el que podamos clasificarlas como una o como otra va a depender de que tengamos acceso o no a la historia estructural pertinente. En el presente del operar del sistema nervioso no hay tal distinción.

Es importante darse cuenta de que corrientemente tendemos a considerar el aprendizaje y la memoria como fenómenos de cambio de conducta que se dan al «captarse» o recibirse algo del medio. Esto implica suponer que el sistema nervioso opera con representaciones. Nosotros hemos visto ya que esta suposición oscurece y complica tremendamente el entendimiento de los procesos cognoscitivos. Todo lo que hemos dicho apunta a entender al aprendizaje como una expresión del acoplamiento estructural, que siempre va a mantener una compatibilidad entre el operar del organismo y el medio en que éste se da. Cuando nosotros como observadores miramos una secuencia de perturbaciones, que el sistema nervioso compensa de una de las muchas maneras posibles, nos parece que internaliza algo del medio. Pero, ya sabemos, hacer esta descripción sería perder nuestra contabilidad lógica: sería tratar algo que nos es útil para nuestra comunicación entre observadores como un elemento operacional del sistema nervioso. El describir el aprendizaje como una internalización del medio confunde las cosas al sugerir que se dan en la dinámica estructural del sistema nervioso fenómenos que sólo existen en el dominio de descripciones de algunos organismos, como nosotros, capaces de lenguaje.

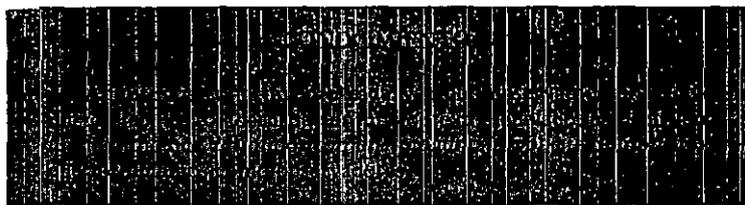
CONOCIMIENTO Y SISTEMA NERVIOSO

En el capítulo anterior hemos hablado de dominios conductuales, y en éste de la organización fundamental del sistema nervioso. Con ello nos hemos movido más y más cerca de aquellos fenómenos que cotidianamente designamos como actos de cono-

cimiento. Estamos ahora en condiciones de afinar nuestro entendimiento acerca de qué se puede querer decir al indicar que un acto es cognoscitivo.

Si pensamos por un momento qué criterio utilizamos para decir que alguien *tiene* conocimiento, veremos que lo que buscamos es una acción efectiva en el dominio en que se espera una respuesta. Esto es, esperamos una conducta efectiva en algún contexto que señalamos al hacer la pregunta. Así, dos observaciones del mismo sujeto, bajo las mismas condiciones, pero hechas con preguntas diferentes, pueden asignar distintos valores cognoscitivos a lo que se ve como la conducta del sujeto.

Una historia de la vida real nos ilustra esto claramente. En una ocasión, a un joven estudiante de una universidad se le dijo en un examen: «Calcule la altura de la torre de la Universidad usando este altímetro.» El estudiante tomó el altímetro y un largo



cordel, subió a la torre, amarró el altímetro al cordel y lo dejó caer cuidadosamente hasta el pie de la torre. Luego midió el largo del cordel que se extendió hasta la base de la torre. Treinta metros y cuarenta centímetros fue su respuesta. El profesor, sin embargo, consideró su respuesta un fracaso. El estudiante hizo una petición al director de su escuela y obtuvo una nueva oportunidad. Nuevamente, el profesor le dijo: «Calcule la altura de la torre de la Universidad con este altímetro.» El joven estudiante tomó el altímetro, fue a los jardines vecinos a la torre con un goniómetro y, poniéndose a una distancia precisa de ella, usó la longitud del altímetro para triangular la torre. Su cálculo fue de treinta metros y quince centímetros. El profesor siguió considerando su respuesta un fracaso. Nueva petición del estudiante, nueva oportunidad para rendir el examen, nuevamente el mismo problema... El estudiante utilizó seis procedimientos distintos para calcular la altura de la torre con el altímetro, sin usarlo como altímetro. Es

evidente que, desde un cierto contexto de observación, el alumno reveló mucho más conocimiento que el que se le pedía. Desde el contexto de la pregunta de su profesor, su conocimiento era inadecuado.

Notemos bien entonces que la evaluación de si hay conocimiento presente o no, se da siempre en un contexto relacional en el que los cambios estructurales que las perturbaciones gatillan en un organismo aparecen para el observador como un efecto sobre el ambiente. Es con respecto al efecto que el observador espera cómo él valora los cambios estructurales que se gatillan en el organismo. Desde este punto de vista toda interacción de un organismo, toda conducta observada, *puede* ser valorada por un observador como acto cognoscitivo. De la misma manera, el hecho de vivir —de conservar ininterrumpidamente el acoplamiento estructural como ser vivo— es conocer en el ámbito del existir. Aforísticamente: vivir es conocer (vivir es acción efectiva en el existir como ser vivo).

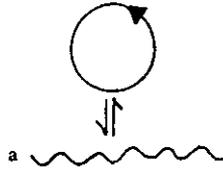
En principio, esto es suficiente para explicar la participación del sistema nervioso en todas las dimensiones cognoscitivas. Sin embargo, si quisiéramos comprender la participación del sistema nervioso en todas las formas particulares del conocer humano, tendríamos, naturalmente, que describir todos los procesos específicos y concretos que tienen lugar en la generación de cada una de las conductas humanas en sus distintos dominios de acoplamiento estructural. Para ello sería necesario mirar de cerca el operar del sistema nervioso del hombre en todo su nivel de detalle, lo que no es la intención de este libro.

Resumamos: el sistema nervioso participa en los fenómenos cognoscitivos de dos maneras complementarias, que tienen que ver con su modo particular de operar como una red neuronal con clausura operacional como parte de un metacelular.

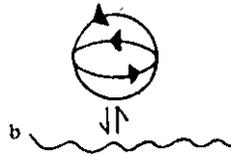
La primera, y más obvia, es a través de la ampliación del dominio de estados posibles del organismo que surge de la tremenda diversidad de configuraciones sensomotoras que el sistema nervioso puede permitir, y que es la clave de su participación en el operar del organismo.

La segunda es a través del abrir para el organismo nuevas dimensiones de acoplamiento estructural, al hacer posible en el organismo la asociación de una gran diversidad de estados internos con la diversidad de interacciones en que éste puede entrar.

La presencia o ausencia de un sistema nervioso es lo que mediría la discontinuidad que hay entre los organismos con un conocer relativamente acotado y los que son capaces de una diversidad en principio sin cota, como el hombre. Para señalar su importancia central, al símbolo que designa una unidad autopoietica (celular o multicelular):

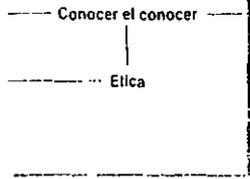


debemos ahora agregarle distintivamente la presencia de un sistema nervioso, que también opera con clausura operacional, pero como parte integrante del organismo. Esto se abrevia convenientemente así:

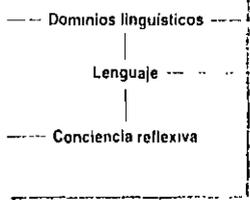


Cuando en un organismo se da un sistema nervioso tan rico y tan vasto como el del hombre, sus dominios de interacción permiten la generación de *nuevos fenómenos* al permitir nuevas dimensiones de acoplamiento estructural. En el hombre esto, en último término, hace posible el lenguaje y la autoconciencia. Este es el terreno que cubriremos en los próximos capítulos.

10



9



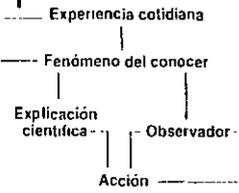
8



7



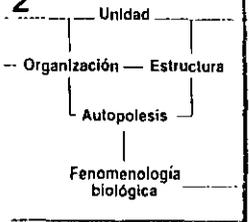
1



6



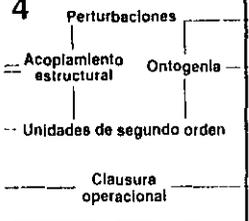
2



3



4



5



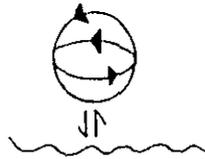
Capítulo VIII

LOS FENOMENOS SOCIALES

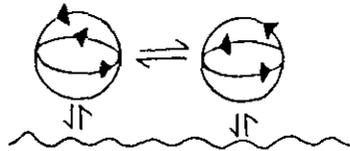


Fig. 49 — Dibujo original de Juste de Juste

Consideremos una situación completamente paralela a la del capítulo IV a propósito del origen de los metacelulares. Es decir, en vez de mirar sólo a un organismo con su sistema nervioso,



miramos qué pasa cuando este organismo entra, a su vez, en acoplamiento estructural con otros organismos



Como en el caso de las interacciones celulares en los metacelulares, es evidente que desde el punto de vista de la dinámica interna de un organismo, el otro representa una fuente de perturbaciones que son indistinguibles de aquellas que provienen del medio «inerte». Sin embargo, es *posible* que estas interacciones entre organismos adquieran a lo largo de su ontogenia un carácter *recurrente* y que, por tanto, se establezca un acoplamiento estructural que permita el mantenimiento de la individualidad de ambos en el prolongado devenir de sus interacciones. Cuando se dan estos acoplamientos entre organismos con sistema nervioso, resulta una fenomenología peculiar de la que queremos ocuparnos en este capítulo y los siguientes. Es decir, se trata de la fenomenología de *tercer orden*.

ACOPLAMIENTOS DE TERCER ORDEN

A estas alturas de nuestra discusión, no debiera resultar extraño que tales acoplamientos se puedan dar porque, en lo fundamental, operan los mismos mecanismos que ya hemos discutido en relación con la constitución de unidades autopoiéticas de

segundo orden. De hecho, una vez que se originan organismos con sistema nervioso, si los organismos participan en interacciones recurrentes, estos acoplamientos se dan, con distinta complejidad y estabilidad, pero como un resultado natural de la congruencia de sus respectivas derivas ontogénicas.

¿Cómo podemos entender y analizar estos acoplamientos de tercer orden?

Bueno, en primer lugar es necesario darse cuenta que tales acoplamientos son absolutamente necesarios (en alguna medida) para la continuidad de un linaje en los organismos con reproducción sexuada, ya que al menos los gametos deben encontrarse y fusionarse. Además, en muchos de los animales que requieren de un apareamiento sexual para la procreación de nuevos individuos, los retoños necesitan de algún cuidado por parte de los padres, de modo que es corriente que se dé algún grado de acoplamiento conductual en la generación y crianza de los jóvenes.

Ahora bien, siendo este un fenómeno relativamente universal, nos encontramos con que los distintos grupos animales lo han satisfecho con una variedad muy grande de formas específicas. Nosotros como humanos criados en una cierta cultura patriarcal, tendemos a pensar que lo natural es que la hembra cuide de los jóvenes y el macho se encargue de la protección y el sustento. Es de suponer que esta imagen está en parte basada en el hecho de que nosotros somos mamíferos donde hay períodos más o menos largos de lactancia, en la cual la crianza va a estar necesariamente asociada a la madre. No se encuentra una especie de mamífero donde la lactancia sea responsabilidad del macho.

Sin embargo, esta división tan nítida de roles está lejos de ser universal. Entre los pájaros encontramos una variedad muy grande. Así, en muchas aves tanto el macho como la hembra pueden producir una especie de producto lechoso en el buche que regurgitan para los jóvenes. Más aún, en las avestruces sudamericanas, por ejemplo, el macho se aparea con un harén de hembras (poliginia), cada una de las cuales deposita un huevo en un hoyo, que, una vez lleno, el macho se encarga de cuidar diligentemente.

Esta inclinación doméstica del macho se encuentra en una forma más mixta en otra ave sudamericana, la jacaña. Aquí la hembra define un territorio más o menos vasto en el que prepara varios nidos y al que permite la entrada del mismo número de machos (poliandria). Después de la fertilización deposita un hue-

vo en cada uno de los nidos y construye un nido para sí misma, donde deposita otro huevo. De esta manera, tanto hembras como machos gozan de los placeres de criar los polluelos (fig. 50).

Entre los pingüinos se da aún otra variación más llamativa.

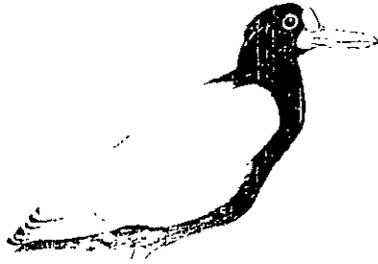


Fig. 50.—Jacaña

Aquí el conseguir alimento para los retoños es, aparentemente, más difícil y requiere la participación de ambos padres. ¿Cómo se cuida entre tanto a los pingüinos chicos? Es interesante: algunos de los adultos del grupo permanecen en las cercanías y cuidan del conjunto, formando una verdadera guardería infantil.

El caso del pez espinoso es, en cambio, un extremo. Aquí el macho construye un nido, seduce a la hembra a poner los huevos en él y luego la echa (fig. 51). Una vez solo, meticulosamente hace circular el agua que baña los huevos con el batir de su cola hasta que éstos eclosionan y luego se dedica al cuidado de los pececitos hasta que se hacen independientes. Es decir, aquí es el macho el que se encarga de la crianza y su relación con la hembra dura lo que dura el cortejo y la ovoposición.

Hay otros ejemplos donde el extremo se encuentra del lado de

la hembra que tiene la mayor responsabilidad de la crianza. Podríamos continuar dando muchos otros ejemplos del modo de satisfacer el mismo obligado acoplamiento de procreación y crianza. Es evidente que no hay roles fijos. Tampoco los hay en las socie-

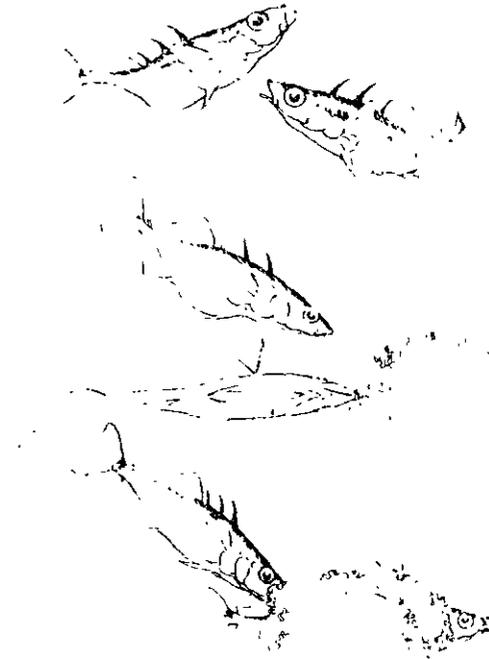


Fig. 51.—Momentos de la conducta de cortejo en el pez espinoso.

dades humanas, donde se dan numerosos casos tanto de polian-dria como de poliginia y donde el reparto de las tareas de crianza de los hijos varía de un extremo a otro. Precisamente, ya que estos acoplamientos se dan con la presencia de un sistema nervioso, la variedad posible es inmensa y, acorde con eso, la historia natural nos muestra una lista muy variada. Es necesario tener

esto muy presente para comprender la dinámica social humana como fenómeno biológico.

INSECTOS SOCIALES

Los acoplamientos conductuales sexuales y de crianza, aunque prácticamente universales, no son los únicos posibles. Hay muchas otras maneras de acoplamiento conductual que los incluyen, pero que van mucho más lejos al especificar entre los individuos de un grupo coordinaciones conductuales que pueden durar toda la vida.

El caso clásico y más notable de un acoplamiento tan estrecho que engloba toda la ontogenia de los organismos participantes es el de los insectos sociales. Estos animales comprenden muchas especies entre varios órdenes de insectos, y en muchos de ellos se originaron, paralelamente, mecanismos de acoplamiento muy similares. Ejemplos bien conocidos de insectos sociales son las hormigas, las termitas, las avispas y las abejas.

