

## LA TEORÍA DEL DARWINISMO NEURONAL

Francisco Huneeus C

Editorial Cuatro Vientos  
Santiago de Chile

Hace unos cuantos años (1966) como invitado al primer programa intensivo del *Neurosciences Research Program* tuve la oportunidad de conocer al doctor Gerald M. Edelman. Boquiabierto y deslumbrado como estaba por el vuelo especulativo, multidisciplinario y experimental de la competencia, como por la ocasión -casi un mes en un hermoso *campus* universitario al pie de las Rocallosas- mis contactos fueron tímidos y especiales. En una velada musical, junto a Manfred Eigen interpretamos una lamentable versión del trío de Brahms para corno, violín y piano. (Eigen al piano, Edelman al violín y yo en corno). El tiempo me ha dado el sabor personal del bailecito en dos tiempos de la selección natural; primero azar, dispersión, encuentros no planificados, posibilidades, y luego selección, perduración y sobrevivencia de los más adaptados para enfrentar las circunstancias que se presenten. Mis dos compañeros circunstanciales de esa velada siguieron su camino al ser distinguidos con sendos premios Nobel. Eigen por su trabajo sobre fisico-química de las reacciones rápidas, y Edelman por la elucidación de la estructura de los anticuerpos. Y ahora este último en su libro *Neural Darwinism, The Theory of Neuronal Group Selection* presenta su teoría unificadora del funcionamiento del cerebro. Tal vez su experiencia de haber resuelto a nivel molecular el funcionamiento del sistema antigénico anticuerpo lo capacite en forma especial para resolver el otro gran sistema de reconocimiento que poseemos. Dada la enorme trascendencia del tema

para todos los colegas y psicólogos, y en especial para los neurólogos, psiquiatras y educadores, creo de gran interés conocer la teoría del Darwinismo Neuronal. El libro en sí no es nada fácil, además que tardará mucho en llegar en nuestro idioma, razón por la cual lo que sigue está tomado en buena parte de un comentario hecho por J. Z. Young (*The N. Y. Review of Books*, feb. 4, 1988) célebre neurocientífico británico.

### ¿Qué es esto de conocer?

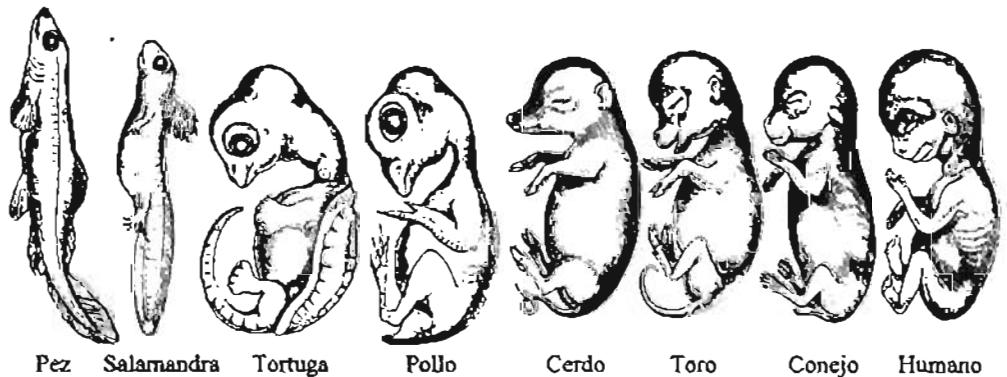
En la interminable búsqueda del conocimiento de sí mismo, el problema central para el hombre ha sido: ¿qué es esto de conocer? Al parecer el sentido común no tiene dudas al respecto cuando J. Locke dice: "El primer paso hacia el conocimiento es la percepción, y es también la puerta de entrada a todo material que hay en él". Pero de ser así ¿de dónde provienen las noticias, y cómo y dónde las recibimos? ¿Será que llegan en paquetes o *gestalts* a algún lugar del cerebro donde son recogidas por algún agente central, la mente, el alma o algún *homunculus* escondido que todo lo interpreta, clasifica y colecciona? Y más aún: ¿qué es aquello que recibe la percepción? ¿De dónde provienen los datos? ¿Será que están todos allá afuera en forma de objetos y eventos en un mundo real?

