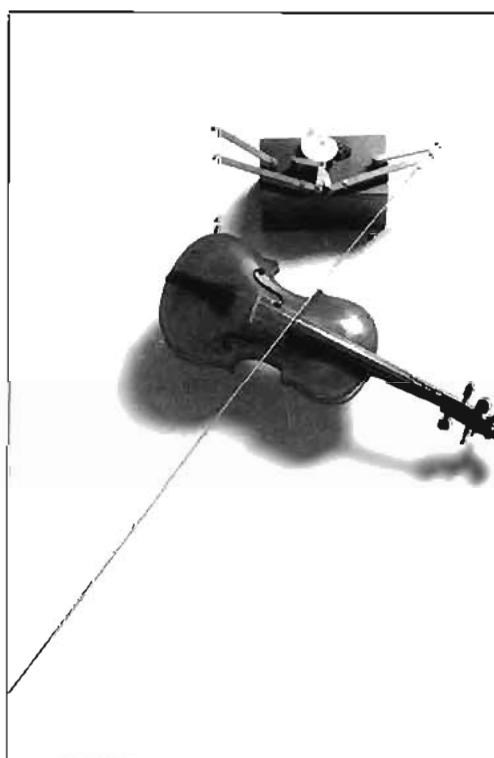


# una nueva aproximación a la memoria y la percepción

Israel Rosenfield

En 1895, Sigmund Freud hizo su último intento de explicar la base neurofisiológica del funcionamiento del cerebro. Su ensayo sobre el tema, "Proyecto para una psicología científica", nunca fue publicado en vida de Freud. Hemos aprendido mucho sobre el cerebro desde 1895, pero no se ha realizado desde entonces ningún intento igualmente serio de examinar las amplias implicaciones que la investigación neurocientífica tiene para el funcionamiento del cerebro y para la psicología. Recientemente, Gerald M. Edelman, director del Instituto de Neurociencias de la Universidad Rockefeller, ha propuesto una nueva teoría que nos da poderosas razones para revisar nuestras ideas acerca de cómo pensamos, actuamos y recordamos. Aunque esta teoría no se basa directamente en el trabajo de Freud, aborda varios de los problemas con los que Freud se enfrentó durante toda su vida creativa.

Un aspecto fundamental del trabajo de Freud es la relación entre la memoria y la psicología de la vida cotidiana. Consideraba que la memoria era un archivo permanente de sucesos pasados, un archivo que estaba anatómicamente separado de los



mecanismos del cerebro que son responsables de nuestra capacidad de percibir el mundo que nos rodea. Como escribió en el último capítulo de *La interpretación de los sueños*:

Hay evidentes dificultades derivadas de suponer que un solo y mismo sistema puede retener con precisión modificaciones de sus elementos y sin embargo permanecer perpetuamente abierto a nuevas ocasiones de modificación. [Por tanto] distribuiremos estas dos funciones en dos sistemas diferentes.

El 6 de diciembre de 1896 Freud escribía a su íntimo amigo Wilhelm Fliess:

Como sabes, trabajo partiendo de la suposición de que nuestro mecanismo físico se ha formado por un proceso de estratificación: el material presente en forma de huellas de la memoria es sometido de vez en cuando a una reordenación de acuerdo con nuevas circunstancias, a una retranscripción. Por tanto, lo que es esencialmente nuevo en mi teoría es la tesis de que la memoria está presente no una sino varias veces y está establecida en varias especies de indicaciones.

En la misma carta escribe: "Si pudiera dar una completa explicación de las características psicológicas de la percepción y de los registros de la memoria, habría descrito una nueva psicología".

Freud tenía una aguda conciencia de que los recuerdos son a menudo imperfectos y fragmentarios y de que pueden alterar, y alteran, las percepciones. Su teoría intentaba explicar cómo se transformaba tanto lo que él creía que eran perfectos almacenes de memoria, argumentando que

los recuerdos no pueden liberarse en su forma permanente porque las satisfacciones y placeres asociados en otro tiempo a impresiones juveniles ya no pueden experimentarse directamente. De ahí que reaparezcan en los sueños, pero disfrazados y reelaborados. Las ideas, argumentaba Freud, se separan de las emociones asociadas (afectos) y desaparecen de la conciencia. Las emociones se unen a ideas aparentemente no relacionadas con ellas, disfrazando así su verdadero significado. Y a menudo parece que olvidamos los recuerdos mismos. La represión, los recuerdos pantalla, el contenido latente de los sueños, el regreso de lo reprimido, eran todos mecanismos elaborados en la teoría de Freud para explicar los modos en que los recuerdos fijados, por muy distorsionados e incompletos que sean, pueden manifestarse y afectar nuestra visión actual del mundo. La teoría freudiana trata de explicar una aparente paradoja: si creemos que los recuerdos, por su misma naturaleza, están permanentemente almacenados en el cerebro, ¿por qué raras veces los recordamos en su forma original? Es la impresión del recuerdo lo que la psicología freudiana evoca tan bien. Las razones de esta aparente imprecisión podrían, no obstante, ser muy diferentes de las que proponía Freud. De hecho, la suposición de que los recuerdos forman parte en algún sentido de un registro fijo puede ser equivocada.

Si la memoria es un registro fijo, los neurofisiólogos aún no pueden precisar dónde y cómo se almacenan los recuerdos. Puede que la hipótesis de un registro fijo haya sido formulada prematuramente, sin prestar suficiente atención a los medios por los cuales reconocemos objetos y sucesos. Probablemente se nos da mucho mejor reconocer que recordar. Reconocemos a las

personas a pesar de los cambios producidos por la edad, reconocemos fotografías de lugares que hemos visitado y objetos personales que hemos perdido. Podemos reconocer cuadros de Picasso y hábiles imitaciones de Picasso. Cuando reconocemos un cuadro que no habíamos visto antes como un Picasso o una imitación, estamos haciendo algo más que recordar impresiones anteriores. Estamos estableciendo categorías: Picassos y copias. Nuestro reconocimiento de los cuadros o de las personas es el reconocimiento de una categoría, no de un objeto específico. Las personas nunca son exactamente lo que eran momentos antes y los objetos nunca se ven exactamente de la misma manera.

Una posible explicación de esto es que nuestra capacidad de recordar no es para el recuerdo específico de una imagen almacenada en algún lugar de nuestro cerebro. Más bien se trata de la capacidad de organizar el mundo que nos rodea en categorías, unas generales y otras específicas. Cuando decimos que tenemos almacenada la imagen mental de un amigo, ¿a qué imagen o imágenes nos referimos? Al amigo ¿haciendo qué, cuándo y dónde? Una ra-



zón por la que la búsqueda de moléculas de memoria y zonas de almacenaje de información específica en el cerebro ha resultado infructuosa hasta ahora bien podría ser que simplemente no existen. A menos que podamos entender cómo clasificamos a las personas y las cosas y cómo generalizamos, es posible que no entendamos nunca cómo recordamos nombres, números de teléfono, palabras y definiciones de las mismas. ¿Acaso no son éstos ejemplos de cosas que deben de estar almacenadas en alguna clase de memoria? No obstante, conviene observar que, generalmente, recordamos nombres y números de teléfono dentro de un contexto determinado; cada uno de nuestros recuerdos es diferente, igual que usamos la misma palabra en diferentes frases. Éstos son recuerdos categorizados, no simplemente específicos.