Por ejemplo, en la figura 52 se ven varios individuos que se encuentran entre las hormigas mirmicéas, uno de los grupos bien estudiados. Vemos que hay una gran variedad de formas entre los individuos participantes, y su morfología va de acuerdo con una diferenciación marcada en las actividades que se los ve realizar normalmente. Así la mayor parte de los individuos de la figura 52 son hembras estériles, que realizan tareas de recolección de alimentos, defensa, cuidado de huevos y mantenimiento del hormiguero. Los machos se hallan reclusos al interior, donde se encuentra la generalmente única hembra fértil, la reina (marcada *g* en la fig. 52). Es notable ver que hay hembras que poseen mandíbulas enormes, capaces de ejercer gran presión, y que son mucho más grandes que las hembras obreras (*e*, *f* en fig. 52). La mayor parte de las hormigas de un hormiguero como éste carecen absolutamente de participación en la reproducción, la que está restringida a la reina y los machos; sin embargo, todos los individuos de un hormiguero están estrechamente acoplados en su dinámica estructural fisiológica.

El mecanismo de acoplamiento entre la mayor parte de los insectos sociales se efectúa a través del intercambio de sustancias, y es, por tanto, un acoplamiento químico. En efecto, se establece

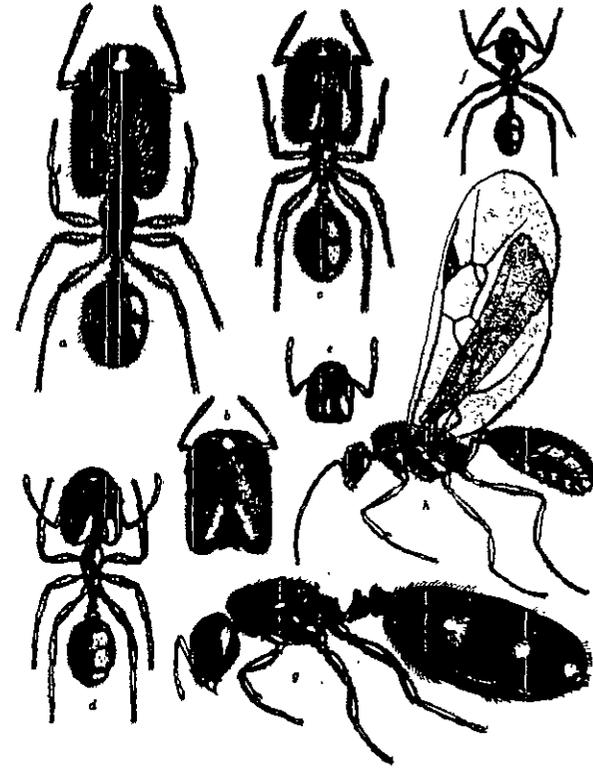


Fig. 52 — Distintas morfologías en las castas de las hormigas mirmicéas (*Pheidole kingi instabilis*). Individuos de la casta obrera desde la (a) hasta la (f). La reina se muestra en (g) y el macho en (h).

un continuo flujo de secreciones entre los miembros de una colonia al ofrecerse éstos contenido estomacal cada vez que se encuentran, como se puede apreciar directamente si uno observa con detención cualquier fila de hormigas en la cocina. De este continuo intercambio químico llamado *trofotaxis* (fig. 53) resulta la distribución por toda la población de una cierta cantidad de sustancias, entre ellas hormonas, que son responsables de la diferenciación y la especificación de roles. Así, la reina es la reina en la medida que es alimentada de una cierta manera, y no here-

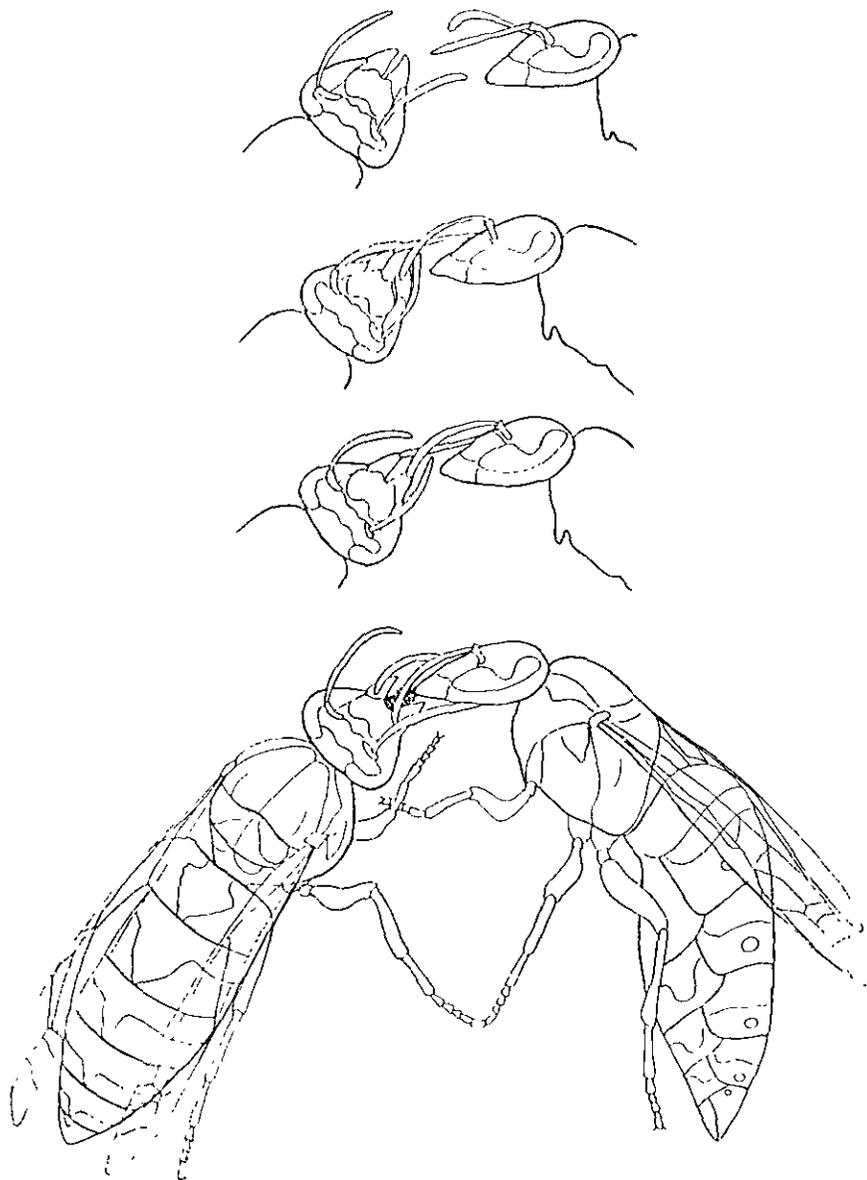


Fig. 53 -- Mecanismo de acoplamiento entre los insectos sociales *Trophalaxa*

ditariamente. Basta sacar a la reina de su sitio para que inmediatamente el desequilibrio hormonal que su ausencia produce resulte en la alimentación diferencial de algunas larvas que se desarrollarán como reinas. Vale decir aquí que siempre toda la ontogenia de un individuo particular como miembro de la unidad social está amarrada a su continua historia de interacciones trofoblásticas selectivas que de una manera dinámica encaminan, mantienen o cambian su modo particular de desarrollarse.

En realidad, los procesos y mecanismos detallados de la determinación de las castas, de los modos de cooperación entre distintas especies, de la organización territorial y de muchos otros aspectos de la vida de los insectos sociales han sido ocasión de muchos estudios y son una fuente siempre renovada de circunstancias que revelan las formas más inesperadas de acoplamiento estructural entre estos organismos. Sin embargo, en todas ellas es evidente un grado de rigidez y de inflexibilidad. Esto quizá no debería sorprendernos tanto, en la medida en que los insectos (como muchos otros invertebrados) están organizados esencialmente en base a una armadura externa de quitina. Al interior de esta armadura se insertan los músculos que la mueven. Esta arquitectura involucra una limitación en el tamaño máximo que los insectos pueden alcanzar y, por tanto, en el tamaño del sistema nervioso que poseen. De acuerdo con esto, no se distinguen los insectos individualmente por su variedad conductual y su capacidad de aprendizaje. Los vertebrados, en cambio, con su esqueleto interno de donde cuelgan los músculos, son capaces, en principio, de crecimiento prolongado, y no tienen una limitación tan estrecha de tamaño. Esto permite organismos más grandes (más células) con sistemas nerviosos más grandes, lo que hace posible una mayor diversidad de estados y, por ende, conductual.

VERTEBRADOS SOCIALES

Imaginemos un rebaño de ungulados, tal como los antílopes, que viven en terrenos montañosos. Si alguna vez hemos tenido ocasión de acercarnos a ellos, habremos notado que tan pronto nos hallamos a unos cien metros, todo el rebaño huye. Corrientemente huyen hasta alcanzar una cima un poco más alta, desde donde se vuelven a observar al extraño. Sin embargo, para pasar

de una cima a otra, deben pasar también por el valle que les impide la vista del visitante. Aquí se hace evidente un acoplamiento social: el rebaño se mueve en una formación que lleva al macho dominante a la cabeza, seguido de las hembras y los retoños. Cierran el rebaño otros machos, uno de los cuales se rezaga en la cima más cercana y mantiene al extraño a la vista mientras los demás descenden. Tan pronto han alcanzado la nueva altura, se les une (fig. 54)



Fig. 54 — La huida como fenómeno social entre los ciervos.

Esta forma peculiar de conducta, en la que distintos animales cumplen distintos roles, permite a los miembros de uno de estos rebaños relacionarse en actividades que no les serían posibles como individuos aislados. El ejemplo que acabamos de ver se refiere al eludimiento, pero es fácil encontrar ejemplos de lo inverso. Así, por ejemplo, los lobos viven también en grupos, coordinando sus conductas mediante muchas interacciones olfatorias, faciales y corporales, parecidas al mostrar los dientes, agachar las orejas, mover y bajar la cola que conocemos en los perros domésticos. Este grupo como unidad social es capaz de perseguir, acosar y matar un gigantesco alce (fig. 55), hazaña que no estaría a la altura de ningún lobo por separado.

Vemos entre estos vertebrados modos de interacción fundamentalmente visuales y auditivos que les permiten generar un nuevo dominio de fenómenos que no pueden generar los individuos aislados. En esto último se parecen a los insectos sociales, pero se les diferencian en la mayor flexibilidad que su sistema nervioso y su acoplamiento visual-auditivo les da.

En el caso de los primates ocurren situaciones esencialmente comparables. Así, por ejemplo, entre los babuinos que habitan las

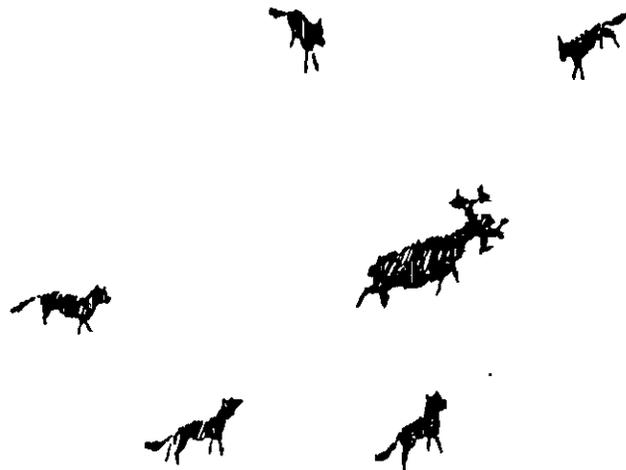


Fig. 55 — La caza como fenómeno social entre los lobos

sabanas africanas*, y que han sido estudiados minuciosamente en su conducta de grupo natural (¡muy distinta de la conducta en cautiverio!), se da una continua y múltiple interacción gestual, postural (visual) y táctil entre todos los individuos del grupo. En este caso, el acoplamiento intragrupal tiende a establecer una jerarquía de dominación entre los machos. Esta jerarquía y la cohesión del grupo es nítida cuando se los observa migrar de un lugar a otro, o enfrentarse a un predador como el león. Así, cuando el grupo migra, los machos dominantes, hembras y retoños, van al centro, otros machos, adultos y jóvenes, y hembras se ubican estratégicamente delante y atrás (fig. 56). En largas horas del día los babuinos acostumbran a jugar y espulgarse entre ellos, en un continuo quehacer interactivo. Dentro de estos grupos, además, es posible observar que hay expresión de lo que podríamos llamar los temperamentos individuales, que hacen de algunos babuinos individuos irritables, de otros seductores, de otros exploradores, etc. Toda esta diversidad conductual posible da a cada tropa de babuinos una estampa propia, donde cada individuo está

* I. De Vore y K. R. Hall, en: *Primate Behavior*, Holt, Reinhardt and Winston, Nueva York, 1965, pp. 20-53.

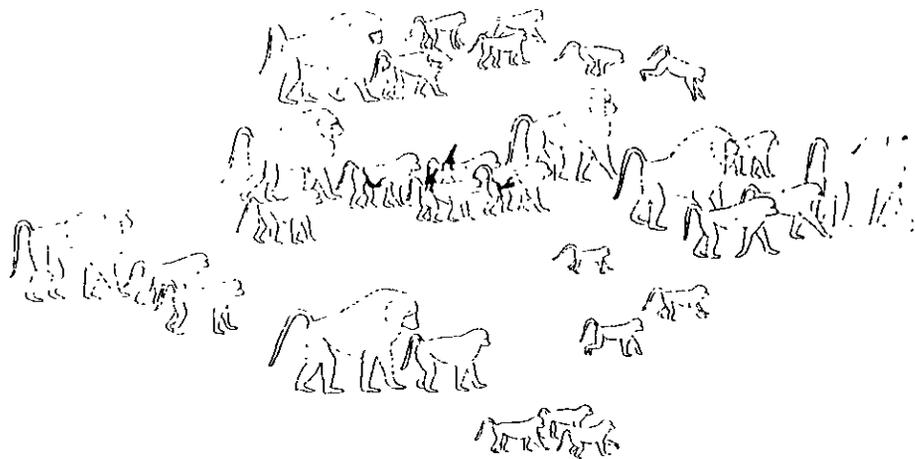


Fig. 56.—Un grupo de babuinos se desplaza

continuamente ajustando su posición en la red de interacciones que forma el grupo según su dinámica particular que resulta de su historia de acoplamiento estructural en el grupo. Sin embargo, con todas las diferencias, hay un estilo de organización del grupo de babuinos que se generaliza de tropa a tropa y que, por tanto, refleja el linaje filogénico compartido por todos ellos.

1 Estructura que corresponde a los babuinos habitantes de la sabana

2 Estructura que corresponde a los chimpancés de la selva

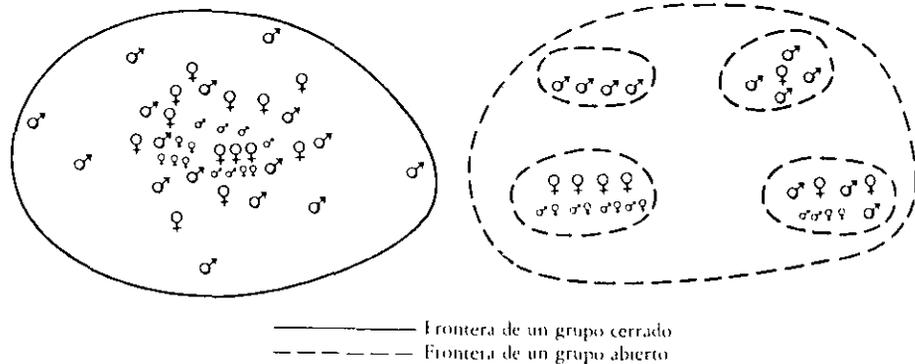


Fig. 57.—Esquema comparativo de la distribución de los individuos de babuinos y chimpancés

Distintos grupos de primates muestran modos y estilos de interacción muy variados. Los hamadryas del norte de Africa son habitualmente muy agresivos y sus jerarquías de dominancia muy rígidas. Los chimpancés, en cambio, tienen una organización de grupo mucho más fluida y variable y crean más bien grupos familiares extendidos que dan mucha movilidad individual (fig. 57). Así, cada grupo de primates tiene sus peculiaridades.