Éstas, que son preguntas clásicas de la filosofía, últimamente han sido abordadas no sólo por neurocientíficos (véase *El Árbol del Conocimiento* de H. Maturana y F. Varela, 1984) sino, mediante la construcción de modelos

teóricos y prácticos de la percepción y el pensamiento, por científicos cognitivos. La teoría del Darwinismo Neuronal propuesta por Edelman consigue juntar estos dos enfoques. Provee una acabada descripción de la actividad cerebral y además suministra modelos computacionales de los principios involucrados. Sostiene esta teoría que el principio mediante el cual el cerebro realiza sus hazañas de la percepción, el aprendizaje y la memoria, es la selección de neuronas y vías neuronales mediante la influencia de la experiencia. Prudentemente, deja para más adelante la aplicación de estas ideas a los problemas generales de la conciencia, la emoción y el lenguaje. A pesar de esta limitante, la teoría da luces a problemas que realmente nos interesan muchísimo, como es la recuperación de una función luego de un daño orgánico cerebral. También nos da una idea de cómo llegamos a analizar el mundo sin recurrir a un *homunculus*, lo que en sí es una hazaña ya que a pesar de que los neurocientíficos se abocan al estudio de las neuronas, los reflejos condicionados, las áreas corticales, pocas veces se abocan al problema de qué es lo que los 'usa' para producir la conducta observada, y menos aún al mentalismo. La mayoría de los neurofisiólogos dirían que es aún poco realista dar una perspectiva de cómo funciona el cerebro en su totalidad. Esto ha de ser el resultado de la tradición científica 'atomista'; el estudio acabado de las unidades individuales, sin referirse al fenómeno que constituyen las

poblaciones de neuronas y sus conexiones. Y éste es precisamente el tema central de la teoría. Como su nombre lo sugiere, la particular organización del cerebro se logra mediante la competencia por sobrevivir entre las neuronas, y por ende por la selección de las conexiones nerviosas que resultan más adecuadas para la sobrevivencia. La naturaleza no produce sus maravillosos resultados por medio de máquinas precisas, como lo haría un ingeniero, sino que parte de un número enorme de individuos variados donde los más aptos para encarar las eventualidades del ambiente son los que perduran. (De hecho, los diseñadores de computadoras están en este momento abocados al estudio de las así llamadas redes neuronales para poder conseguir que sus máquinas hagan algún día lo que el cerebro humano: reconocer imágenes, comprender lenguaje escrito, generar frases, etcétera).

El código genético de un individuo, dice Edelman, no es suficiente para determinar las instrucciones necesarias para producir las miles y miles de conexiones que implica la organización de un cerebro. No están especificados todos los detalles -como la forma de un *eucalyptus* tampoco está especificada genéticamente en todos sus detalles. En un comienzo habría muchas conexiones neuronales, y muy específicas, que con el correr del tiempo y la experiencia se van consolidando. La ubicación precisa de las ramas en un árbol y dentro de ellas la de las hojas, la determinará la historia del viento.