Hace mucho tiempo que los neurólogos clínicos se han dado cuenta de que las enfermedades cerebrales pueden causar graves alteraciones de la memoria, pero aún no han analizado profundamente la naturaleza de la clasificación. En una extraña anomalía que es el resultado de lesiones cerebrales y que se llama prosopagno-

sia, los pacientes pierden la capacidad de identificar las caras de los amigos y de los personajes públicos conocidos. Pero saben que las caras son caras. Y aunque no pueden identificar su coche o su abrigo, reconocen los coches y las ropas como tales. Al parecer pueden reconocer categorías generales pero no pueden identificar cosas específicas. Algo parecido ocurre también en algunas formas de amnesia. Antonio Damasio y sus colegas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Iowa describen el caso de un paciente con amnesia que, sentado en una habitación con las cortinas corridas, era incapaz de recordar en qué época del año estaba. Luego se asomó a la ventana, se fijó en el color de los árboles y en la vestimenta de un transeúnte y exclamó: "¡Vaya, debemos estar en julio o agosto!". No podía recordar el mes del año, pero sí podía deducirlo si se le daban las pruebas adecuadas.

Estos estudios parecen indicar que nuestra capacidad de reconocer categorías generales como opuestas al reconocimiento de casos específicos, tales como la cara de Mary o el sombrero de Alison, depende de dos funciones cerebrales distintas. Pero la capacidad de reconocer el sombrero de Alison se basa, en parte al menos, en asociaciones temporales. Puede que hayamos visto a Alison con este sombrero el domingo pasado. La pérdida de la capacidad de clasificar los sucesos en el tiempo puede producir una pérdida casi total de referencias específicas. No son los casos específicos los que ya no se recuerdan, sino el orden temporal en que se produjeron o su ordenación en sucesión, que no se ha formado o se ha perdido. Cuando Damasio y sus colegas examinaron al hombre que padecía amnesia respecto al calendario, descubrieron que tenía lesiones cerebrales que

le incapacitaban para establecer "relaciones temporales y espaciales entre detalles de información sensorial separados".

Las necesidades y los deseos individuales, por tanto, determinan cómo clasificamos a las personas, los lugares y los sucesos que llenan nuestra vida cotidiana. Además, las categorías que usamos parecen depender de correlaciones cruzadas, es decir, del contexto. Sin embargo, muchas influyentes teorías de la función mental postulan entidades fijas que poseen una existencia independiente propia. Freud, por ejemplo, describió muchos objetos corrientes clasificándolos en categorías basadas en su semejanza con los órganos sexuales femeninos o masculinos (símbolos fálicos, por ejemplo) y tendía a considerar que tales categorías representaban pulsiones más profundas que son universales dentro de la especie humana. Muchos neurólogos y psicólogos clínicos no están de acuerdo con la noción freudiana de las pulsiones sexuales universales; no obstante, sostienen que la información está organizada en categorías permanentes en uno o más sistemas de memoria dentro del cerebro y que ésta puede traerse a la conciencia sistemáticamente de forma análoga a las búsquedas de memoria usadas en los ordenadores. Los procesos responsables de nuestro reconocimiento de las categorías, sin embargo, no parecen depender de mecanismos tan fijos.

Hay buenas razones biológicas para poner en duda la idea de categorías universales fijas. En un sentido amplio, son contrarias a los principios de la teoría darwinista de la evolución. Darwin insistió en que las poblaciones eran colecciones de individuos únicos. En el mundo biológico no existe un animal típico o una planta típica. Cuando decimos que una molécula de sal tiene



un tamaño concreto estamos dando una medida que, salvo error, es válida para todas las moléculas de sal. Pero no hay ningún conjunto de medidas que describa universalmente más que al ejemplar de planta o animal que estamos midiendo. Las cualidades que asociamos con los seres humanos y otros animales son abstracciones inventadas por nosotros que no tienen en cuenta la naturaleza de la variación biológica. El concepto fundamental del pensamiento darwinista es que en las poblaciones se producen variaciones a partir de las cuales puede tener lugar la selección. Es la variación lo que es real, no el propósito. El reconocimiento por parte de Darwin de esta profunda diferencia entre el mundo físico y el mundo biológico fue lo que llevó al desarrollo de la biología moderna. Los mecanismos de la herencia a través de los genes crean diversidad dentro de las poblaciones; la selección entre estas poblaciones permite que ciertos organismos sobrevivan en un medio ambiente imprevisible.

Las ideas darwinistas han tenido una influencia variable en el pensamiento psicológico, que se ha apartado a menudo de la explicación biológica. La moderna etología, que estudia la relación entre el comportamiento animal y el humano, ha recuperado buena parte del espíritu darwinista que desgraciadamente abandonó a la psicología cuando los primeros teóricos, tales como Pavlov, parecieron tener éxito en explicar la conducta sin hacer caso de las diferencias entre especies animales. Pero pese a lo importantes que son sus intenciones, los etólogos no han aplicado el pensamiento darwinista al funcionamiento del cerebro en cada individuo de una especie.

¿Tiene algo que ver el pensamiento evolucionista con la explicación de la psicología de los seres humanos individua-

les? La teoría del cerebro que propuso Gerald Edelman en 1978 intentaba explicar la función neurofisiológica como un sistema darwinista que implicaba variación y selección. Aunque su teoría se limita a la neurobiología, hay implícito en este trabajo un audaz intento de unificar las ciencias biológicas y psicológicas, intento que depende mucho de las ideas evolucionistas y de los hechos de la biología del desarrollo.