FENOMENOS SOCIALES Y COMUNICACION

Vamos a entender como fenómenos sociales a los fenómenos asociados a las unidades de tercer orden. Es evidente, a pesar de la variedad de estilos de acoplamiento que nos hemos esforzado en presentar, que al hablar de fenómenos sociales aludimos a lo que ocurre en un tipo particular de unidades. La forma cómo se realizan las unidades de esta clase varía mucho desde los insectos a los ungulados o los primates. Lo que es común a todas ellas, sin embargo, es que cuando se establecen acoplamientos de tercer orden, las unidades resultantes, aunque sean transitorias, generan una fenomenología interna particular. *Esta fenomenología se basa en que los organismos participantes satisfacen sus ontogenias individuales fundamentalmente mediante sus acoplamientos mutuos en la red de interacciones recíprocas que conforman al constituir las unidades de tercer orden.* Los mecanismos mediante los cuales se establece esa red y las unidades que la constituyen y mantienen su cohesión varían en cada caso.

Ahora bien, toda vez que hay un fenómeno social hay un acoplamiento estructural entre individuos y, por tanto, como observadores podemos describir una conducta de coordinación recíproca entre ellos. Vamos a entender como *comunicación* al mutuo gatillado de conductas coordinadas que se da entre los miembros de una unidad social. De esta manera, estamos entendiendo como comunicación una clase particular de conductas que se da con o sin la presencia del sistema nervioso en el operar de los organismos en sistemas sociales. Y, como ocurre con toda conducta, si podemos distinguir el carácter instintivo o aprendido de las conductas sociales, podremos también distinguir entre formas filogenéticas y ontogénicas de comunicación. Lo peculiar de la comuni-

cación, entonces, no es que resulte de un mecanismo distinto del resto de las conductas, sino sólo que se da en el dominio de acoplamiento social. Esto es igualmente válido para nosotros como descriptores de nuestra propia conducta social, cuya complejidad no significa que nuestro sistema opere de modo distinto.

LO CULTURAL

Un hermoso caso de comunicación ontogénica es reconocible cotidianamente en el canto de ciertos pájaros, entre otros, del loro y sus parientes cercanos. Estos animales viven ordinariamente en una selva densa en la cual no están en contacto visual. En estas condiciones su canto tiene que ver con el establecimiento de una relación a través de la creación de un canto en común. Por ejemplo, en la figura 58 se puede ver el espectrograma de dos aves africanas. (El espectrograma es una manera de tomar el so-

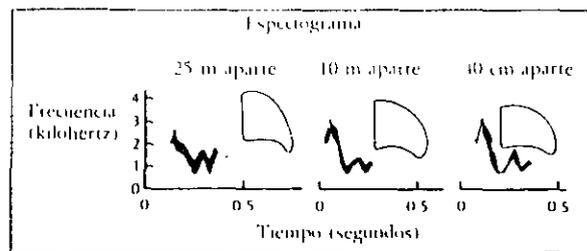
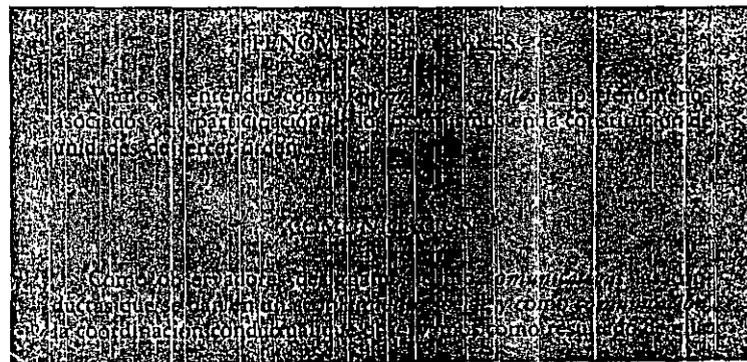


Fig. 58 -- Dueto vocal entre dos aves africanas

nido y ponerlo en dos dimensiones en el papel, como una notación musical continua.) Pareciera al mirar el espectrograma que cada ave cantase la melodía completa. Sin embargo, no es así y es posible mostrar que esta melodía es en realidad un dueto, en que cada miembro de la pareja constituye una frase que el otro continúa. Esta melodía es peculiar a cada pareja, y se especifica durante la historia de su apareamiento. En este caso (a diferencia de lo que ocurre en muchos otros pájaros), esta comunicación, esta coordinación conductual del canto, es netamente ontogénica.

Lo que queremos resaltar en este ejemplo es que la melodía



particular de cada pareja será única a su historia de acoplamiento. Si tomamos otra pareja de aves, observaremos que han especificado otra melodía distinta. Más aún, los polluelos de cada pareja, cuando desarrollen conductas de apareamiento, lo harán generando melodías de parejas diferentes a las de sus padres. La melodía particular de cada pareja está limitada a la vida de los individuos participantes.

Esta situación es bien distinta de otra conducta también netamente ontogénica que podemos ilustrar con un ejemplo anecdótico, registrado en Inglaterra. En Londres y vecindades, hace no muchos años, se introdujeron nuevas botellas de leche cubiertas con una delgada lámina de aluminio, en vez de cartón rígido. Esta nueva cobertura era lo suficientemente delgada como para ser penetrada por el picotear de un pájaro. Y así a los pocos días del cambio, algunas aves, los herrerillos, aprendieron a picotear las tapas y alimentarse del sobrenadante de crema. Lo interesante es que este comportamiento se expandió desde este foco central hacia todas las islas Británicas, de modo que al poco tiempo todos los herrerillos habían aprendido el truco de conseguirse un buen desayuno.

Los vertebrados tienen una tendencia muy esencial y única: *la imitación*. Exactamente qué es la imitación en término de fisiología nerviosa no es fácil de decir, pero conductualmente es obvio. A través de esta constitución, lo que comenzó con una conducta focalizada en algunos herrerillos se expandió rápidamente. La imitación, por tanto, permite que un cierto modo de interacción vaya más allá de la ontogenia de un individuo, y se mantenga más

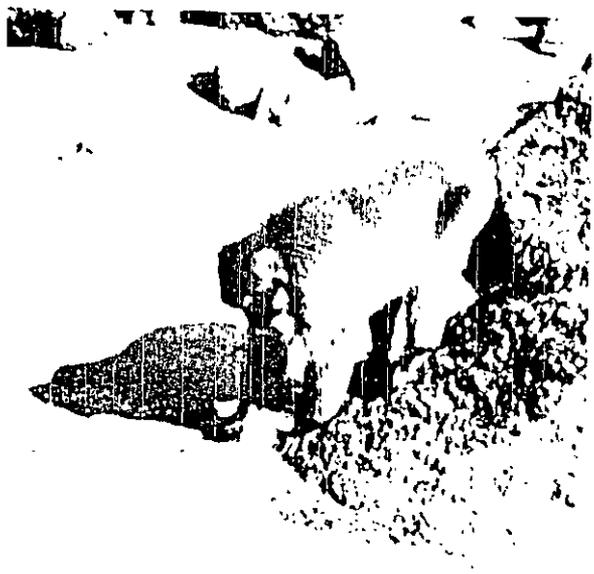


Fig. 59.—Macaco del Japón lava sus patatas.

o menos invariante a través de generaciones sucesivas. Si los polluelos del herrerillo de Gran Bretaña no pudieran imitar, el hábito de comer de la crema de las botellas tendría que ser inventado nuevamente por todas las generaciones.

Otro de los casos más celebrados de permanencia transgeneracional social de una conducta aprendida se registró en los estudios primatológicos hechos en un archipiélago del Japón, donde se conserva una reserva de macacos que se han estudiado con gran detalle (fig. 59). Como parte del procedimiento de estudios de los macacos los investigadores ponían patatas y trigo en la playa, sobre la arena*. De esta manera, los monos, que normalmente habitan la selva adyacente al mar, salían hacia las playas donde eran más visibles. Después de un tiempo, los macacos se hicieron más y más familiares con el contacto con el mar. Pero una de las observaciones hechas a lo largo de estas transformaciones fue que una brillante hembra, llamada Imo, descubrió un día que podía lavar las patatas en el agua, sacándoles así la arena

* S. Kawamura, *J. Primatol.* 2: 43, 1959.

que las hacía incómodas de comer. En materia de días, los otros macacos, especialmente los jóvenes, habían imitado a Imo y estaban lavando sus patatas. Más aún, con el correr de pocos meses, esta nueva conducta se extendió a todas las colonias adyacentes.

Imo resultó ser una macaco verdaderamente brillante, porque algunos meses después de haber inventado el lavado de las patatas inventó otra conducta que consistía en tomar trigo difícil de comer mezclado con arena, tirarlo en el mar, dejar que la arena cayese al fondo y recoger el trigo limpio en la superficie. Esta segunda invención de Imo, así como la anterior, se expandió gradualmente en las colonias de la isla. Los viejos eran siempre los más lentos en adquirir la nueva forma conductual.

LA METAFORA DEL TUBO PARA LA COMUNICACIÓN

Nuestra discusión nos ha llevado a concluir que biológicamente no hay información transmitida en la comunicación. Hay comunicación cada vez que hay coordinación conductual en un dominio de acoplamiento estructural.

Esta conclusión es chocante solo si nos empeñamos en no cuestionar la metáfora más corriente para la comunicación que se ha popularizado con los años. Usamos medios de comunicación. Según esta metáfora del tubo con un orificio en algo que se genera en un punto, se lleva por un conducto o tubo y se entrega al otro extremo receptor. Por tanto, hay algo que se comunica y lo comunicado es parte integrante de aquello que se desplaza en el conducto. Así, estamos habilitados para hablar de la información contenida en una imagen o objeto que evidentemente en la palabra impresiona.

Según lo que hemos analizado, esta metáfora es fundamentalmente falsa, porque supone una unidad no determinada estructuralmente, donde las interacciones son instructivas, como si lo que le pasa a un sistema en una interacción quedase determinado por el agente perturbante y no por su propia estructura. Sin embargo, es evidente, aun en la vida cotidiana misma, que la situación de comunicación no se da así: cada persona dice lo que dice y oye lo que oye según su propia determinación estructural. Desde la perspectiva de un observador siempre hay ambigüedad en una interacción comunicativa. El fenómeno de comunicación no depende de lo que se entrega sino de lo que pasa con el que recibe y esto es un asunto muy distinto: «transmitir información».

dos que han perdido sus características de tales y han despersonalizado sus componentes, desplazándose hacia la forma de organismo, como lo fue el caso de Esparta. Organismos y sistemas sociales humanos no pueden pues equipararse sin distorsión o sin llegar a las características propias de sus respectivos componentes.

Cualquier análisis de la fenomenología social humana que no tome en cuenta las consideraciones señaladas será defectuoso por que llegará a los fundamentos biológicos de esta fenomenología.



CONDUCTA CULTURAL

Entendemos por *conducta cultural* la estabilidad transgeneracional de configuraciones conductuales adquiridas ontogenéticamente en la dinámica comunicativa de un medio social.

10

Conocer el conocer

Ética

9

Dominios lingüísticos

Lenguaje

Conciencia reflexiva

8

Fenómenos culturales

Fenómenos sociales

Unidades de tercer orden

7

Actos cognoscitivos

Correlaciones internas

Ampliación del dominio de interacciones

Plasticidad estructural

1

Experiencia cotidiana

Fenómeno del conocer

Explicación científica

Observador

Acción

2

Unidad

Organización — Estructura

Autopoiesis

Fenomenología biológica

3

Fenómenos históricos

Conservación — Variación

Reproducción

4

Perturbaciones

Acoplamiento estructural — Ontogenia

Unidades de segundo orden

Clausura operacional

5

Filogenia

Deriva natural — Historia de interacciones

Conservación de la adaptación — Selección estructural

Determinación estructural

6

Conducta — Sistema nervioso

Contabilidad lógica

Representación-Solipsismo

Capítulo IX

DOMINIOS LINGÜÍSTICOS Y CONCIENCIA HUMANA



Fig 60 — Jeroglífico egipcio

A un amigo nuestro le despertaba su gato todas las mañanas, al salir el sol, caminando sobre el piano. Si nuestro amigo se levantaba, lo encontraba junto a la puerta que daba al jardín, adonde el animal salía muy contento. De no levantarse, el gato volvía a caminar sobre el piano con un ruido en verdad poco armonioso.

Resulta sumamente natural hacer una descripción de la conducta de este gato como «significando» a nuestro amigo su deseo de salir al jardín. Esto sería hacer una descripción *semántica* de las conductas de nuestro amigo y su gato. Sin embargo, también sabemos que las interacciones entre ellos sólo han ocurrido como un mutuo gatillamiento de cambios de estado según sus respectivas determinaciones estructurales. Nueva ocasión para mantener nuestra contabilidad lógica muy clara y poder caminar en el filo de la navaja, diferenciando el operar de un organismo de la descripción de sus conductas.

No cabe duda que hay muchas circunstancias, como la de nuestro amigo, en las que podemos aplicar una descripción semántica a un fenómeno social, y que esto se hace, frecuentemente, como recurso literario o metafórico, haciendo la situación comparable a una interacción lingüística humana como en las fábulas. Todo esto requiere que lo miremos más de cerca y que hagamos algunas precisiones.

DESCRIPCIONES SEMANTICAS

Hemos visto en el último capítulo que dos o más organismos al interactuar recurrentemente generan como consecuencia un acoplamiento social en el que se involucran recíprocamente en la realización de sus respectivas autopoiesis. Las conductas que se dan en estos dominios de acoplamiento sociales, dijimos, son comunicativas y pueden ser innatas o adquiridas. Ahora bien, para nosotros como observadores, el establecimiento ontogénico de un dominio de conductas comunicativas puede ser descrito como el establecimiento de un dominio de conductas coordinadas asociables a términos semánticos. Esto es, como si lo determinante de la coordinación conductual así producida fuese el significado de lo que el observador puede ver en las conductas, y no en el acoplamiento estructural de los participantes. Es esta cualidad de las

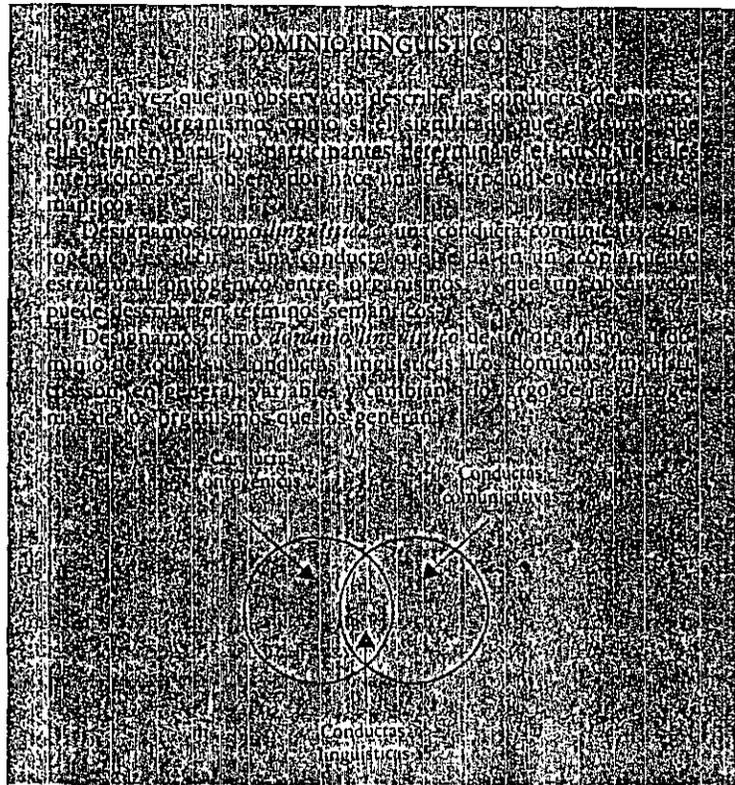
conductas comunicativas ontogénicas de *poder aparecer* como semánticas para un observador que trata a cada elemento conductual en ellas como si fuese una palabra lo que permite relacionar estas conductas con el lenguaje humano. Más aún, es esta condición la que resaltamos al designar a esta clase de conductas como constituyendo un *dominio lingüístico* entre los organismos participantes.