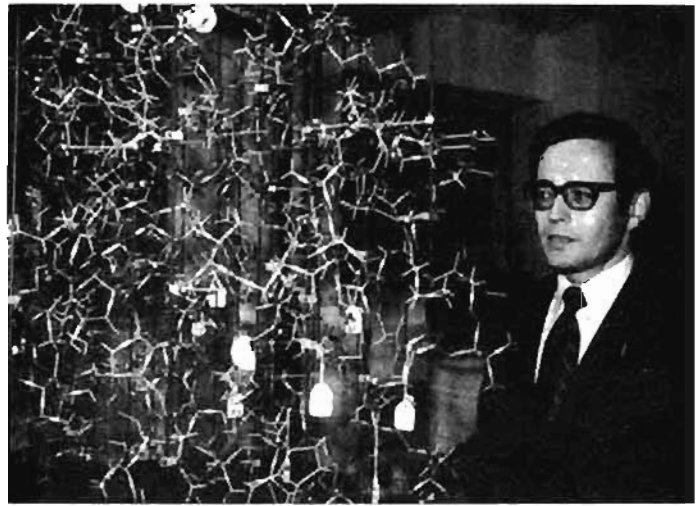


Los procesos que se llevan a cabo en el embrión no producen un cerebro conectado en forma precisa en que cada detalle está especificado por la herencia. Las cosas que determina la herencia son bastante generales. Para producir multimillones de conexiones precisas se requeriría de un micro-electricista que para el caso sería un primo en segundo grado del *homunculus*. En todo caso, nadie ha podido demostrar que exista tal circuitismo tan preciso, ni que tuviera que ser así para dar cuenta de la extraordinaria capacidad perceptual y conceptual del cerebro.

### Las hazañas del reconocimiento

Lo que tiene que ser explicado es el proceso de la generalización, es decir, el poder para reconocer clases de cosas bajo muchas condiciones distintas. Los animales y las personas pueden reconocer objetos en todo tipo de aspectos cuando son confrontados con sólo unos pocos ejemplos de ellos. Edelman cita el caso de unas palomas entrenadas por Richard Herrnstein y J. Cerella para picotear una clave cuando se les mostraban fotografías de determinados objetos. Pudieron aprender a picotear cualquier imagen que contuviera un árbol o incluso una hoja, y no picoteaban cuando no aparecía un árbol. Pero tal vez, esto era de esperarse ya que los árboles son importantes para las aves. Lo sorprendente fue que las palomas también pudieron ser entrenadas para reconocer fotografías de peces bajo el agua, en todo tipo de variantes de color y distancia. Y aún más dramático, aprendieron a picotear imágenes de una determinada mujer vestida de distintas formas, y rechazaban a otra mujer con las mismas ropas y en la misma calle.

El problema es descubrir cómo se produce un cerebro capaz de realizar tales hazañas de clasificación y reconocimiento de rasgos del mundo significativos para él, a pesar de que no



aparecen ya nombrados. El mundo, claramente, está lleno de objetos in-nombrados. Los genes no pueden organizar todas las conexiones; no hay suficientes de ellos para especificar el increíble número de  $10^{14}$  conexiones sinápticas existentes en el cerebro humano. Tiene que estar funcionando algún proceso auto-organizador a medida que se desarrolla el sistema nervioso. Las células nerviosas jóvenes hacen filamentos finos que empujan hacia afuera como raíces entre los otros tejidos del embrión. Las direcciones que toman y las conexiones que forman, dependerán de las propiedades de su superficie. Tras cinco años de arduo trabajo, Edelman y sus colaboradores han descubierto ciertas sustancias químicas que son las que posibilitan la adhesión de las células nerviosas entre sí, y que se llaman “moléculas de adhesión celular” (*cell adhesion molecules*) o CAMs. Las CAMs son producidas por las superficies de las células y fibras nerviosas, bajo la influencia de su gen. Ya se han identificado varias especies de CAMs por su estructura química. Su efecto es guiar el crecimiento de las fibras nerviosas, de modo que produzcan pequeños grupos interconectados de neuronas en el cerebro embrionario. Luego, después del nacimiento, a medida que los efectos de los estímulos comienzan a ingresar al cerebro a través de los ojos,

Gerald M. Edelman, ganó el Premio Nobel de Fisiología y Medicina del año 1972, por haber demostrado que los anticuerpos están formados por cadenas de polipéptidos pesadas y ligeras y que, éstas son separables químicamente.

los oídos y la piel, hay una competencia por la supervivencia entre estos grupos de células nerviosas. De tal modo que las células y las conexiones que son utilizadas sobreviven, y las que no lo son, mueren y desaparecen.