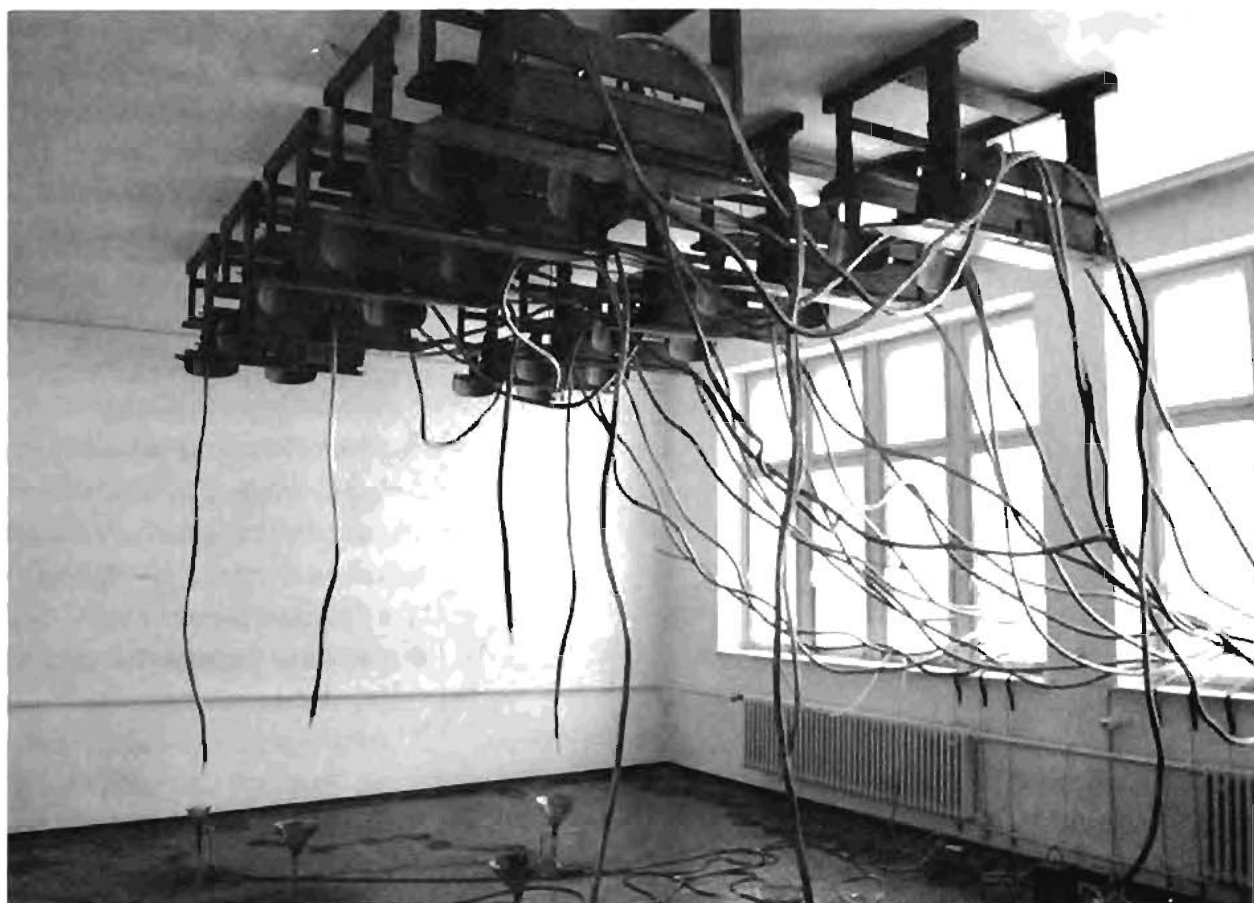
Edelman había estudiado antes el sistema inmunológico. Durante años, los científicos se habían preguntado cómo producía el cuerpo anticuerpos contra los virus o las bacterias que nunca había encontrado. Linus Pauling sugirió que había una clase básica de molécula de anticuerpo en el cuerpo. Cuando éste era invadido por una bacteria, argumentaba Pauling, la molécula de anticuerpo se moldeaba alrededor del intruso, adquiriendo así una forma definida. Se hacían copias del molde y se soltaban en la corriente sanguínea, donde se adherían a las bacterias invasoras. El sistema aprendía, o se le enseñaba, la forma de una bacteria después de haber estado expuesto a ella.

Posteriormente se demostró que la teoría de Pauling de que sólo hay una clase de proteína de anticuerpo era equivocada. En 1969 Edelman y sus colegas descubrieron la estructura química completa de la molécula de anticuerpo, proporcionando así un importante indicio respecto a qué estructuras dentro de la molécula varían para producir los millones de diferentes clases de anticuerpos necesarios para proteger al cuerpo de organismos extraños. Por este trabajo ganó el Premio Nobel en 1972 junto con el inglés Rodney Porter, ya fallecido. Sus estudios confirmaron una teoría que MacFarlane Burnet y Niels Jerne habían sugerido en la década de los cincuenta y

que sostenía que todos los animales nacen con un repertorio completo de anticuerpos y que las bacterias intrusas seleccionan aquellos anticuerpos que pueden combatir eficazmente su presencia.

Contrariamente a lo que afirmaba la teoría de Pauling, la presencia de las bacterias no determina la naturaleza del anticuerpo que se hace, sino únicamente la cantidad. Un limitado número de genes, unos cientos o unos miles a lo sumo, proporcionan, por medio de mecanismos recombinatorios, los códigos para los muchos millones de anticuerpos diferentes. Hay unas células especializadas en la sangre, cada una de las cuales produce una de las muchas clases de posibles anticuerpos que luego se adhieren a la superficie de la célula. Una molécula de anticuerpo que por casualidad se adapte más o menos ajustadamente a un virus o bacteria que está flotando en la corriente sanguínea se adhiere a ese virus o bacteria. Esto pone en marcha una cadena de sucesos que hace que la célula se divida y fabrique miles de copias (clones) de sí misma y más cantidad de la misma clase de anticuerpos. Otras células pueden llevar también moléculas de anticuerpo que se adapten al virus o bacteria de diferentes maneras y estas células igualmente se adherirán al virus o bacteria y formarán clones. El cuerpo sólo puede liberarse de un virus o bacteria si en su repertorio de anticuerpos hay por lo menos un ajuste lo bastante bueno. Generalmente hay varios ajustes y algunos de ellos pueden solaparse.

Por lo tanto, al sistema inmunológico no le enseñan qué anticuerpos tiene que producir para librar al cuerpo de determinado virus. El virus invasor selecciona los anticuerpos apropiados, los cuales serán distintos en cada individuo. Un desgraciado