El lector no necesita ejemplos de dominios lingüísticos. En el capítulo anterior vimos varios de ellos, sólo que no los señalamos como tales porque el tema era lo social en general. Por ejemplo, el cantar a dúo es un ejemplo elegante de interacción lingüística. Es un buen ejercicio para el lector volver sobre sus pasos y revisar el capítulo anterior con un ojo dispuesto a descubrir cuáles de las conductas comunicativas descritas pueden ser tratadas como lingüísticas, y ver cómo surge en ellas la posibilidad de descripciones semánticas.

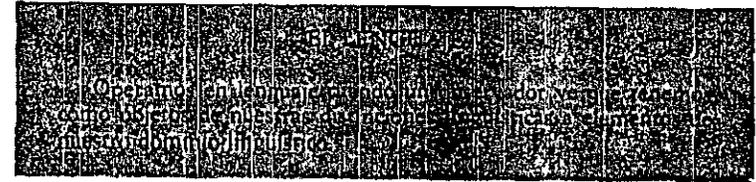
Notemos que la elección de esta designación —como la designación de acto cognoscitivo que vimos anteriormente— no es arbitraria. Equivale a afirmar que las conductas lingüísticas humanas son, de hecho, conductas en un dominio de acoplamiento estructural ontogénico recíproco que los seres humanos establecemos y mantenemos como resultado de nuestras ontogenias colectivas. En otras palabras, cuando describimos a las palabras como señalando objetos o situaciones en el mundo, hacemos como observadores una descripción de un acoplamiento estructural que no refleja el operar del sistema nervioso, puesto que éste no opera con una representación del mundo.

Por contraste, las conductas comunicativas instintivas, cuya estabilidad depende de la estabilidad genética de la especie y no de la estabilidad cultural, no constituirán, según lo que hemos dicho, un dominio lingüístico. Esto es así justamente en la medida que las conductas lingüísticas son expresión de un acoplamiento estructural ontogénico. El llamado «lenguaje» de las abejas, por ejemplo, no es un lenguaje, pero es un caso mixto de conducta instintiva y lingüística, en la medida que se trata de una coordinación conductual fundamentalmente filogenética, pero que, sin embargo, presenta algunas variaciones grupales o «dialectos» de determinación ontogénica.

Así mirado, el carácter aparentemente tan arbitrario de los términos semánticos (¿hay alguna relación entre la palabra



«mesa» y el objeto *mesa*?) es algo completamente esperable y consistente con el mecanismo que subyace al acoplamiento estructural. En efecto, los modos como se establecen entre los organismos las recurrencias de interacciones que llevan a una coordinación conductual pueden ser cualesquiera («mesa», «table», «tafel») en la medida que lo relevante es cómo sus estructuras acogen esas interacciones y no los modos de interacción mismos. De no ser así, los sordomudos no tendrían lenguaje, por ejemplo. Se trata, efectivamente, de una deriva cultural, en la que —como en la deriva filogenética de los seres vivos— no hay un diseño, sino una armazón *ad hoc* que se va constituyendo con lo que se dispone en cada momento.



Si miramos, con estas precisiones *in mentis*, a la historia natural, es aparente que aunque el hombre no es el único poseedor de un dominio lingüístico, éste es mucho más abarcador e involucra inmensamente más a todos los aspectos de su vida que en cualquier otro animal.

Está fuera de la intención de este libro el hacer una discusión en profundidad de las muchas dimensiones del lenguaje en el hombre, otro libro en sí mismo. Pero para nuestros propósitos podemos identificar la característica clave de lenguaje que modifica de manera tan radical los dominios conductuales humanos haciendo posibles nuevos fenómenos como la reflexión y la conciencia. Esta característica es que el lenguaje permite al que opera en él *describirse a sí mismo* y a su circunstancia. De esto queremos ocuparnos en este capítulo.

En efecto, hemos visto que al observar la conducta de otros animales (humanos o no) en un dominio lingüístico, nosotros como observadores podemos tratar sus interacciones de manera semántica, como si señalasen o denotasen algo del medio. Es decir, en un dominio lingüístico podemos siempre tratar a la situación como si estuviese haciendo una descripción del medio común a los organismos que interactúan. En el caso humano, para el observador las palabras denotan corrientemente elementos del dominio común entre seres humanos, sean estos objetos, estados de ánimo, intenciones y demás. Esto en sí no es peculiar del hombre, aunque su variedad de términos semánticos sea mucho mayor que en otros animales. Lo fundamental en el caso humano es que el observador ve que *las descripciones pueden ser hechas tratando a otras descripciones como si fueran objetos o elementos del dominio de interacciones*. Es decir, el dominio lingüístico mismo pasa a ser parte del medio de interacciones posibles. *Sólo cuando se produce esta reflexión lingüística hay lenguaje*, surge el observador, y los organismos participantes de un dominio lin-

güístico empiezan a operar en un dominio semántico. También, sólo cuando esto ocurre, el dominio semántico pasa a ser parte del medio donde los que operan en él conservan su adaptación. Esto nos pasa a los humanos. existimos en nuestro operar en el lenguaje y conservamos nuestra adaptación en el dominio de significados que esto crea. hacemos descripciones de las descripciones que hacemos... (esta oración lo hace). . y somos observadores y existimos en un dominio semántico que nuestro operar lingüístico crea.

En los insectos, ya vimos, la cohesión de la unidad social estaba dada por una interacción química, la trofolaxis. En nosotros, los humanos, la «trofolaxis» social es el lenguaje que hace que existamos en un mundo siempre abierto de interacciones lingüísticas recurrentes. Cuando se posee lenguaje no hay límite a lo que se puede describir, imaginar, relacionar, permeando de esta manera absolutamente toda nuestra ontogenia como individuos, desde el caminar y la postura hasta la política. Pero antes de examinar más estas consecuencias del lenguaje, veamos primero cómo fue posible su aparición en la deriva natural de los seres vivos.

HISTORIA NATURAL DEL LENGUAJE HUMANO

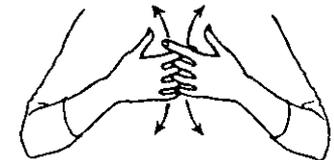
Durante muchos años fue un dogma en nuestra cultura que el lenguaje era absoluta y exclusivamente un privilegio humano, a años luz separado de las capacidades de otros animales. En tiempos más recientes, esta idea ha comenzado a ser notablemente discutida. En parte esto se debe a la cantidad de estudios, cada vez más numerosos, sobre la vida animal, que señalan a algunos animales, como los monos y los delfines, con posibilidades mucho más ricas que las que nos sentíamos inclinados a otorgarles. Pero, sin duda, es el hecho de que los animales superiores son capaces de aprender a interactuar con nosotros lingüísticamente de una manera cada vez más amplia lo que más ha contribuido a este cuestionamiento.

Es de suponer que desde antiguo el hombre ha intentado enseñar a hablar a un mono por ser el chimpancé que se parece tanto al hombre. Pero es sólo en los años treinta que la literatura científica registra un intento sistemático por parte de los Kellogs

en Estados Unidos, quienes criaron a un bebé chimpancé junto a su propio hijo, con la intención de enseñarle a hablar. Fue un fracaso casi completo. El animal era incapaz de reproducir las modulaciones vocales requeridas para hablar. Sin embargo, varios años después, otra pareja en Estados Unidos, los Gardner, pensaron que el problema podía estar, no en la capacidad lingüística del animal, sino en el hecho que sus habilidades no eran vocales, sino gesturales, como es proverbial en los monos. Así, decidieron repetir el experimento de los Kellogs, pero esta vez utilizando como sistema de interacciones lingüísticas el Ameslán, que es el idioma gestural más rico y más amplio e internacionalmente usado por sordomudos (fig. 61)* Washoe, el chimpancé de los Gardner, demostró que no sólo podía aprender Ameslán, sino que



Fig 61.—El Ameslán no es un lenguaje fonético, sino «idiográfico». Aquí, el gorila Koko aprende el gesto de «máquina».



* R. A. Gardner y B. T. Gardner, *Science*, 165.664, 1969

se desarrolló en él de manera tal que era tentador decir que aprendió a «hablar». El experimento había comenzado en 1966 cuando Washoe tenía un año. Para cuando tenía cinco, Washoe había aprendido un repertorio de unos doscientos gestos, incluyendo gestos que equivalían a las funciones de verbos, adjetivos y sustantivos del lenguaje hablado (fig. 62).



Fig. 62 —Interacción lingüística interespecífica

Ahora bien, el solo hecho de aprender a hacer ciertos movimientos de la mano para recibir las recompensas del caso no es en sí mismo un gran hazaña, como cualquier entrenador de circo sabe. La pregunta es ¿es que Washoe utiliza esos gestos de una manera tal que lo convengan a uno de que son usados como lenguaje, como nos sería evidente al conversar en Ameslán con un sordomudo? Quince años después de muchas horas de investigación y de muchos otros chimpancés y gorilas entrenados por distintos grupos, la respuesta a esta pregunta todavía es controvertida fieramente por ambos lados. Sin embargo, parecería ser que Washoe —como otros de sus congéneres— ha adquirido de hecho un lenguaje.

Así, por ejemplo, en ciertas ocasiones —aunque hasta ahora pocas— estos animales han sido capaces de combinar su repertorio limitado de gestos para crear nuevos gestos, que en el contexto de observaciones parecen adecuados. Así, de acuerdo con Lucy (otra chimpancé entrenada como Washoe), una sandía es una «fruta-beber» o un «dulce-beber» y un rábano fuerte es una «comida-llorar-fuerte». Y aunque se le había enseñado un gesto para «refrigerador» prefería proponer «abrir-comer-beber». ¿Significa esto que Washoe y Lucy están reflexionando sobre sus acciones, evidenciando interacciones a través del Ameslán?

El que un primate pueda interactuar usando los gestos del Ameslán no necesariamente lleva consigo el que pueda hacer uso de su flexibilidad potencial para distinguir en el dominio lingüístico los elementos del dominio lingüístico como si fuesen objetos, como hacen los humanos. Así, por ejemplo, en un experimento reciente, se comparó la habilidad de tres chimpancés, todos ellos entrenados en formas de interacciones lingüísticas esencialmente equivalentes al Ameslán*. La diferencia entre uno de ellos, Lana, y los otros dos, Sherman y Austin, es que en estos últimos había habido un énfasis esencial en el uso práctico de los signos y los objetos en la manipulación del mundo durante sus interacciones con los humanos y entre ellos. Lana, por el contrario, había aprendido una forma de interacciones lingüísticas más estereotipada (con interacciones a través de un ordenador) en el que el énfasis era más bien el de asociar signos con objetos. El experimento consistía en enseñarles a los tres animales a distinguir dos clases de objetos: comestibles y no comestibles (fig. 63) que ellos tenían que separar en bandejas. Luego se les entregaba una serie nueva de objetos y se les pedía que los pusieran en las bandejas correspondientes. Ninguno de estos animales tuvo problemas para realizar la tarea. En el siguiente paso se colocó a los animales ante imágenes visibles, o lexicogramas, de lo comestible y lo no comestible, y se les pidió que clasificaran correctamente distintos objetos según estos lexicogramas. Finalmente, la prueba era asignar correctamente el lexicograma a una serie nueva de objetos. En este nuevo experimento Lana falló dramáticamente, en comparación con sus congéneres.

* E. S. Savage-Rumbaugh, D. M. Rumbaugh, S. T. Smith y J. Lawson, *Science* 210:922, 1981.

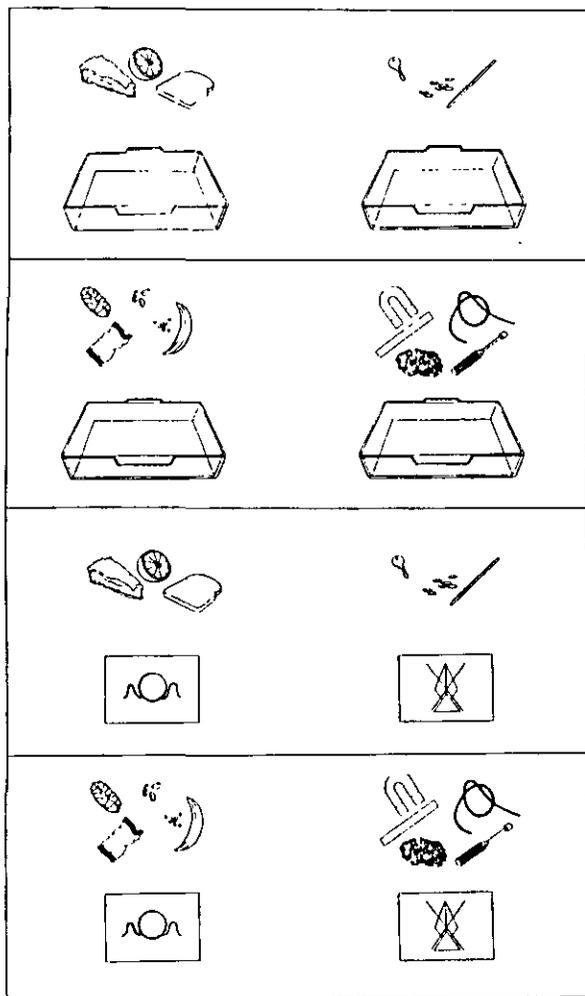


Fig. 63—Capacidad de generalización según distintas historias de aprendizaje lingüístico

Se revela aquí que Lana opera en un dominio lingüístico sin utilizar los elementos de este dominio para hacer distinciones en él, como cuando se transfiere o generaliza un categoría. Sherman y Austin en cambio sí lo hacen, como revela el experimento ante-

rior. Claramente el hecho que ellos hayan sido entrenados en un contexto interactivo y explorativo más rico en su operacionalidad lingüística (al involucrar directamente la convivencia con otros animales, y no sólo con un ordenador) hace que haya una diferencia fundamental en sus ontogénias con respecto a la de Lana.

Todos estos estudios sobre las capacidades lingüísticas de los primates superiores —también el gorila es capaz de aprender a interactuar con signos de Ameslán— son muy importantes para comprender la historia lingüística del hombre. En efecto, estos animales pertenecen a linajes paralelos al nuestro, pero muy cercano, y se parecen tanto a nosotros que el 98 por 100 de su material genético nuclear se superpone al humano. Esta pequeña diferencia en componentes, sin embargo, es responsable de las grandes diferencias en los modos de vida que han caracterizado los linajes de los homínidos y los grandes monos o antropoides y que han llevado en un caso al desarrollo habitual del lenguaje y en el otro no. Así, cuando se somete a estos animales a un acoplamiento lingüístico rico —como a Washoe— son capaces de entrar en él, pero la magnitud y carácter de los dominios lingüísticos en que participan aparecen como limitados. No sabemos si ésta se debe a limitaciones lingüísticas intrínsecas, o bien al ámbito de sus preferencias conductuales. De hecho, esto no nos debe sorprender en la medida que sabemos que la divergencia histórica entre homínidos y antropoides tiene que haber involucrado diferencias estructurales en el sistema nervioso asociadas a sus modos de vida tan distintos.

El detalle de la historia de las transformaciones estructurales propias de los homínidos no lo conocemos con precisión y quizá no las sepamos nunca. Por desgracia, la vida social y lingüística no deja fósiles, y no es posible reconstruirla. Lo que sí podemos decir es que los cambios en los homínidos tempranos que hicieron posible la aparición del lenguaje tienen que ver con su historia de animales sociales, de relaciones interpersonales afectivas estrechas, asociadas al recolectar y compartir alimentos. En ellos coexistían las actividades aparentemente contradictorias de ser parte integral de un grupo muy estrecho y al mismo tiempo de salir y alejarse por períodos más o menos largos a recolectar y cazar. Una «trofolaxis» lingüística con capacidad de tejer una trama de descripciones (recursivamente) es un mecanismo que permite la coordinación conductual ontogénica, como un fenóme-

no que admite un carácter cultural, al permitir que cada individuo «lleve» al grupo consigo sin necesidad de interacciones físicas continuas con él. Veamos esto un poco más de cerca.

La línea de homínidos a la cual pertenecemos constituye un linaje de más de quince millones de años (fig. 64). Sin embargo, no es sino hasta hace unos tres millones de años que se consolidaron los rasgos estructurales esencialmente idénticos a los actuales. Entre los más importantes: el andar bipedal y erecto, el aumento de la capacidad craneana (fig. 65), una conformación dental particular asociable a una alimentación omnívora, pero principalmente a base de semillas y nueces, y el reemplazo de los ciclos estrales en la fertilidad de la hembras por menstruaciones con el desarrollo en ellas de una sexualidad mantenida, no estacional, y un enfrentamiento de los rostros en la cópula. Ciertamente que no todos estos cambios que distinguen a los homínidos de otros primates ocurrieron simultáneamente, sino en distintos momentos y a distintos ritmos a lo largo de varios millones de años. Y en algún momento a lo largo de estas transiciones, el enriquecimiento del dominio lingüístico asociado a una sociabilidad recurrente llevó a la producción del lenguaje

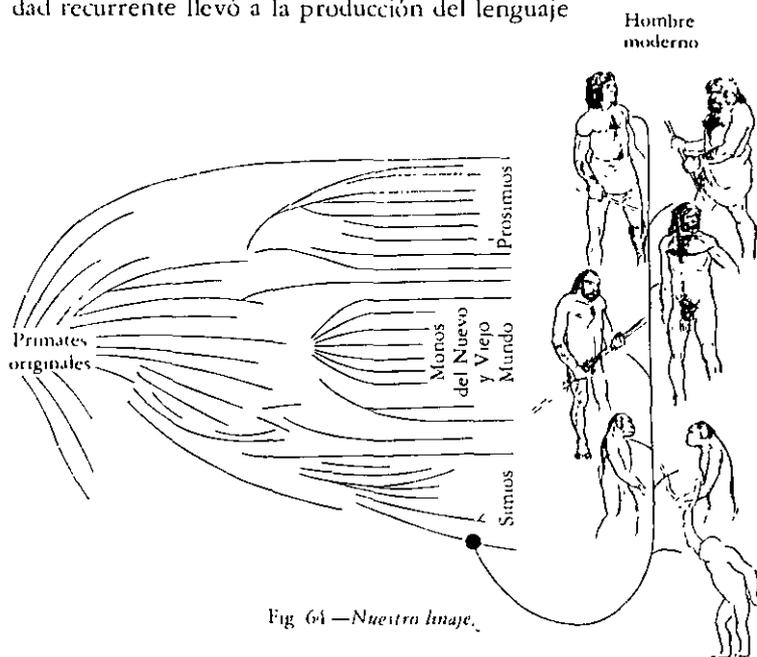


Fig. 64 —Nuestro linaje.

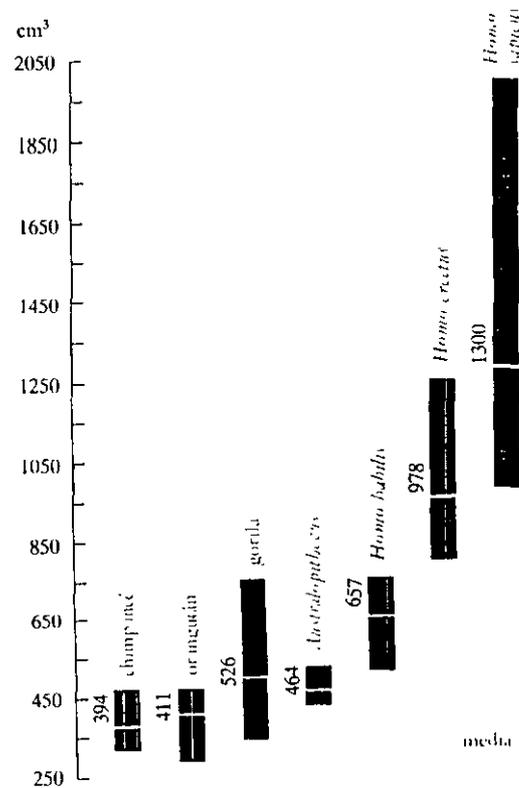


Fig. 65 —Comparación de la capacidad craneana de los homínidos.

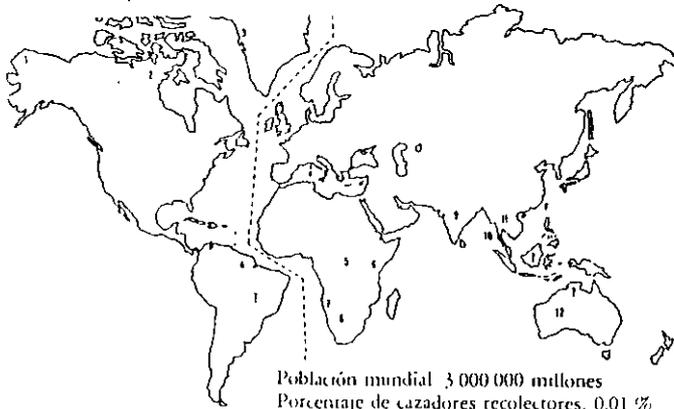
Podemos imaginar a estos homínidos tempranos como seres que vivían en pequeños grupos, familias extendidas, en constante movimiento por la sabana (fig. 66). Se alimentaban sobre todo de lo que recolectaban, como semillas duras —nueces, bellotas—, pero también de caza ocasional. Como su andar era bipedal, tenían las manos libres para acarrear esos alimentos por largos trechos a su grupo de base, y no se veían obligados a llevarlos en el aparato digestivo, como todo el resto del reino animal. Los hallazgos fósiles indican que su conducta acarreadora era parte integral en la conformación de una vida social en la que hembra y

*Distribución mundial de cazadores
recolectores, 1.000 a.C.*



Población mundial, 10 millones
Porcentaje de cazadores recolectores, 100 %

*Emplazamientos conocidos de cazadores
recolectores contemporáneos*



Población mundial, 3 000 000 millones
Porcentaje de cazadores recolectores, 0,01 %

- | | |
|---|--|
| 1 Esquimales - Alaska | 7 Korokas - Angola |
| 2 Esquimales - Territorios del Noroeste | 8 Búmbes - Angola |
| 3 Esquimales - Groenlandia | 8 Bosquimanos de Kalahan - África del Sur - Botsuana |
| 4 Akua - Suroeste | 9 Berbar - India Central |
| 5 Pigmeos - Zaire | 10 Isleños Andamanes - Isla Andamán |
| 6 Arrungulos - Tanzania | 11 Ruca - Tailandia |
| Boni - Tanzania | 12 Aborígenes Australianos - Australia |
| Sanye - Tanzania | 3 Presencia no verificada de cazadores recolectores |

Fig. 66.—En el neolítico las poblaciones humanas eran recolectoras-cazadoras (arriba). Estos orígenes están ocultos en los estilos de vida actuales (abajo).

macho, unidos por una sexualidad permanente y no estacional como en otros primates, compartían alimentos y cooperaban en la crianza de los jóvenes, y en el dominio de las estrechas coordinaciones conductuales aprendidas (lingüísticas) que se da en la continua cooperación de una familia extendida.

Este modo de vida de continua cooperación y coordinación conductual aprendida habría constituido el ámbito lingüístico cuya conservación habría llevado la deriva estructural de los homínidos por el camino del continuo incremento de la capacidad de hacer distinciones en ese mismo ámbito de coordinaciones conductuales cooperativas entre individuos que conviven estrechamente. Esta participación recurrente de los homínidos en los dominios lingüísticos que generan en su socialización debe haber sido una dimensión determinante en la eventual ampliación de dichos dominios, hasta la reflexión que da origen al lenguaje cuando las conductas lingüísticas pasan a ser objeto en la coordinación conductual lingüística, de la misma manera que las acciones en el medio son objetos de dichas coordinaciones conductuales. Así, por ejemplo, en la intimidad de las interacciones individuales recurrentes, que personalizan al otro con una distinción lingüística particular que opera como apelativo individual, podrían haberse dado las condiciones para la aparición de la reflexión lingüística.

Así fue, hasta donde podemos imaginarlo, la historia de la deriva estructural de los homínidos que llevó a la aparición del lenguaje. Es con esta herencia y con estas mismas características fundamentales que operamos hoy día en una deriva estructural bajo condiciones de conservación de la socialización y de la conducta lingüística descritas arriba.

VENTANAS EXPERIMENTALES A LO MENTAL

Las características únicas de la vida social humana y su intenso acoplamiento lingüístico se manifiestan en que ésta es capaz de generar un fenómeno nuevo, a la vez tan cercano y tan ajeno a nuestra propia experiencia: nuestra mente, nuestra conciencia. ¿Podemos hacer algunas preguntas experimentales que nos revelen este fenómeno de manera más detallada? Bueno, una manera sería hacerle la pregunta a un primate: «¿Cómo se siente uno siendo mono?» Por desgracia la respuesta parece que no va a

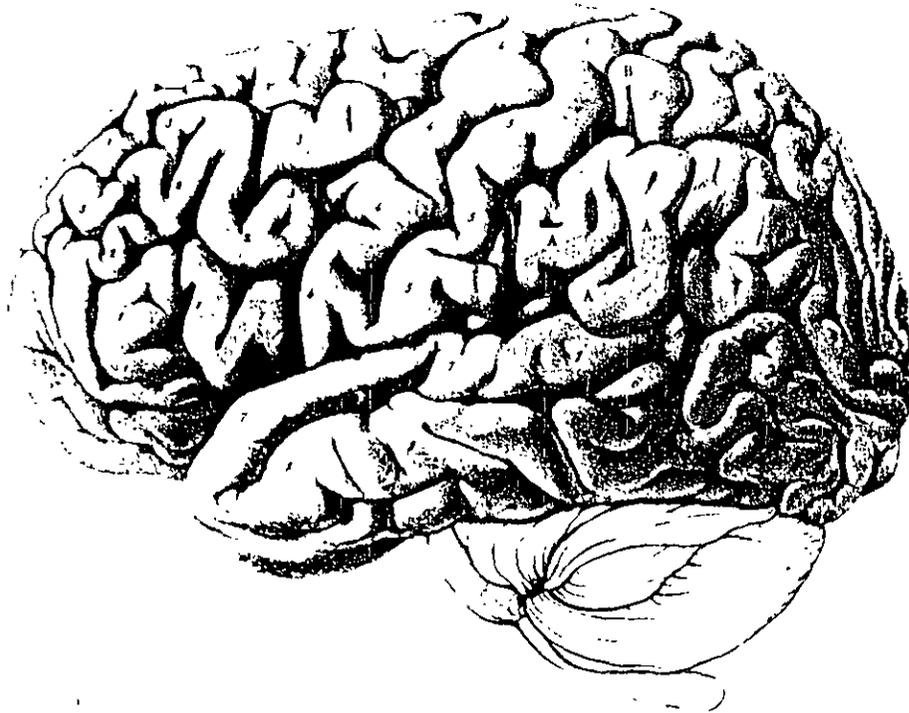


Fig. 67 —El talón de Aquiles para la habilidad lingüística oral humana (en color)

llegar nunca, por las limitaciones que tenemos para construir con ellos un dominio de convivencia que admita esas distinciones conductuales («sentirse») como distinciones lingüísticas en el lenguaje, ya que es la riqueza (diversidad) de las interacciones recurrentes que individualizan al otro en la coordinación lingüística lo que hace posible el lenguaje y determina su carácter y amplitud. En todo caso, la pregunta queda.

Quizá una manera más obvia de contrastar la experiencia de los primates con la humana no es a través del lenguaje, sino valiéndose de ese objeto tan ligado a la reflexión como es el espejo. Los animales, en general, tratan la imagen del espejo conductualmente como si fuera la presencia de otro animal. Un perro ladra o le mueve la cola a su imagen; los gatos hacen algo equiva-

lente. Entre los primates, los macacos claramente tienen una conducta parecida y responden con toda clase de gestos a su reflejo. Los gorilas, sin embargo, al enfrentarse por primera vez a un espejo parecen sorprendidos, pero luego se acostumbran al efecto y lo ignoran. Para explorar más allá este habituarse a la propia imagen, que aparece como tan distinto a lo que pasa con otros animales, en un experimento se anestesió a un gorila y se le pintó, entre los dos ojos, un punto de color que sólo podría verse en el espejo. Al salir el animal de la anestesia y ser puesto ante el espejo, ¡sorpresa!, su mano se dirigió hacia el punto de color de su propia frente para examinarlo. Podría haberse pensado más bien que el animal iba a estirar la mano para tocar el punto en la imagen, donde la veía. De estos experimentos se ha pensado que podrían ser indicaciones de que, al menos en los gorilas (y otros primates superiores), hay una cierta posibilidad de autoimagen y, por tanto, de reflexión. Cuáles serían los mecanismos recursivos que les permitirían hacer esta reflexión está lejos de ser claro, si es que existen del todo. Y si los hay, son quizá de una forma muy limitada y parcial. No así en el hombre, en quien el lenguaje hace que esta capacidad de reflexión sea inseparable de su identidad.

Una ventana muy honda que permite ver el papel que juega el acoplamiento lingüístico en la generación de lo mental en los humanos viene de algunas observaciones hechas con pacientes sometidos a tratamientos neuroquirúrgicos. Los más notables son una serie de estudios hechos en un número ya bastante grande de personas que sufren de epilepsia, un síndrome que en su peor forma produce epicentros de actividad eléctricos que se expanden por toda la corteza sin ninguna regulación (fig. 67). En consecuencia, la persona sufre convulsiones y pérdidas de conciencia, entre toda una serie de otros síntomas bastante inhabilitantes. En casos extremos de epilepsia se intentó hace algunos años evitar la invasión transcortical de la actividad epiléptica a través de cortar la conexión más importante que une los hemisferios cerebrales, el cuerpo calloso (fig. 69)*. El resultado es un individuo mejorado en cierta medida de la epilepsia, pero en el que ambos hemisferios dejan de funcionar en una unidad, como ocurre con una persona normal.

* R. W. Sperry, *The Harvey Lectures* 62:293, 1968



Fig. 68 —Ataque de epilepsia de la Inca, según un grabado de la época.

¿Qué revela todo esto, y qué ocurre aquí con el lenguaje y el habla? Ya mencionamos antes que ciertas zonas de la corteza cerebral (zonas del lenguaje) tienen que estar intactas para que el habla sea posible. En realidad en casi todos los humanos basta con que la integridad de estas áreas se dé en un solo lado preferencial, más comúnmente en el izquierdo. Por esta razón se dice que hay una lateralización para el lenguaje. Vemos que si se corta el cuerpo calloso, las personas con el lado preferencial izquierdo son por lo general las que siguen comprendiendo y elaborando un lenguaje, hablado o escrito. ¿Cómo demostramos este hecho si los pacientes operados no se diferencian de la gente ordinaria? ¿Qué ocurre con respecto a la interacción lingüística en estos sujetos cuyos hemisferios se hallan desconectados?