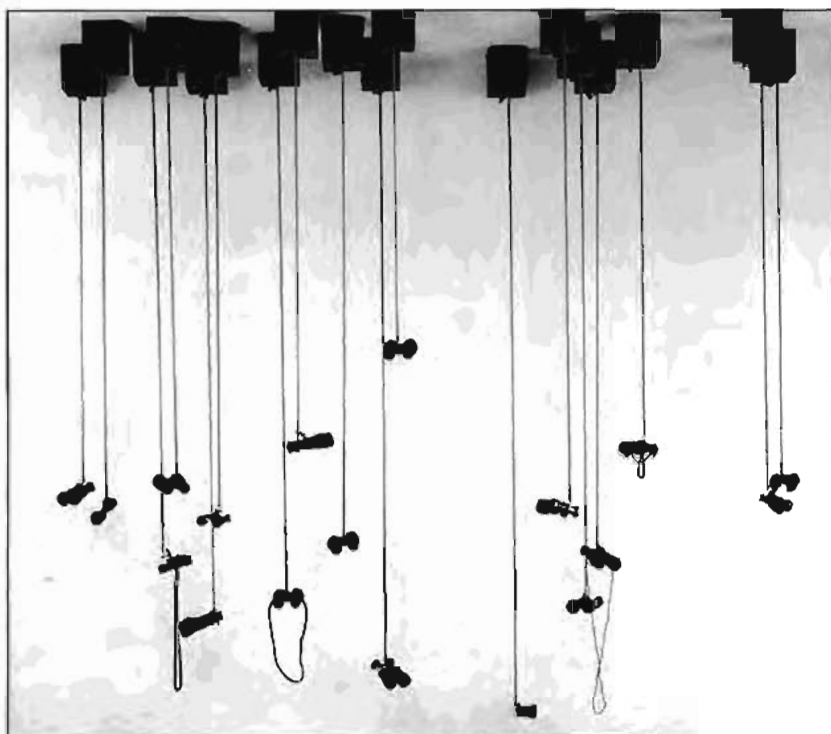
organismo puede no tener ningún anticuerpo en su repertorio que pueda adherirse al virus y el resultado podría ser fatal. En general, los científicos estaban satisfechos con esta solución a la cuestión inmunológica, porque era coherente con los principios darwinistas de selección que han constituido los fundamentos de la biología moderna. Las teorías sobre la inmunología, que se basan en un proceso de aprendizaje o enseñanza, no eran coherentes con tales principios darwinistas.

Al comparar esos descubrimientos en inmunología con la teoría de la evolución, a Edelman se le ocurrió que tal vez el cerebro funcione también como un sistema selectivo y que lo que llamamos aprendizaje sea en realidad una forma de selección. La teoría que elaboró se basa en tres afirmaciones fundamentales: 1) Durante el desa-

rollo del cerebro en el embrión se forma un modelo sumamente variable e individual de conexiones entre las células cerebrales (neuronas); 2) después del nacimiento, en cada individuo se fija un modelo de conexiones neurales, pero se seleccionan ciertas combinaciones de conexiones en detrimento de otras, como consecuencia de los estímulos que el cerebro recibe a través de los sentidos; 3) esta selección ocurriría especialmente en grupos de células cerebrales que están conectadas en hojas, o "mapas", y dichos mapas se "hablan" entre sí para crear categorías de cosas y sucesos.

Pero ¿es cierto que existe un mecanismo que crea tal diversidad en cada cerebro? En 1963, el neurólogo Roger Sperry, ganador del Premio Nobel, postuló que los billones de complicadas conexiones en el cerebro estaban determinadas cada una de

ellas por marcadores químicos específicos en cada neurona. Según esta teoría, presumiblemente unos genes concretos, proporcionan un código a cada uno de los marcadores. Los gemelos con idénticos genes, por lo tanto, deberían tener cerebros idénticos, o casi idénticos. Puede que el aprendizaje no esté programado en el modelo de Sperry, pero este modelo parece implicar que lo que cualquier persona puede aprender está limitado por conexiones predeterminadas en su cerebro. Si Sperry tuviera razón, muchas funciones cerebrales estarían determinadas genéticamente y, en esa medida, los organismos podrían estar limitados en su capacidad para adaptarse a nuevos medios ambientales. El comportamiento adaptativo y la flexibilidad tendrían que producirse por instrucción; es decir, los estímulos externos crearían pautas en el



cerebro, de modo parecido a como los programas dan instrucciones a los ordenadores. Sin embargo, sabemos que los animales pueden adaptarse individualmente a diferentes medios. El cerebro humano ha permitido la supervivencia en circunstancias notablemente distintas a lo largo de la historia. El determinismo genético despierta incredulidad porque hace que resulte difícil explicar la enorme variabilidad del pensamiento y la acción.

En opinión de Edelman, lo importante no era, según argumentaba Sperry, cómo se forman las estructuras específicas del cerebro de acuerdo con marcadores en cada neurona, sino cómo, dado un conjunto concreto de genes, se crearía suficiente variabilidad dentro de la estructura general constante del cerebro para explicar la adaptabilidad del ser humano y los animales superiores en un medio imprevisible. La cuestión de fondo que había que explorar para comprender esto era la relación entre genes, por un lado, y, por el otro, la forma y

estructura —o “*morfología*”— de los animales. A pesar de todo el trabajo realizado sobre el código genético, los biólogos no pueden predecir aún la forma de un organismo basándose en la información contenida en sus genes. Si hubiéramos encontrados genes en lugar de huesos de dinosaurio nunca hubiésemos sabido que se trataba de dinosaurios ni qué aspecto tenían éstos. ¿Por qué no nos informan los genes de la morfología?

La respuesta a esta pregunta, de acuerdo con los descubrimientos de Gerald Edelman, se encuentra en las primeras fases del desarrollo embrionario. A medida que un embrión se desarrolla, las células se dividen, se mueven de un sitio a otro y, por último, se especializan. El destino de una célula, el hecho de que se convierta en célula hepática o en célula nerviosa, depende de dónde se encontrará casualmente en el momento en que comienza la especialización y también de dónde hubiese estado antes. Las formas y los movimien-

tos de las células varían inevitablemente en cada individuo, lo cual hace imposible predecir con exactitud dónde estará una célula determinada en un momento dado. Si la especialización de una célula estuviese completamente predeterminada por los genes, incluso una sola célula desplazada podría causar estragos, y el desarrollo posterior de ese organismo seguiría un curso anormal. Una viga sustentadora, colocada entre dos paredes, que fuese puesta sólo unos momentos demasiado tarde no serviría de nada una vez que las paredes se hubiesen derrumbado.

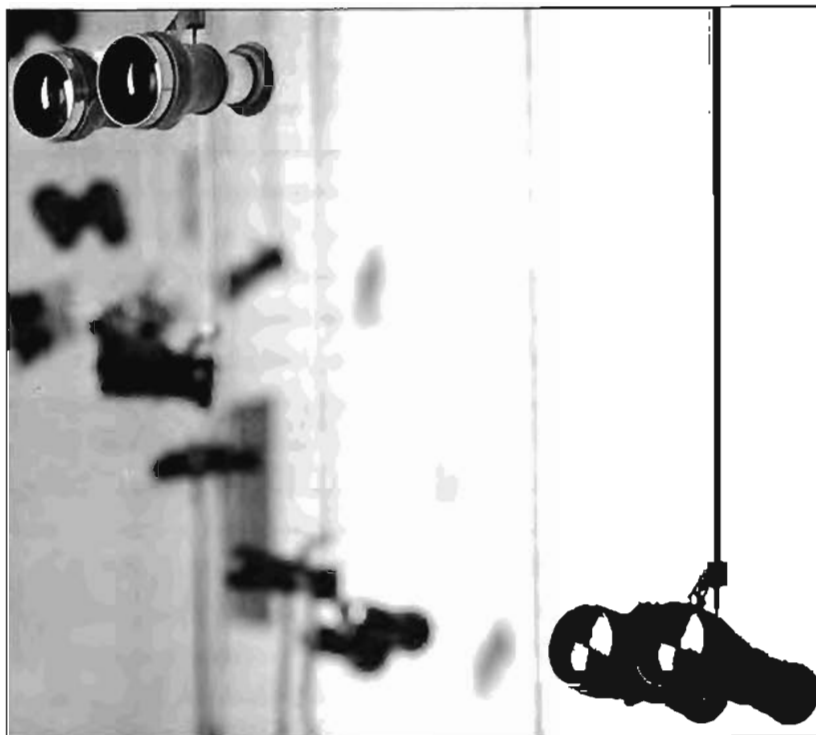
¿Cómo surge una pauta en el embrión partiendo de la actividad de las células en las primeras fases? Los sistemas biológicos no se construyen con partes preformadas. Por el contrario, las células están sólidamente unidas en el embrión y, posteriormente, las células individuales o grupos de células van formando estructuras que sirven para funciones más complejas. Para determinar la forma, lo que cuenta son las señales enviadas a través de las lindes de tales estructuras. Tal vez podamos explicar cómo se produce esto por medio de una analogía.