En las situaciones del diario vivir no se nota aparentemente ninguna diferencia. De hecho, estos pacientes así operados pueden retomar sus vidas corrientes sin que podamos distinguir a una persona operada si la encontramos en un cóctel. Pero hay maneras de generar, en el laboratorio, una interacción preferencial con el lado izquierdo y con el derecho por separado. Esto se basa en la anatomía del sistema visual, donde todo lo que vemos con el lado izquierdo de hecho perturba a neuronas que se hallan

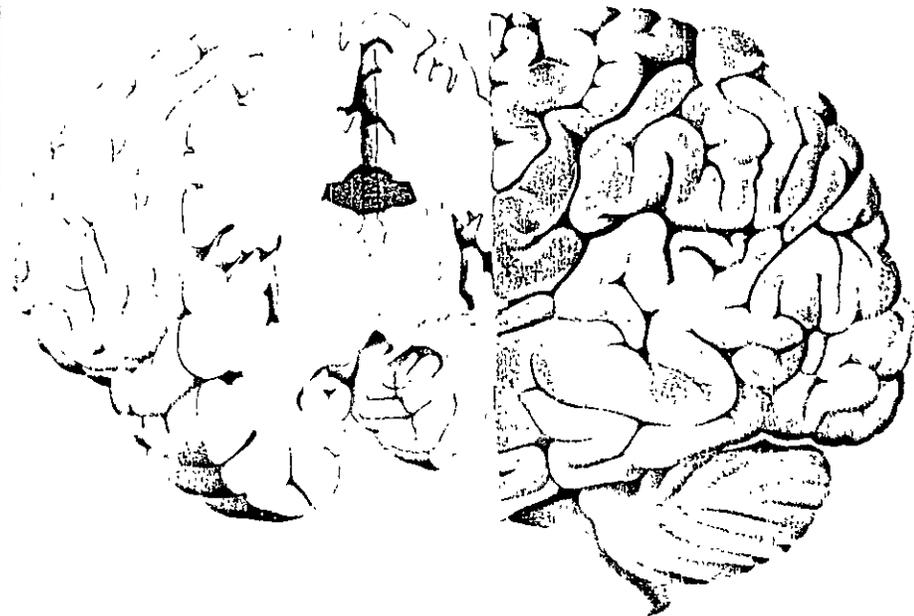


Fig. 69 —Desconexión interhemisférica en el tratamiento de la epilepsia: el cuerpo calloso seccionado se indica en color.

en la corteza derecha y viceversa (ver diagrama en la fig. 70). De modo que si uno fija la mirada de un sujeto y puede controlar la ubicación de su campo visual de las imágenes de estímulo, uno puede escoger interactuar preferentemente con la corteza derecha o la corteza izquierda.

En esta situación experimental uno descubre que puede encontrarse con distintas conductas de respuesta según interactúa con la persona-por-la-derecha o la persona-por-la-izquierda. Por ejemplo, al sujeto se le sienta en la sala de ensayos con la instrucción de escoger entre varios objetos aquel que corresponde a la imagen que se le proyecta (fig. 71). Si en el lado izquierdo (hemisferio derecho) se proyecta la imagen de una cuchara, el sujeto no tiene problema en encontrar la cuchara y exhibirla. Pero si ahora, en vez de una imagen de cuchara le mostramos la palabra

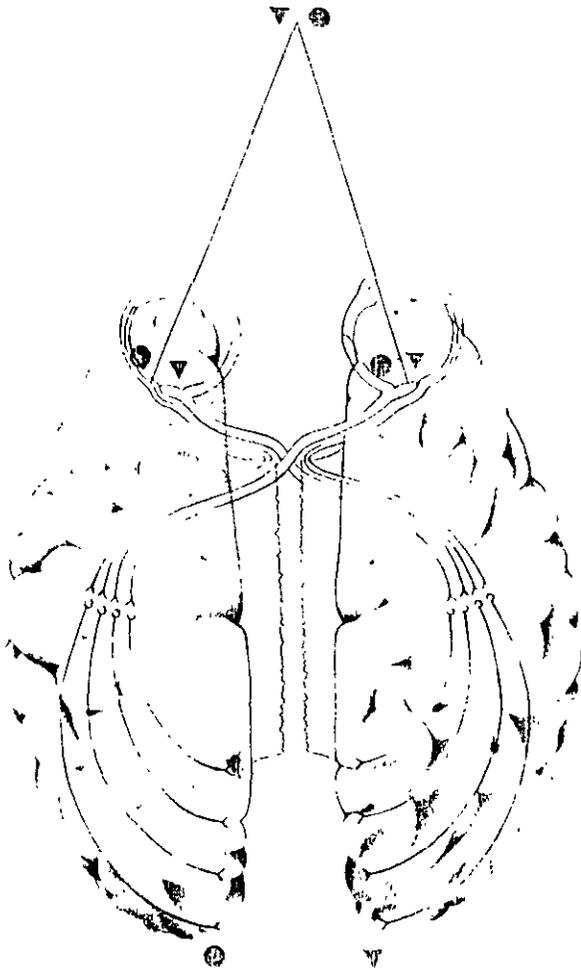


Fig. 70.—Geometría de la proyección de la retina a la corteza. Perturbaciones ubicadas en el lado izquierdo afectarían exclusivamente a la corteza del lado derecho.

«cuchara», el sujeto operado se queda sin reaccionar, y cuando se le pregunta, confiesa que no ha visto nada.

El lenguaje escrito o hablado son normalmente tan ininteligibles para la persona que opera con el hemisferio derecho (des-

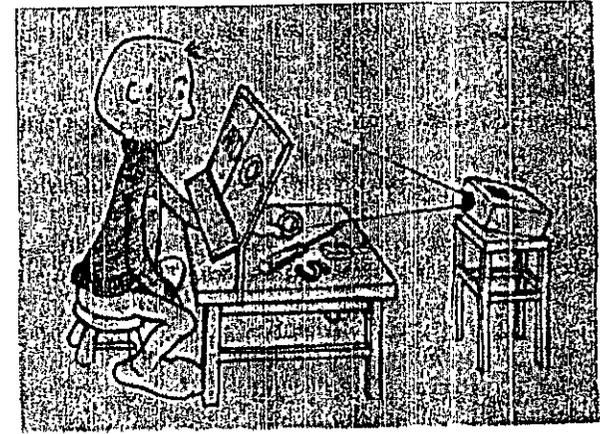


Fig. 71.—Situación experimental para el estudio conductual de personas con sección de cuerpo calloso. En una disposición en la que el sujeto no ve sus manos, ni los objetos a manipular, se le presentan imágenes a la derecha o a la izquierda de su campo visual que él tiene que identificar con la mano o con el habla.

pués del corte del cuerpo calloso) como para un bebé o un mono. Y, sin embargo, la persona que opera con el hemisferio izquierdo (después del corte del cuerpo calloso) es generalmente capaz de comprender textos escritos mostrados en la pantalla por el lado derecho.

Imaginemos ahora que en vez de mostrarle a esta persona una cuchara en su hemisferio derecho le mostremos la imagen de una hermosa vedette desnuda frente a la cual se ruboriza. Acto seguido le preguntamos: «¿Qué pasó?» La respuesta del sujeto es: «Pero doctor, qué máquina divertida tiene usted...» Es decir, la persona con que estamos conversando a través de preguntas y de lenguaje hablado, en interacciones que sólo involucran su hemisferio izquierdo, simplemente no tiene acceso a hacer descripciones orales de aquellas interacciones que le ocurrieron con el hemisferio derecho, del cual el hemisferio izquierdo se halla desconectado. No hay recursividad sobre aquello a lo que no hay acceso. Y este sujeto acoplado a nuestro lenguaje no vio una mujer desnuda, y lo único que hubo para él fue un cambio en el tono emocional que, por cierto, tiene que ver con las conectividades de ambos hemisferios con otras zonas del sistema nervioso que es-

tán intactas. Frente a ese cambio emocional, el hemisferio lingüístico construye una historia y dice: «Que máquina tan divertida tiene usted.»

Podemos ir más lejos con esto. Sucede que hay un cierto porcentaje pequeño de humanos en los que la destrucción de uno cualquiera de sus dos hemisferios no interfiere con el lenguaje. Es decir, en los cuales hay sólo una leve lateralización. Afortunadamente para nosotros, una de estas escasas personas fue además un paciente sometido a comisurectomía y voluntario del mismo tipo de experimentos que venimos describiendo. La diferencia esencial es que es posible interactuar ahora por la izquierda o por la derecha con lenguaje y, en ambos casos pedir respuestas que exigen reflexión lingüística*. Paul, un muchacho de quince años de Nueva York, era capaz, por ejemplo, de seleccionar la cuchara cuando se la pedía por medio de la palabra escrita en ambos hemisferios.

En consecuencia, se diseñó para Paul una nueva estrategia experimental. El experimentador comenzaba una pregunta oral tal como: «¿Quién.?» y los espacios en blanco eran complementados por una imagen en uno de los campos visuales, proyectándose por ejemplo: «¿eres tú?». Esta pregunta, presentada en ambos lados, recibió la misma respuesta: «Paul». Frente a la pregunta: «¿Qué día es mañana?», la respuesta fue adecuadamente «Domingo». Al preguntar al hemisferio izquierdo: «¿Qué quieres ser cuando seas mayor?», la respuesta fue «Corredor de coches», lo que es fascinante, porque la misma pregunta presentada al lado derecho había dado como respuesta: «Diseñador».

Estas observaciones indican que en este caso cuando se interactúa con ambos hemisferios se encuentran conductas que habitualmente identificamos como propias de una mente consciente capaz de reflexión. Esto es muy importante porque la diferencia entre Paul y otros pacientes, que es claramente la duplicación en su capacidad de lenguaje oral con la participación independiente de ambos hemisferios en la reflexión lingüística hablada, nos muestra que sin la recursividad lingüística no hay lenguaje ni parece generarse una mente o algo identificable como tal en nuestro dominio de distinciones.

* M. S. Gazzaniga y J. E. LeDoux. *The Integrated Mind*. Cornell University Press, Nueva York, 1978

El caso de Paul nos muestra algo más. En el curso de una interacción lingüística oral parecería ser que en él era el hemisferio izquierdo el predominante. Así, por ejemplo, si se le proyectaba una orden escrita al hemisferio derecho, tal como «Ríetex», Paul, efectivamente, fingía una risa. Si luego se le preguntaba al hemisferio izquierdo por qué reía, contestaba algo como «Es que ustedes son unos tipos...» Cuando la orden «Rásquese» apareció, a la pregunta de por qué se rascaba dijo: «Es que me pica.» Es decir, el hemisferio predominante no tiene problemas en inventar alguna *coherencia descriptiva* para dar cuenta de las acciones que ha visto ocurrir pero que están fuera de su experiencia directa debido a su desconexión con el otro hemisferio.

LO MENTAL Y LA CONCIENCIA

Todos estos experimentos nos dicen algo fundamental sobre la manera cómo, en la vida diaria, se organiza y se da coherencia a esta continua concatenación de reflexiones que llamamos conciencia y que asociamos a nuestra identidad. Por un lado, nos muestran que el operar recursivo del lenguaje es condición *sine qua non* para la experiencia que asociamos a lo mental. Por otro lado, estas experiencias fundadas en lo lingüístico se organizan en base a una variedad de estados de nuestro sistema nervioso, a los cuales, como observadores, no tenemos necesariamente un acceso directo. Pero que organizamos siempre de manera que encaja en la coherencia de nuestra deriva ontogénica. No puede ser, en el dominio lingüístico de Paul, que él se esté riendo sin una explicación coherente de esa acción; por tanto, su vivencia imputa ese estado a alguna causa tal como: «¡Es que ustedes son unos tipos!», conservando con esa reflexión la coherencia descriptiva de su historia.

Esto, que en el caso de Paul podemos revelar hasta cierto punto como conciencias disjuntas que operan a través del mismo organismo, es algo que nos revela un mecanismo que tiene que estar operando en nosotros constantemente. Es decir, esto nos muestra que en la red de interacciones lingüísticas en que nos movemos, *mantenemos una continua recursión descriptiva que llamamos «yo» que nos permite conservar nuestra coherencia operacional lingüística y nuestra adaptación en el dominio del lenguaje.*

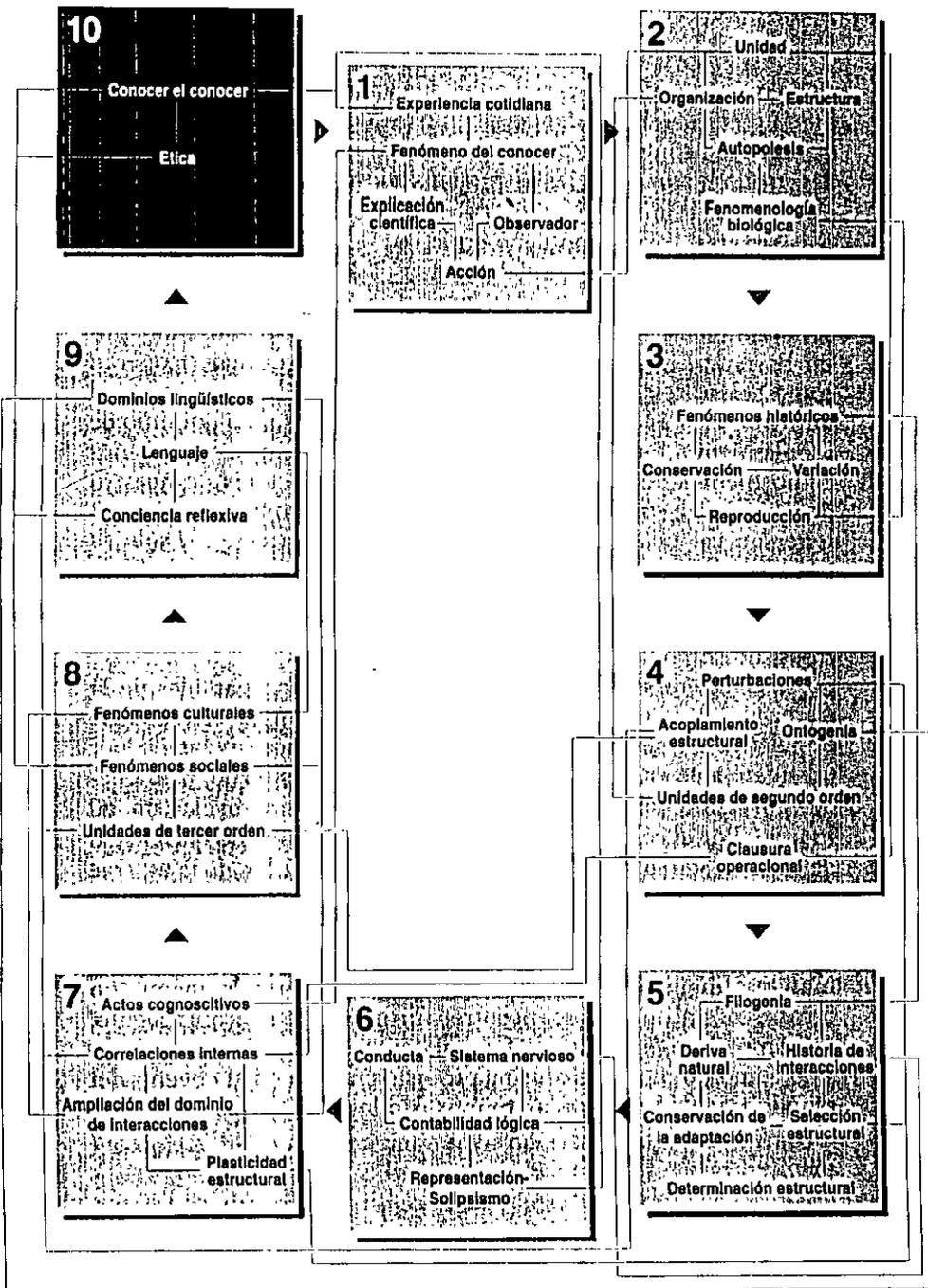
Esto no debiera sorprendernos a estas alturas. Vimos que un ser vivo se conserva como unidad bajo continuas perturbaciones del medio y de su propio operar. Vimos luego que el sistema nervioso genera una dinámica conductual a través de la creación de relaciones de actividad neuronal interna en su clausura operacional. El sistema vivo, en todos los niveles, está organizado de manera que genera regularidades internas. En el dominio del acoplamiento social y la comunicación, en esta «trofolaxis» lingüística, se produce el mismo fenómeno, sólo que la coherencia y estabilización de la sociedad como unidad se producirá esta vez mediante los mecanismos hechos posibles por el operar lingüístico y su ampliación en el lenguaje. Esta nueva dimensión de coherencia operacional es lo que experimentamos como conciencia y como «nuestra» mente.

Las palabras, ya sabemos, son acciones, no son cosas que se pasan de aquí para allá. Es nuestra historia de interacciones recurrentes la que nos permite un acoplamiento estructural interpersonal efectivo, y encontrar que compartimos un mundo que estamos especificando en conjunto a través de nuestras acciones. Esto es tan evidentemente así que nos es literalmente invisible. Es sólo cuando nuestro acoplamiento estructural fracasa en alguna dimensión de nuestro existir cuando, si reflexionamos, nos damos cuenta de hasta qué punto la trama de nuestras coordinaciones conductuales en la manipulación de nuestro mundo y la comunicación son inseparables de nuestra experiencia. Estos fracasos circunstanciales en alguna dimensión de nuestro acoplamiento estructural son comunes en nuestra vida cotidiana, desde comprar el pan hasta educar a un niño. Son la motivación para nuevas maneras de acoplamiento y nuevas descripciones. Y así, *ad infinitum*. La vida humana cotidiana, el acoplamiento social más corriente, está tan lleno de textura y estructura, que cuando se lo examina, asombra. Por ejemplo, ¿ha puesto atención el lector en la increíble textura que subyace a la conversación más banal, en cuanto a tonos de voz, en secuencias de uso de la palabra, en superposiciones de acciones entre los interlocutores? Nos hemos acoplado así por tanto tiempo en nuestra ontogenia que nos parece simple y directa. En verdad, la vida ordinaria, la vida de todos los días, es una filigrana de especificidad en la coordinación conductual.

Es así, entonces, como la aparición del lenguaje en el hombre

(y de todo el contexto social en el que aparece) genera este fenómeno inédito —hasta donde sabemos— de lo mental y de la conciencia de sí como la experiencia más íntima de lo humano. Sin el desarrollo histórico de las estructuras adecuadas no es posible entrar en este dominio humano —como le ocurre a la niña-lobo—. A la inversa, como fenómeno en la red de acoplamiento social y lingüístico, lo mental no es algo que está dentro de mi cráneo, no es un fluido de mi cerebro: la conciencia y lo mental pertenecen al dominio de acoplamiento social y es allí donde se da su dinámica. Es también desde allí que lo mental y la conciencia operan como selectores del camino que sigue nuestra deriva estructural ontogénica. Más aún, una vez que pertenecemos a un dominio de acoplamiento humano, podemos tratarnos a nosotros mismos como fuentes de interacciones lingüísticas selectoras de nuestro devenir. Pero, como Robinson Crusoe entendió muy bien al mantener un calendario y leer la Biblia todas las tardes, eso sólo es posible en la medida en que uno se conduce como si hubiese otros, ya que es la red de interacciones lingüísticas la que nos hace lo que somos. Nosotros, que como científicos decimos todas estas cosas, no somos distintos.

La estructura obliga. Los humanos somos inseparables de la trama de acoplamientos estructurales tejida por la «trofolaxis» lingüística permanente. El lenguaje no fue nunca inventado por un sujeto solo en la aprehensión de un mundo externo, y no puede, por tanto, ser usado como herramienta para revelar un tal mundo. Por el contrario, es dentro del lenguaje mismo que el acto de conocer, en la coordinación conductual que el lenguaje es, trae un mundo a la mano. Nos realizamos en un mutuo acoplamiento lingüístico, no porque el lenguaje nos permita decir lo que somos, sino porque somos en el lenguaje, en un continuo ser en los mundos lingüísticos y semánticos que traemos a la mano con otros. Nos encontramos a nosotros mismos en este acoplamiento, no como el origen de una referencia ni en referencia a un origen, sino como un modo de continua transformación en el devenir del mundo lingüístico que construimos con los otros seres humanos.



Capítulo X

EL ARBOL DEL CONOCIMIENTO

CÓNOECER Y CONOCEDOR

Como las manos del grabador de Escher (fig. 5), este libro ha seguido también un itinerario circular. Partimos de las cualidades de nuestra experiencia, comunes a nuestra vida social conjunta. Desde ese punto de partida, hicimos un largo recorrido por la autopoiesis celular, la organización de los metacelulares y sus dominios conductuales, la clausura operacional del sistema nervioso, los dominios lingüísticos y el lenguaje. En este transcurso fuimos gradualmente armando con piezas simples un sistema explicativo capaz de mostrar cómo surgen los fenómenos propios de los seres vivos. Así nos encontramos eventualmente con que nuestra explicación nos muestra cómo los fenómenos sociales fundados en un acoplamiento lingüístico dan origen al lenguaje, y cómo el lenguaje desde nuestra experiencia cotidiana del conocer en él nos permite generar la explicación de su origen. El comienzo es el final.

Hemos cumplido así con la exigencia que nos pusimos al comenzar, esto es, que la teoría del conocimiento debía mostrar cómo el fenómeno del conocer genera la pregunta por el conocer. Esta situación es muy distinta de las que encontramos corrientemente, donde el fenómeno de preguntar y lo preguntado pertenecen a dominios distintos.

Ahora bien, si el lector ha seguido con *seriedad* lo que se ha dicho en estas páginas se verá obligado a mirar todo su hacer y el mundo que trae a la mano —ya se trate de ver, gustar, preferir, rechazar o conversar— como producto de los mecanismos que hemos descrito. Si hemos seducido al lector a verse a sí mismo de la misma naturaleza que esos fenómenos, este libro ha cumplido su primer objetivo.

El hacerlo, es cierto, nos deja en una situación enteramente circular, que nos produce un poco de vértigo parecido al de las manos de Escher. El vértigo viene de que no parecemos tener ya un *punto de referencia fijo* y absoluto al cual podamos anclar nuestras descripciones para afirmar y defender su validez. En efecto, si decidimos suponer simplemente que hay un mundo que sencillamente está ahí, y es objetivo y fijo, no podemos entonces entender al mismo tiempo cómo funciona nuestro sistema en su dinámica estructural al requerir que el medio especifique su operar. O, si al contrario, no afirmamos la objetividad del mundo, parece

como si afirmáramos que todo es pura relatividad, y que todo es posible en la negación de toda legalidad. Entonces, nos encontramos con los problemas de entender cómo nuestra experiencia está acoplada a un mundo que vivimos como conteniendo regularidades que son resultado de nuestra historia biológica y social.

Otra vez tenemos que caminar por el filo de la navaja, evitando los extremos representacional (u objetivista) y solipsista (o idealista). En esta vía media lo que encontramos es la regularidad del mundo que experimentamos en cada momento, pero sin ningún punto de referencia independiente de nosotros que nos garantice la estabilidad absoluta que le quisiéramos asignar a nuestras descripciones. En verdad, todo el mecanismo de generación de nosotros como descriptores y observadores nos garantiza y explica que nuestro mundo, como el mundo que traemos a la mano en nuestro ser con otros, siempre será *precisamente* esa mezcla de regularidad y mutabilidad, esa combinación de solidez y arenas movedizas que es tan típica de la experiencia humana cuando se la mira de cerca.

Más todavía, es evidente que no podemos salirnos de este círculo y saltar fuera de nuestro dominio cognoscitivo. Sería como, por un *fiat* divino, cambiar la naturaleza del cerebro, cambiar la naturaleza del lenguaje y cambiar la naturaleza del devenir, al cambiar la naturaleza de la naturaleza. Estamos continuamente inmersos dentro de este círculo de una interacción a otra, cuyos resultados dependen de la historia. Todo hacer lleva a un nuevo hacer: es el círculo cognoscitivo que caracteriza a nuestro ser, en un proceso cuya realización está inmersa en el modo de ser autónomo de lo vivo.

A través de esta continua recursividad, todo mundo traído a la mano oculta necesariamente sus orígenes. Biológicamente no cabe que tengamos frente a nosotros lo que nos ocurrió en el proceso de obtener las regularidades que nos parecen acostumbradas, desde los valores o las preferencias hasta las tonalidades de los colores y los olores. El mecanismo biológico nos señala que una estabilización operacional en la dinámica del organismo no incorpora la manera cómo se originó. Nuestras visiones del mundo y de nosotros mismos no guardan registros de sus orígenes, las palabras en el lenguaje (en la reflexión lingüística) pasan a ser objetos que ocultan las coordinaciones conductuales que las constituyen (operacionalmente) en el dominio lingüístico. De aquí

que continuamente tengamos renovados «puntos ciegos» cognoscitivos, que no veamos que no vemos, que no nos demos cuenta de qué ignoramos. Sólo cuando alguna interacción nos saca de lo obvio —por ejemplo, al ser bruscamente transportados a un medio cultural diferente—, y nos permitimos reflexionar, es cuando nos damos cuenta de la inmensa cantidad de relaciones que tomamos por garantizadas.

Aquel bagaje de regularidades propias del acoplamiento de un grupo social es su tradición biológica y cultural. La tradición es, al mismo tiempo, ~~que una~~ manera de ver y actuar, una manera de ocultar. Toda tradición se basa en lo que una historia estructural ha acumulado como obvio, como regular, como estable, y la reflexión que permite ver lo obvio sólo opera con lo que perturba esa regularidad.

Todo lo que como humanos tenemos en común es una tradición biológica que comenzó con el origen de la vida y se prolonga hasta hoy, en las variadas historias de los seres humanos de este planeta. De nuestra herencia biológica común surge que tengamos los fundamentos de un mundo común y no nos extrañamos de que para todos los humanos el cielo sea azul y el sol salga cada mañana. De nuestras herencias lingüísticas diferentes surgen todas las diferencias de mundos culturales que como hombres podemos vivir, y que, dentro de los límites biológicos, pueden ser tan diversas como se quiera.

Todo conocer humano pertenece a uno de estos mundos y es siempre vivido en una tradición cultural. La explicación de los fenómenos cognoscitivos que hemos presentado en este libro se ubica dentro de la tradición de la ciencia y se evalúa con los criterios de ésta. Sin embargo es singular en cuanto muestra que, al intentar conocer el conocer, nos encontramos nítidamente con nuestro propio ser. El conocer el conocer no se arma como un árbol con un punto de partida sólido que crece gradualmente hasta agotar todo lo que hay que conocer. Se parece más bien a la situación del muchacho en *La galería de cuadros* de Escher (figura 72). El cuadro que mira, gradual e imperceptiblemente se transforma en ... ¡la ciudad en la que se halla la galería de cuadros! No sabemos dónde ubicar el punto de partida: ¿fuera, adentro? ¿La ciudad, la mente del muchacho? El reconocimiento de esta circularidad cognoscitiva, sin embargo, no constituye un problema para la comprensión del fenómeno del conocer, sino que



Fig 72 —La galería de cuadros, de M. C. Escher.

de hecho funda el punto de partida que permite su explicación científica.

EL CONOCIMIENTO DEL CONOCIMIENTO OBLIGA

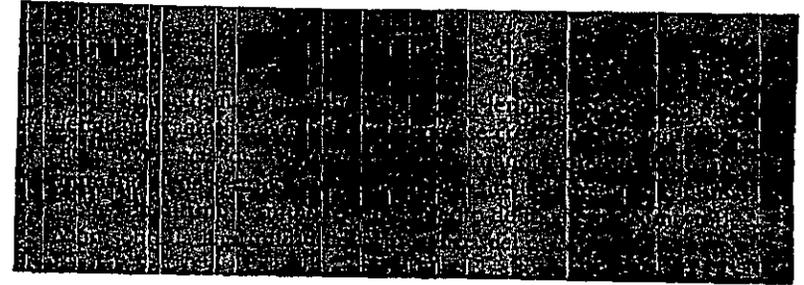
Cuando Adán y Eva mordieron el fruto del árbol del conocimiento del bien y del mal, dice el texto bíblico, se vieron trans-

formados en otros seres, para nunca volver a su primera inocencia. Antes, su conocimiento del mundo se expresaba en su desnudez y se movían con ella y en ella, en la inocencia del mero saber; después, se sabían desnudos, sabían que sabían.

A lo largo de este libro hemos recorrido el «árbol del conocimiento» y lo hemos visto como el estudio científico de los procesos que lo subyacen. Y si hemos seguido su argumento e internalizado sus consecuencias, también nos damos cuenta de que son inescapables. El *conocimiento del conocimiento obliga*. Nos obliga a tomar una actitud de permanente vigilia contra la tentación de la certeza, a reconocer que nuestras certidumbres no son pruebas de verdad, como si el mundo que cada uno ve fuese *el mundo* y no *un mundo* que traemos a la mano con otros. Nos obliga porque al saber que sabemos no podemos negar lo que sabemos.

Por esto todo lo que hemos dicho aquí, este saber que sabemos, conlleva una ética que es inescapable y que no podemos soslayar. En esta ética, lo central es que un verdadero hacerse cargo de la estructura biológica y social del ser humano *equivale a poner en el centro a la reflexión de que éste es capaz y que le distingue*. Equivale a buscar las circunstancias que permiten tomar conciencia de la situación en que se está —cualquiera que ésta sea— y mirarla desde una perspectiva más abarcadora, con una cierta distancia. Si sabemos que nuestro mundo es siempre el mundo que traemos a la mano con otros, cada vez que nos encontremos en contradicción u oposición con otro ser humano, *con el cual quisiésemos convivir*, nuestra actitud no podrá ser la de reafirmar lo que vemos desde nuestro propio punto de vista, sino la de apreciar que nuestro punto de vista es el resultado de un acoplamiento estructural en un dominio experiencial *tan válido como el de nuestro oponente, aunque el suyo nos parezca menos deseable*. Lo que cabrá, entonces, será la búsqueda de una perspectiva más abarcadora, de un dominio experiencial donde el otro también tenga lugar y en el cual podamos construir un mundo con él. Lo que la biología nos está mostrando, si tenemos razón en todo lo que hemos dicho en este libro, es que la unicidad de lo humano, su patrimonio exclusivo, está en esto, en su darse en un acoplamiento estructural social donde el lenguaje tiene un doble rol: por un lado, el de generar las regularidades propias del acoplamiento estructural social humano, que incluye entre otros el fenómeno de las identidades personales de cada uno; y, por otro

lado, el de constituir la dinámica recursiva del acoplamiento estructural social que produce la reflexividad que da lugar al acto de mirar con una perspectiva más abarcadora, al acto de salirse de lo que hasta ese momento era invisible o inamovible, permitiendo ver que como humanos sólo tenemos el mundo que creamos con otros. A este acto de ampliar nuestro dominio cognoscitivo refle-



xivo, que siempre implica una experiencia novedosa, podemos llegar ya sea porque razonamos hacia ello, o bien, y más directamente, porque alguna circunstancia nos lleva a mirar al otro como un igual, en un acto que habitualmente llamamos de *amor*. Pero, más aún, esto mismo nos permite darnos cuenta que el amor, o si no queremos usar una palabra tan fuerte, *la aceptación del otro junto a uno* en la convivencia, es el fundamento biológico del fenómeno social: sin amor, sin aceptación del otro junto a uno no hay socialización, y sin socialización no hay humanidad. Cualquier cosa que destruya o limite la aceptación de otro junto a uno, desde la competencia hasta la posesión de la verdad, pasando por la certidumbre ideológica, destruye o limita el que se dé el fenómeno social y, por tanto, lo humano, porque destruye el proceso biológico que lo genera. No nos engañemos, aquí no estamos moralizando, ésta no es una prédica del amor, sólo estamos destacando el hecho de que *biológicamente, sin amor, sin aceptación del otro, no hay fenómeno social*, y que si aún así se convive, se vive hipócritamente la indiferencia o la activa negación.