Imaginen un arquitecto que tiene la misión de dar forma al muro de ladrillo de la fachada de un edificio, con ventanas, adornos y una puerta principal. Una manera de proceder de nuestro arquitecto imaginario podría ser indicar dónde deben ir los huecos de las ventanas dibujando los bordes en el muro de ladrillo. Una vez que estuviesen hechos los huecos y colocados los marcos, podría añadir indicaciones para poner las visagras en el marco. En general, transformar una colección relativamente uniforme de unidades materiales interconectadas, tales como ladrillos, en una estructura bien diferenciada requiere determinar los límites

de las estructuras que hay que tallar o añadir sobre esas unidades. Y tales límites sólo se pueden determinar una vez que todos los ladrillos (u otras subunidades materiales) hayan sido entregados o estén en su sitio. Un ladrillo puede ser sustituido por otro sin cambiar el diseño. Por encima de todo, los límites determinarán la función de los ladrillos, como por ejemplo sostener una ventana o una puerta.

A medida que el tejido crece en el embrión, se van formando límites que demarcan las diferentes partes funcionales del organismo; pero, evidentemente, no hay ningún arquitecto. Los límites se establecen entre diferentes grupos de células por medio de diferentes cementos o colas intercelulares, conocidos como moléculas de adhesión de células o CAM. Edelman y sus colegas descubrieron a finales de la década de 1970 tres clases de CAM, y desde entonces se han descubierto más. Dos de estas CAM aparecen en la superficie de las células en las primeras etapas del desarrollo embrionario. Una se llama L-CAM, porque se descubrió por primera vez en el hígado (en inglés, *liver*), y la otra, N-CAM, ya que se encontró asociada con los nervios. Las L-CAM de la superficie celular sólo se pegarán a otras L-CAM de la superficie celular, y lo mismo ocurre con las N-CAM; las L-CAM y las N-CAM no se pegan las unas a las otras. Debido a estas CAM primarias, las células sólo pueden pegarse cuando tienen el mismo tipo de CAM en su superficie.

La estructura de las propias moléculas de adhesión de las células está determinada por genes concretos. Y en las primeras fases del desarrollo del embrión otros genes regulan cuándo han de producirse las CAM. Sin embargo, la cantidad exacta y la "pegajosidad" de las CAM (que varía conti-



nuamente a medida que el embrión se desarrolla) depende de dónde estén las células que las llevan y por dónde se han movido, y la posición de la célula individual no está bajo control genético directo. En consecuencia, la disposición de grupos de células que están unidas por el mismo tipo de CAM varía incluso en individuos genéticamente idénticos. Estos grupos de células envían señales que ponen en marcha y detienen los genes CAM, además de poner en marcha o detener la acción de los genes que especifican la especialización de la célula. Toda la secuencia por la que se produce la diferenciación está, por lo tanto, determinada no directamente por los genes sino indirectamente por la acción combinada de genes y señales de los grupos de células que activan los genes y que, debido a ello, se llaman epigenéticas.

Las células unidas en colectivos por L-CAM lindan con otras células unidas en colectivos por N-CAM. Las lindes se producen porque las dos clases de moléculas no

se pegan. Edelman y sus colegas han demostrado que las células de un lado de la linde se convertirán posteriormente en células más especializadas de un tipo y las del otro lado de la linde se transformarán en células especializadas de otro tipo. A lo largo del desarrollo embrionario se forman lindes entre células que están unidas por diferentes CAM y después de la formación de las lindes las células se especializan. A medida que las células se diferencian se forman nuevas lindes CAM antes de que sean introducidos nuevos cambios por las señales de los grupos de células a los genes que activan tanto los CAM como los genes que marcan la especialización celular. Dependiendo de la historia de los dos grupos de células, las señales intercambiadas en la linde entre los dos colectivos de células N-CAM y L-CAM determinarán la consiguiente formación de muy diferentes clases de células a cada lado de la linde. (Ya se ha identificado una señal química que activa la producción de CAM.)



La función de la linde entre grupos de células con diferente CAM depende, por tanto, del contexto: las células de los alrededores y la historia de cada grupo. En general, además, las reglas que gobiernan la respuesta CAM son similares para las neuronas del cerebro y para otras estructuras del cuerpo. Debido a que los límites de los colectivos celulares dependen de la dinámica del movimiento, habrá variaciones individuales que no estén determinadas sólo por los genes y cuya diversidad asegurará que diferentes cerebros tengan estructuras diferentes. No obstante, las pautas generales formadas y las similares secuencias del desarrollo embrionario explicarían el hecho de que los cerebros de individuos de la misma especie se parezcan entre sí.

La importancia de las lindes formadas por los colectivos unidos por CAM quedó demostrada en una espectacular serie de experimentos realizados en el laboratorio de Edelman sobre la formación de una sola pluma, en un pollo. En cada etapa de la morfogénesis de la pluma, se encontraron lindes entre grupos de células unidas por diferentes clases de CAM. Tras la formación de las lindes cada grupo de células cambiaba, las de un lado se convertían en una clase de células y las del otro en otra clase de células. Por ejemplo, la pluma acabada, con un diseño regular de ramificación (un diseño que varía de una pluma a otra), se forma partiendo de un cilindro de tejido. El diseño de pluma diferenciado se forma después de que grupos de células alternados (a saber, grupos de células L-CAM alternando con grupos de células N-CAM) han hecho su aparición. Entonces los grupos de células con uniones N-CAM mueren, mientras los grupos alternados con uniones L-CAM se endurecen o queratinizan. El resultado es una pluma. Los bordes

de las lengüetas de la pluma eran las lindes entre los grupos de células L-CAM y N-CAM. El resultado aún fue más espectacular cuando se provocaron experimentalmente cambios en las uniones hechas por una clase de CAM y los grupos de células unidos por una clase de CAM completamente distinta también sufrieron alteraciones.