Descartar el amor como fundamento biológico de lo social, así como las implicaciones éticas que ese operar conlleva, sería desconocer todo lo que nuestra historia de seres vivos de más de tres mil quinientos millones de años nos dice y nos ha legado. No prestar atención a que todo conocer es un hacer, no ver la *identi-*

dad entre acción y conocimiento, no ver que todo acto humano, al traer un mundo a la mano en el lenguaje, tiene un carácter ético porque tiene lugar en el dominio social, es igual a no permitirse ver que las manzanas caen hacia abajo. Hacer tal, sabiendo que sabemos, sería un autoengaño en una negación intencional. Para nosotros, por tanto, todo lo que hemos dicho en este libro no sólo tiene el interés de toda exploración científica, sino que nos entrega la comprensión de nuestro ser humanos en la dinámica social, y nos libera de una ceguera fundamental: la de no darnos cuenta de que sólo tenemos el mundo que creamos con el otro, y de que sólo el amor nos permite crear un mundo en común con él. Si hemos conseguido seducir al lector a hacer esta reflexión, este libro ha cumplido su segundo objetivo.

Nosotros afirmamos que en el corazón de las dificultades del hombre actual está su desconocimiento del conocer.

No es el conocimiento, sino el conocimiento del conocimiento lo que obliga. No es el saber que la bomba mata, sino lo que queremos hacer con la bomba lo que determina el que la hagamos explotar o no. Esto, corrientemente, se ignora o se quiere desconocer para evitar la responsabilidad que nos cabe en todos nuestros actos cotidianos, ya que todos nuestros actos, sin excepción, contribuyen a formar el mundo en que existimos y que validamos, precisamente, a través de ellos, en un proceso que configura nuestro devenir. Ciegos ante esta trascendencia de nuestros actos pretendemos que el mundo tiene un devenir independiente de nosotros que justifica nuestra irresponsabilidad en ellos, y confundimos la imagen que buscamos proyectar, el papel que representamos, con el ser que verdaderamente construimos en nuestro diario vivir.

Hemos llegado al final. No busque aquí el lector recetas para su hacer concreto. La intención de este libro ha sido invitarlo a la reflexión que le lleva a conocer su conocer. La responsabilidad de hacer de este conocer carne y hueso de su acción queda en sus manos.

Se cuenta la historia de una isla en Alguna Parte, donde los habitantes anhelaban intensamente ir a otro lugar y fundar un mundo más sano y digno*. El problema, sin embargo, era que el arte y la ciencia de nadar y navegar nunca habían sido desarrolla-

dos —o quizá se habían perdido hacia mucho—. Por esto había habitantes que simplemente se negaban siquiera a pensar en las alternativas a la vida de la isla, mientras otros hacían algunos intentos de buscar soluciones a sus problemas, sin preocuparse de recuperar para la isla el conocimiento de cruzar las aguas. De vez en cuando algunos isleños reinventaban el arte de nadar y navegar. También, de vez en cuando, llegaba a ellos algún estudiante, y se producía un diálogo como el que sigue:

—Quiero aprender a nadar.

—¿Qué arreglos quieres hacer para conseguirlo?

—Ninguno. Sólo deseo llevar conmigo mi tonelada de repollo.

—¿Qué repollo?

—La comida que necesitaré al otro lado o donde quiera que esté.

—Pero si hay otras comidas al otro lado.

—No sé qué quieres decir. No estoy seguro. Tengo que llevar mi repollo.

—Pero así no podrás nadar, para empezar, con una tonelada de repollo.

—Entonces no puedo aprender. Tú lo llamas una carga. Yo lo llamo mi nutrición esencial.

—¿Supongamos, como una alegoría, que no decimos repollos sino ideas adquiridas, o presuposiciones o certidumbres?

—Mmm... Voy a llevar mis repollos donde alguien entienda mis necesidades.

* I. Shah, *The Sufis*, Anchor Books, Nueva York, 1971, pp. 2-15.

GLOSARIO

Acidos nucleicos: cadena de nucleótidos; véase ADN o ARN.

ADN (ácido desoxiribonucleico): ácido nucleico principal constituyente de los cromosomas. Participa de una manera crucial en la síntesis de proteínas celulares a través de especificar su secuencia de aminoácidos por intermedio de ARN.

Aminoácidos: moléculas orgánicas componentes de las proteínas. Cada aminoácido está formado por un grupo amino, un grupo ácido y de un resto molecular peculiar para cada tipo de aminoácido. Hay unos 20 diferentes aminoácidos en las proteínas de los seres vivos, tales como lisina, alanina, leucina, etc.

Antropoides: conjunto de los primates llamados superiores que incluye a los gorilas, chimpancés, gibones y orangutanes.

Año luz: unidad de distancia astronómica que corresponde a la distancia que recorrería un rayo de luz en un año. La velocidad de la luz es de aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo.

ARN (ácido ribonucleico): ácido nucleico que participa en la síntesis de proteínas en el citoplasma celular.

Axón: extensión protoplasmática neuronal única, que habitualmente es capaz de conducir un impulso nervioso.

Bacterias: seres vivos unicelulares sin compartimentalización interna (procariontes).

Cerebelo: lóbulo de la porción cefálica del sistema nervioso de los vertebrados de activa participación en la regulación fina de la actividad muscular.

Ciclo estral: receptividad sexual periódica estacional o mensual en los mamíferos en general y en los primates en particular.

Corteza: manto celular superficial de los hemisferios cerebrales.

Cromosomas: componentes nucleares formados por ácidos nucleicos altamente comprimidos y proteínas. Son fácilmente visibles durante la división celular y su número es fijo para cada especie viviente.

Cuerpo calloso: conjunto de axones que interconectan cortezas cerebrales de ambos hemisferios.

Dendrita: extensiones protoplasmáticas neuronales de variados números y formas, que no conducen un impulso nervioso.

Esporas: fase celular encasquetada en una cubierta resistente.

Eucariontes: células con compartimento nuclear y otros compartimentos, tales como mitocondrias, cloroplastos, etc.

Fenomenología: el conjunto de los fenómenos asociados a las interacciones de una clase de unidades.

Flagelo: órgano celular en forma de filamento móvil.

Fósil: resto o huella mineralizados dejados por un ser vivo.

Gametos: células que se fusionan durante la reproducción sexual, tales como el espermatozoide y el óvulo.

Gene: unidad descriptiva hereditaria en la genética de los ácidos nucleicos que corresponde a un segmento de ADN.

Hemisferios cerebrales: cada una de las porciones cefálicas simétricas del sistema nervioso de los vertebrados.

Homínidos: conjunto de las especies del hombre actual y sus formas ancestrales.

Insulina: hormona secretada en el páncreas que participa en la regulación de la absorción de glucosa.

Kiloparsec: unidad de distancia astronómica, que corresponde a aproximadamente 3.260 años luz.

Longitud de onda: magnitud que caracteriza la frecuencia de vibraciones de los distintos colores del espectro de la luz visible y, en general, de las diferentes radiaciones electromagnéticas.

Metabolismo celular: conjunto de los procesos de transformaciones químicas de los componentes celulares que ocurren permanentemente al interior de una célula.

Mitosis: proceso de descompartimentalización celular que lleva a la reproducción de una célula.

Mixomicetes: grupo de organismos eucariontes cuyo ciclo de vida implica fases con individuos ameboides dispersos y fases de agregación celular con o sin fusión.

Nervio óptico: haz de fibras nerviosas que conectan la retina con el cerebro.

Neurona: célula propia del sistema nervioso que se caracteriza por poseer axón y dendritas.

Neurotransmisor: sustancia secretada en los terminales sinápticos que gatilla cambios eléctricos en la neurona receptora.

Nucleótidos: moléculas orgánicas componentes de los ácidos nucleicos. Cada nucleótido está formado por la unión de una molécula de azúcar (ribosa) o desoxirribosa, un ácido fosfórico y una base nitrogenada (purinas o pirimidinas).

Ontogenia: historia de transformaciones de una unidad como resultado de una historia de interacciones, a partir de su estructura inicial.

Plasmodio: unidad multinuclear resultante de la fusión de varios individuos unicelulares.

Procariontes: células sin compartimento nuclear.

Proteínas: moléculas orgánicas formadas por la unión en cadena de numerosos aminoácidos. Esta cadena se halla plegada espacialmente de maneras diferentes según su composición de aminoácidos.

Protozoo: célula eucarionte de vida libre.

Pseudópodos: extensión protoplasmática de células ameboides.

Reacciones termonucleares: transformaciones de partículas elementales que ocurren bajo condiciones de altísimas temperaturas (del orden de 10.000 grados).

Recursivo: recurrente, que vuelve sobre sí mismo.

Sinapsis: punto de contacto estrecho de dos neuronas, habitualmente entre el axón de una neurona y las dendritas o cuerpo celular de otra.

Trofolaxis: literalmente del griego: flujo de alimentos.

Zigoto: célula resultante de la fusión de dos gametos (células sexuales), que es el punto de partida en el desarrollo de un metacelular con reproducción sexual.

FUENTE DE ILUSTRACIONES

- Fig. 1.—*Cristo coronado de espinas*, de Hieronimus Bosch, El Bosco, Museo del Prado, Madrid.
- Fig. 5.—*Manos que dibujan*, de M. C. Escher, 1948 (28,5 × 34 cm), litografía, reproducido de *The Graphic Work of M. C. Escher*, Meredith Press, Nueva York, 1967.
- Fig. 6.—Fotografía tomada en el Observatorio de Las Campanas, Chile. Cortesía de los doctores L. Campuzano y C. Monsalve, Universidad de Chile.
- Fig. 7.—Tomado de F. Hoyle, *Astronomy and Cosmogony*, Freeman, San Francisco, 1975, pág. 276.
- Fig. 9.—Adaptado de R. Dickerson y I. Geis, *The Structure and Action of Proteins*, Harper & Row, Nueva York, 1969.
- Fig. 10.—Tomado de L. Margulis, *Symbiosis in Cell Evolution*, Freeman, San Francisco, 1981, pág. 117.
- Fig. 12.—Microfotografía de un embrión de sanguijuela. Cortesía del doctor Juan Fernández, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Chile.
- Fig. 13.—Primera división de un embrión de ratón. Microscopía de barrido. Cortesía de los doctores Carlos Doggenweiler y Luis Izquierdo, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Chile.
- Fig. 19.—*Agua*, óleo de G. Arcimboldo.
- Fig. 20.—Tomado de J. T. Bonner, *The Evolution of Culture in Animals*, Princeton University Press, 1980, pág. 79.
- Fig. 21.—Adaptado de J. T. Bonner, *Scientific American*, 1959.
- Fig. 22.—Tomado de J. T. Bonner, *Size and Cycle*, Princeton University Press, 1965, láminas 6, 18, 25, 26.
- Fig. 23.—Adaptado de J. T. Bonner, *Size and Cycle*, *op. cit.*, página 17.
- Fig. 24.—Retrato de Ch. Darwin, the Bettman Archives.
- Fig. 26.—Adaptado de J. Valentine, *Scientific American*, septiembre 1979, pág. 140.
- Fig. 27.—Tomado de S. Stanley, *Macroevolution*, Freeman, San Francisco, 1979, pág. 68, según el trabajo de C. Teichert (1967).
- Fig. 30.—Adaptado de R. Lewontin, *Scientific American*, septiembre 1979, pág. 212.

- Fig. 31.—Orangután quitando un ratón a un gato. Tomado de Biruté Galdikos. Brindamour, *National Geographic*, vol. octubre 1975, pág. 468.
- Fig. 33.—Fotografías reproducidas de C. McLean, *The Wolf Children*, Penguin Books, Nueva York, 1977, figs. 14, 15, 16, 35.
- Fig. 34.—Adaptado de F. Kahn, *El hombre*, vol. II, pág. 235, Ed. Losada, Buenos Aires, 1944.
- Fig. 36.—Tomado de Santiago Ramón y Cajal, *Histologie du système nerveux*, vol. I, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 1952, fig. 340.
- Fig. 37.—Adaptado de J. T. Bonner, *The Evolution of Culture in Animals*, *op. cit.*, pág. 61.
- Fig. 38.—Adaptado de R. Buchsbaum, *Animals without Backbones*, Universidad de Chicago Press, Chicago, 1948, fig. 14-1.
- Fig. 39.—Tomado de J. T. Bonner, *The Evolution of Culture in Animals*, *op. cit.*, pág. 59.
- Fig. 40.—Adaptado de G. Horridge, *Interneurons*, Freeman, San Francisco, 1969, pág. 36.
- Fig. 42.—Tomado de R. Buchsbaum, *op. cit.*, fig. 84-1.
- Fig. 43.—Adaptado de R. Buchsbaum, *op. cit.*, pág. 73.
- Fig. 44.—Adaptado de una reconstrucción serial al microscopio electrónico de R. Poritsky, *J. Comp. Neurol.* 135:423, 1969.
- Fig. 46.—Tomado de S. Kuffler y J. Nichols, *From Neuron to Brain*, Sinauer Associates, Sunderland, Mass, 1976, pág. 9.
- Fig. 48.—Adaptado de D. Hubel, *Scientific American*, 241:47, 1979.
- Fig. 49.—Dibujo original de Juste de Juste.
- Fig. 51.—Adaptado de N. Tinbergen, *Social Behavior of Animals*, Methuen Co., Londres, 1953, pág. 10.
- Fig. 52.—Tomado de E. Wilson, *Insect Societies*, Harvard University Press, Cambridge, 1971, fig. 801, según un original de M. Wheeler (1910).
- Fig. 53.—Adaptado de E. Wilson, *op. cit.*, fig. 14-9.
- Fig. 54.—Adaptado de J. T. Bonner, *The Evolution of Culture in Animals*, *op. cit.*, pág. 93.
- Fig. 55.—Adaptado de E. Wilson, *Sociobiology*, Harvard University Press, Cambridge, 1978, fig. 25-3, según un original de L. D. Mech (1970).
- Fig. 56.—Tomado de I. De Vore y K. Hall, en: *Primate Behavior*, Holt, Reinhart and Winston, Nueva York, 1965, pág. 70.
- Fig. 57.—Tomado de V. Reynolds, *The Biology of Human Action*, Freeman, San Francisco, 1976, pág. 53.
- Fig. 58.—Tomado de J. T. Bonner, *The Evolution of Culture in Animals*, *op. cit.*, pág. 121, según un sonograma original de T. Hooker y B. Hooker (1969).
- Fig. 59.—Tomado de J. Frisch, en: *Primates*, Holt, Rinehart y Winston, Nueva York, 1968, pág. 250, según una fotografía original de M. Sato.
- Fig. 60.—Tomado de C. Blakenmore, *The Mechanics of Mind*, Cambridge University Press, pág. 129.

- Fig. 61.—Tomado de F. Patterson, en *National Geographic*, 154, 1978, pág. 441.
- Fig. 62.—Tomado de C. Blakenmore, *op. cit.*, pág. 125, de una fotografía del Institute for Primate Studies, Universidad de Oklahoma.
- Fig. 63.—Adaptado de E. Savage-Rumbaugh, D. Rumbaugh, S. Smith y J. Lawson, *Science* 210:923, 1981.
- Fig. 64.—Adaptado de J. Pfeiffer, *The Emergence of Man*, Harper & Row, Nueva York, 1969, pág. 8.
- Fig. 65.—Tomado de V. Reynolds, *op. cit.*, pág. 59.
- Fig. 66.—Tomado de J. Pfeiffer, *op. cit.*, pág. 311.
- Fig. 67.—Dibujo original de Luis Gratiolet (1854) en sus «Memoires sur les plus cérébraux de l'homme et des primates», lámina I, fig. 1.
- Fig. 68.—Tomado de C. Blakenmore, *op. cit.*, pág. 158, según el libro de Guamán Poma de Ayala, *Nueva crónica y buen gobierno*, sobre 1613.
- Fig. 71.—Adaptado de M. Gazzaniga, *Scientific American*, 217:27, 1967.
- Fig. 72.—La galería de cuadros, de M. C. Escher, 1956 (30 × 23,5 cm), litografía, reproducido de *The Graphic Work of M. C. Escher*, *op. cit.*