El funcionamiento de estos mecanismos epigenéticos nos indica la razón por la que el conocer todo el repertorio genético de un animal no nos permitiría por sí mismo predecir su morfología detallada última. Los gemelos idénticos nunca son absolutamente idénticos. Del mismo modo que cada pluma tiene un diseño de ramificación diferente, se puede suponer que cada cerebro tenga un diseño de conexiones diferentes.

La demostración de las razones moleculares por las que dos cerebros nunca podrían ser idénticos es fundamental en la teoría de Edelman que postula que el cerebro funciona como un sistema basado en la selección: el mecanismo CAM crea diversidad en las conexiones anatómicas del cerebro de un individuo. El contexto y la historia del desarrollo celular determinan por

tanto, en gran medida, la estructura del cerebro y, en consecuencia, también son importantes en el funcionamiento del cerebro. Puesto que el desarrollo, la estructura y el funcionamiento están relacionados, no sería sorprendente que las actividades funcionales de un grupo de células conectadas del cerebro dependiesen tanto de las actividades de los grupos de células vecinos como de la historia pasada de ese grupo en concreto.

Demostrar que el funcionamiento cerebral, como la estructura, depende también del contexto y la historia y no de funciones localizadas y recuerdos fijos es la responsabilidad que tiene la teoría de Edelman sobre la selección de grupo neuronal. Lo que surge es una nueva aproximación a la base biológica de la psicología.

Un aspecto fundamental de esta aproximación es que la unidad de selección en el cerebro es un grupo neuronal, un conjunto de neuronas interconectadas que funcionan unidas. El sistema de conexiones que se establecen entre neuronas varía de un grupo a otro debido a los cambios en la dinámica de las CAM durante el desarrollo. De modo que el cerebro contiene un elevado número de grupos neuronales diferentes.

Los grupos neuronales están conectados entre sí así como a los receptores sensoriales de luz, tacto y sonido en los ojos, la piel y el oído. En general, los grupos neuronales vecinos en el cerebro reciben información de receptores sensoriales vecinos (por ejemplo, el segundo y tercer dedo de la mano); dos grupos vecinos en el cerebro pueden también recibir información del mismo receptor sensorial. Aunque las informaciones se solapen, las respuestas de cada grupo a los estímulos serán diferentes. Puesto que cada grupo de neuronas tiene su propio sistema de conexiones





internas, que difiere de los de otros grupos, cada grupo responderá de diferente manera, incluso a estímulos idénticos.

Las actividades de un grupo de neuronas interconectadas adquirirán significación no sólo debido a las sensaciones anatómicas y a los mecanismos fisiológicos de los que depende el funcionamiento de ese grupo, sino también debido a su contexto y a la historia de las señales recibidas. Si esto es cierto, entonces un "recuerdo" determinado no puede estar almacenado en un lugar específico del cerebro, puesto que las actividades vecinas cambiarían necesariamente, y por tanto el "contexto" de cualquier grupo de células neuronales no es nunca constante. Si supusiéramos que un recuerdo está almacenado del mismo modo que lo está en un ordenador, alterar este proceso lo destruiría irreparablemente.

Los procesos embrionarios que ha descrito relacionados con las CAM son fundamentales en la creación de un gran repertorio de grupos neuronales distintos. Pero, después del nacimiento, el principio de selección cambia. En lugar de alteraciones en las CAM, se producen cambios en la fuerza pero no en el diseño de las conexiones; estos cambios determinan las vías por las que viajarán las señales neuronales.<sup>2</sup> Los estímulos ambientales pueden hacer que un grupo responda con mayor actividad que otros grupos que reciben la misma información. Y cuando esto sucede, los experimentos de laboratorio demuestran que las conexiones entre las neuronas de ese grupo (las uniones sinápticas) pueden fortalecerse.

Edelman y sus colegas han concebido un conjunto de posibles reglas que podrían regir estas alteraciones sinápticas. Dentro de las neuronas y en las uniones sinápticas tienen lugar cambios moleculares, de

tal modo que las neuronas tienden a ser activadas por un estímulo similar en sucesivas ocasiones. El estímulo selecciona variantes concretas dentro de la población de grupos neuronales del cerebro. De hecho, un grupo que responda a un estímulo podría hacer más que eso. Cuando sus conexiones se fortalecen podría alterar la fuerza de sus uniones con otros grupos y, compitiendo con ellos, integrar neuronas de los mismos en su propia actividad de respuesta. El fortalecimiento de las conexiones sinápticas crea lo que Gerald Edelman llama un repertorio secundario: éste está compuesto de grupos neuronales que responden mejor a estímulos específicos porque han sido seleccionados y sus conexiones se han fortalecido.

En sus respuestas a los estímulos, los grupos neuronales podrían compararse con una serie de receptores de radio, cada uno sintonizado en una pequeña banda de frecuencias. Una radio podría recibir frecuencias entre 1.600 y 1.700 kilociclos y otra podría recibir frecuencias entre 1.550 y 1.650 kilociclos. Dependiendo de las frecuencias de emisión en la zona, algunos

receptores responderían a una emisión, otros a varias y otros a ninguna. Trasládase de Nueva York a Pekín, por ejemplo, cambiaría las pautas de respuesta de los receptores individuales. El propósito del receptor depende de dónde está: en Pekín recibe Radio Pekín, en Nueva York WCBS y en Moscú Radio Europa Libre, Radio Moscú y un montón de interferencias simultáneamente.

Como sucede con los receptores de radio, un grupo neuronal determinado puede responder a más de un estímulo, que es lo que se llama respuesta degenerada. Siguiendo con nuestra analogía, un aparato de radio determinado tal vez coja Radio Pekín mejor que Radio Moscú, pero puede coger ambas emisoras. (Naturalmente, los estímulos no proporcionan información coherente como los programas de radio; en los niveles superiores del cerebro es preciso organizar los estímulos de manera tal que resulten significativos y útiles para el organismo.)

El cerebro realiza esta operación usando mapas constituidos por grupos neuronales en el cerebro dispuestos de tal modo que conservan la pauta de relación entre una hoja de receptores sensoriales (por ejemplo, los de la piel de la mano) y una hoja de tejido neural en el cerebro a la cual se han transmitido los estímulos sensoriales, o bien entre dos hojas de tejido neural. Los grupos están dispuestos en mapas que se "hablan" entre sí con el fin de crear categorías de cosas y sucesos. En distintas partes del cerebro se encuentran distintas clases de mapas, y un análisis de cómo interaccionan tales mapas es parte esencial y última de la teoría de Edelman.

Dado que el cerebro tiene que estar preparado para sucesos imprevisibles debe ordenar los estímulos de diversas mane-



ras. Los mapas del cerebro clasifican los estímulos que reciben por semejanza (la misma frecuencia de sonido, la misma intensidad de sonido, etc.), así como por una mezcla de propiedades. El principio evolutivo fundamental que entra en juego aquí es el de organizar los estímulos en pautas que ayuden al organismo a enfrentarse a su medio.

En 1870 dos jóvenes alemanes, Gustav Theodor Fritsch y Eduard Hitzig, descubrieron por primera vez que los mapas cerebrales movilizan estímulos. Informaron de que tocando zonas discontinuas del cerebro de un perro se activaban partes específicas del cuerpo. A finales de siglo los mapas sensoriales y motores se enseñaban como parte bien establecida de la neuroanatomía. Se suponía que estos mapas eran permanentes y más o menos idénticos en todos los individuos de una especie.

Constituyó, por tanto, una sorpresa cuando, en 1983, Michael Merzenich y sus colaboradores descubrieron que los mapas sensoriales de los cerebros de monos normales mostraban considerables variaciones. Los mapas cerebrales de un mono determinado variaban a lo largo del tiempo. Y también había notables variaciones en los mapas correspondientes a diferentes monos. Experimentos posteriores demostraron que los mapas se reordenaban, incluso en períodos de tiempo cortos, como consecuencia de una herida en un nervio que proporcionaba información sensorial a través de un dedo del mono.

El trabajo de Merzenich da un fuerte espaldarazo a la afirmación de Edelman de que la información sensorial selecciona competitivamente determinadas combinaciones de grupos neuronales de entre la población general de grupos neuronales. Dado que los nervios de las distintas zonas

de la piel de la mano están en última instancia conectados a las mismas zonas receptoras del cerebro por medio de ramas que se solapan, la parte de la superficie de la piel representada en un cerebro determinado por un grupo de neuronas depende de la competencia selectiva. Los grupos neuronales de una zona del cerebro pueden, por ejemplo, recibir información solapada de la palma y el dorso de la mano simultáneamente, pero es posible que los estímulos de la palma seleccionen más eficazmente grupos neuronales concretos, estableciendo una representación dominante de la palma de la mano en el mapa de esa parte del cerebro.

Si los nervios receptores estuvieran dañados, reduciendo e eliminando la información de la palma (como en los experimentos de Merzenich), los grupos que responderían a los estímulos del dorso de la mano podrían entonces expresarse, al no tener la competencia de los grupos neuronales de la palma. Así, basada en la variación inherente entre grupos neuronales, surge una nueva representación en esa zona del cerebro. La continuidad de la actividad general del nuevo mapa puede, no obstante, seguir representando de forma resumida, la actividad de los receptores sensoriales.

La información se distribuye en el cerebro entre muchos mapas y, de acuerdo con la teoría de Edelman, tiene que haber incesante comunicación de ida y vuelta entre ellos para que se produzca la clasificación. Los sonidos, por ejemplo, pueden clasificarse como habla, ruido y música; o pueden utilizarse para localizar objetos en el espacio. Investigaciones recientes demuestran que esta localización requiere varios mapas interactivos. Los búhos, como los seres humanos, usan los sonidos para situar a los animales en movimiento, por ejem-

plo, a un ratón al que quieren atacar. Las pistas sensoriales importantes son los diferentes tiempos de llegada de un sonido a cada oído y su intensidad. Puesto que el cerebro de un búho no puede trazar directamente un mapa de los diferentes tiempos de llegada a cada oído, dos mapas sensoriales iniciales representan las frecuencias oídas por el búho: en un mapa se señalan los sonidos percibidos por el oído derecho y en el otro los percibidos por el oído izquierdo. Estas representaciones se combinan luego en otro mapa en que los tiempos de llegada (llamados disparidades sonoras) de una frecuencia dada en un oído se comparan con los del otro oído.

Los sonidos hechos por un ratón en un campo pueden por este medio clasificarse de acuerdo con las disparidades sonoras. Estas disparidades sonoras pueden usarse para contribuir a determinar las fuentes del sonido. Los grupos neuronales específicos dentro de un mapa pueden ser activados por una diferencia en el tiempo de llegada entre los dos oídos de, por ejemplo, una milésima de segundo. En sí misma, la actividad de los grupos neuronales no le indi-



cará al cerebro del búho la fuente del sonido. Pero todo el esquema de actividad del mapa, las formas en que otros grupos neuronales se activan también, representará en el cerebro del búho la localización de la fuente del sonido. Este esquema tendrá que ser sintetizado en otro mapa, que podría, por ejemplo, caracterizar ciertos esquemas de actividad indicando que unas fuentes de sonido estaban, digamos, a 30 grados a la izquierda, otras a 60 grados a la derecha, etcétera. Por último, el mapa que ha señalado el lugar de una fuente de sonidos se conecta con un mapa visual del espacio, trazado a partir de los receptores visuales del búho. El mapa visual se combina así con el mapa que reclasifica la información sensorial auditiva para situar los sonidos en el espacio. Relacionando dos modalidades sensoriales, el cerebro del búho ha creado un mapa general (auditivo y visual) del espacio y el búho puede responder a una variedad de estímulos sensoriales.

Un esquema de actividad determinado producirá una respuesta motriz en la que el búho se lanza sobre su presa. Si el búho logra su propósito, asociará ese mapa y ese esquema de actividad con la acción de atacar. Pero si fracasa, probará otras respuestas hasta que finalmente consiga cobrar la presa. Esto quedó demostrado en la serie de experimentos realizados por E.I. y P.F. Knudsen, quienes criaron a unos jóvenes búhos con un oído taponado, desplazando de ese modo la localización del sonido percibido con respecto a su verdadera localización. Al cabo de cuatro y seis semanas estos búhos aprendieron a localizar los sonidos correctamente. Al parecer los búhos se adaptaron a los mapas de sonido alterados reordenando sus mapas internos. El reconocimiento depende, por lo tanto, de esquemas de actividad trazados y co-

rregidos una y otra vez.<sup>3</sup>

No hay un único mapa que contenga toda la información necesaria para los movimientos del búho, y como ya he dicho antes, tiene que haber una constante comunicación entre los grupos neuronales de un mapa y los grupos neuronales del otro por medio de las llamadas conexiones de reentrada, es decir, nervios que viajaban en ambas direcciones para unir los mapas. De acuerdo con la teoría de Edelman, así es como el cerebro crea categorías y generalizaciones. Naturalmente, el cerebro del búho también podría utilizar el mapa inicial de las frecuencias sonoras para hacer mapas superiores que no representen disparidades espaciales, sino la secuencia real de los sonidos (para identificar la clase de animal que hace ese ruido, tal vez). Esto acabará por crear otras clases de categorías para la información sonora.

El cerebro tiene muchas clases diferentes de mapas y de modos de trazar otros mapas que clasifiquen los estímulos externos de muchas maneras. La finalidad de los mapas es crear clasificaciones que permitan al animal actuar de forma adecuada.<sup>4</sup> El medio ambiente en el cual puede encontrarse un animal cambiará, naturalmente, y por tanto las categorías perceptivas también han de cambiar. Pero esto es precisamente para lo que mejor sirven los mapas múltiples: interaccionan y reclasifican la información constantemente. Y al referir los mapas más esquemáticos a los mapas sensoriales primarios que tiene una relación continua con los estímulos externos, el cerebro puede seguir la pista eficazmente a los varios reagrupamientos de la información sensorial.

Que los mapas pueden relacionarse entre sí sin ninguna instrucción preestablecida es algo que ha sido demostrado por

Edelman y su colega George Reeke Jr., quienes construyeron una nueva clase de autómatas, basado en los principios de la selección, para simular la actividad cartográfica del cerebro. El autómata abstraigo de los mapas de información visual una variedad de clasificaciones, tales como las letras del alfabeto, sin haber recibido instrucciones específicas para hacerlo. Esto proporcionó nuevas pruebas de que los mapas interactivos son esenciales para clasificar percepciones en un sistema colectivo.

Puede que un espía sentado en un teatro quiera localizar a la persona a quien acaba de oír decir: "Mañana a las nueve" y al mismo tiempo quiera disfrutar escuchando la canción *Castá Diva*. Un conjunto de mapas cerebrales localizará a la persona que dijo "a las nueve", mientras otro conjunto de mapas le permitirá escuchar *Castá Diva* para su propio placer. Su cerebro ha clasificado los sonidos de diferente manera de acuerdo con sus necesidades adaptativas: trabajo y placer.

Más tarde puede que el espía haya olvidado la hora que oyó mencionar a la persona que estaba vigilando durante el concierto. Irritado, tararea la melodía de *Castá Diva* y de repente recuerda que la cita era a las nueve. Es probable también que lo recuerde cuando vea el anuncio de una película que empieza a las nueve. Esto indica que la memoria no es una repetición exacta de la imagen de unos sucesos en nuestro cerebro, sino una reclasificación. Las reclasificaciones se producen cuando las conexiones entre los grupos neuronales de diferentes mapas se refuerzan temporalmente. La reclasificación de objetos o sucesos depende del movimiento así como de la sensación y es una habilidad que se adquiere con la experiencia. Recogemos información en distintos contextos; esto re-

quiere la activación de diferentes mapas que interactúan de diferente manera a como lo hicieron en nuestro primer encuentro con la información y ello conduce a su reclasificación. No nos limitamos a almacenar imágenes o datos sino que nos enriquecemos con la capacidad de clasificar formas relacionadas.

La memoria como reclasificación es una de las profundas consecuencias de la teoría de Edelman sobre la selección de grupos neuronales. En un libro notable publicado en 1932, el psicólogo inglés Frederic C. Bartlett bosquejó el concepto al que el trabajo de Edelman ha dado precisión y una justificación fisiológica. En *Remember*, Bartlett escribió:

Recordar no es la reexcitación de innumerables huellas fijas, fragmentarias y sin vida. Es una reconstrucción, o construcción imaginativa edificada con la relación entre nuestra actitud hacia toda una masa activa de reacciones o experiencias pasadas organizadas y hacia un pequeño detalle destacado que generalmente se presenta en forma de imagen o de lenguaje. Por ello, casi nunca es verdaderamente exacta, ni siquiera en los casos más rudimentarios de memorización maquinal, y no tiene la menor importancia que así sea.

Esta cualidad de la memoria es la que también Freud trató de captar. Creyendo que los recuerdos han de dejar huellas permanentes e incapaz de ver cómo podía una estructura perceptiva permanecer abierta a nuevas percepciones si estaba alterada por estímulos previos, construyó una teoría completamente diferente de la tesis del funcionamiento cerebral presentada aquí.

No pudiendo aceptar que los recuer-

dos fragmentarios podían muy bien ser fragmentarios, Freud supuso que los recuerdos eran fijos, del mismo modo que Newton había supuesto que el tiempo era absoluto. Einstein eliminó el tiempo absoluto y de ese modo ofreció una visión más amplia del espacio y del tiempo. Al prescindir de los recuerdos fijos y sustituirlos por la memoria como clasificación, la teoría de Edelman representa un alejamiento radical del pensamiento anterior y muy bien podría abrir la posibilidad de una visión más amplia y más profunda de la psicología humana.

De acuerdo con su teoría, cada persona es única: sus percepciones son hasta cierto punto creaciones y sus recuerdos son parte de un proceso continuo de imaginación. La vida mental no puede reducirse a moléculas. La inteligencia humana no es simplemente saber más, sino reelaborar, reclasificar, y de ese modo generalizar la información de maneras nuevas y sorprendentes. Podría ser que las clasificaciones inapropiadas de unos mapas dañados causen psicosis, del mismo modo que la incapacidad de correlacionar la sucesión de objetos o sucesos en el tiempo puede ser en gran medida responsable de la pérdida de recuerdos específicos en el caso de amnesia antes mencionado.

El lenguaje se adquiere en sociedad, pero nuestra capacidad de usarlo, de volver a concebir constantemente el mundo que nos rodea, es al menos en parte un reflejo de los múltiples mapas trazados y corregidos que parecen ser esenciales para el funcionamiento del cerebro. Esto refuerza la idea de que no existen, ni existirán dos cerebros iguales. La teoría de Edelman sobre la selección de grupos neuronales desmiente a quienes afirman que la ciencia considera a los seres humanos y a otros animales individuales máquinas reproduci-

bles y que se preocupa muy poco de los atributos únicos de cada individuo y de las fuentes de esa condición única. El humanismo no ha tenido nunca mejor defensa.

## Notas

<sup>1</sup> Damasio, A.R., Eslinger, P.J., Damasio, H., Van Hoesen, G.W. y Cornell, S., "Multi-modal amnesic syndrome following bilateral tumoral and basal forebrain damage". *Archives of Neurology*, vol. 42, 1985, pp. 252-259. La interpretación de Damasio y los otros es totalmente distinta de la que yo he sugerido.

<sup>2</sup> Esto es análogo al proceso por el cual los anticuerpos que han sido seleccionados son luego producidos en grandes cantidades, o clonados. Los dos procesos se parecen, efectivamente, pero los mecanismos son diferentes: en el cerebro las fuerzas de las conexiones sinápticas aumentan; en el sistema inmunológico el número de células aumenta por medio de clonación.

<sup>3</sup> Knudsen, E.L. y Knudsen, P.F. "Vision guides the adjustment of auditory localization in young barn owls". *Science*, 230, 1985, pp. 545-548.

<sup>4</sup> El origen de las categorías perceptivas por selección de grupos neuronales es análogo al origen de las especies por selección natural en los tiempos evolutivos. De forma muy parecida a como sucesos imprevisibles ocurridos en un largo período de tiempo pueden producir la selección de ciertas características en los organismos, sucesos ambientales imprevisibles ocurridos durante la vida de un animal pueden producir la selección de ciertos grupos neuronales que llevan a la formación de categorías perceptivas.

(Este artículo fue tomado de la revista *El Pasante*, número 14, 1985.)

Traducción de Maribel Juan