Independencia



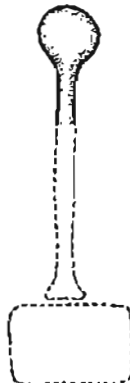
Crecimiento



Dependencia  
trófica



Degeneración



Si el cerebro va a servir para guiar a la criatura con cierta precisión por el mundo, tiene que haber algún modo de asegurar que estos cálculos se refieren a la real configuración de los eventos. Tiene que haber un sistema de señalizaciones que suministre un mapa que mantenga todas las acciones en una orientación real y verdadera con respecto al mundo. Esta necesidad se satisface a una temprana etapa de desarrollo, por la formación de mapas en el cerebro. El más conocido de estos mapas está en el sistema visual, en que todos los puntos en la retina están conectados con puntos colindantes en el cerebro. Esto le suministra información acerca de la distribución espacial de los acontecimientos. También hay receptores gravitacionales para asegurar que los ojos sean mantenidos en posición correcta. Todos los animales que tienen un cerebro complejo poseen tales mapas; se han encontrado en el hombre, en los monos, en los sapos, en los peces, en los pulpos y en las abejas.

¿Cómo se hacen las conexiones correctas? Se han sugerido varios *microhomunculi*; en cada caso, se postula que una fibra nerviosa marcada desde la retina llega a destinos correspondientemente marcados en el cerebro. Pero experimentos como los de Michael Gaze en Londres, fun-

damentalmente con sapos, han mostrado que no hay tales células marcadas. La conexión correcta no se hace de esa forma, sino mediante un proceso dinámico de competencia. Lo que ocurre parece ser que las fibras más tempranas de la retina llegan guiadas por sus propias CAMs, y luego sus ramificaciones se difunden ampliamente en el cerebro de modo que primeramente sus terminaciones se superponen unas sobre otras. Algunas terminaciones de cada fibra conectan con las células cerebrales jóvenes, formando un mapa muy burdo de la retina. Luego, a medida que comienza la visión y la retina misma crece, llegan más fibras y hay competencia por la conexión con las células. Poco se sabe acerca de los detalles de esta lucha, pero posiblemente depende de la función visual: aquellas conexiones que son utilizadas, se fortalecen proporcionalmente, y las menos utilizadas se desvanecen hasta que se logra un pareo preciso.

El sistema de competencia y selección de conexiones, sugiere Edelman, es el principio de todo desarrollo ulterior en el cerebro. Es un sistema activo-dinámico, adaptativo, que encuentra su resultado por ensayo y error, en lugar de por un conjunto fijo de reglas. El sistema depende de la formación inicial de un gran número de células y ramificaciones, y el desarrollo ulterior únicamente de aquello que se utiliza. Desde hace mucho tiempo se sabe que un gran número de células nerviosas mueren durante el desarrollo, casi el 70%, y esto es exactamente lo que se esperaría en un sistema basado en la competencia y la selección.

### Los mapas sensoriales

Los mapas de los campos sensoriales son la primera etapa del análisis. Se conectan con otras áreas del cerebro donde los procesos perceptuales son llevados más allá. S. Zeki de la Uni-

versidad de Londres ha encontrado muchas áreas de ese tipo para la visión, en hombre y monos por igual, y cada una de estas partes del cerebro sirve para extraer algunos rasgos de la escena: contornos, colores o distancias. La formación de tal sistema debe depender primero de los genes, operando mediante las "moléculas de adhesión celular", que guían a las fibras jóvenes. Las etapas posteriores son luego producidas por la competencia entre los grupos de fibras nerviosas que pasan de un área a la siguiente.

El sistema de selección a partir de un conjunto, seguido por una amplificación, es también el mecanismo mediante el cual adquirimos la inmunidad. Los anticuerpos son producidos por células seleccionadas de entre un gran número de posibles productoras ligeramente distintas.

Edelman, sabiamente, insiste en que los neurocientíficos no debieran sumirse en analogías simplistas de los mecanismos detallados de selección natural o de la selección clonal en inmunología. Es el principio lo que importa. La gran potencia y flexibilidad de un sistema construido de esta manera, depende del hecho de que los grupos formados bajo selección tienen funciones que se superponen. Cada grupo responde fundamentalmente a un rasgo, digamos un conjunto de contorno visual en un ángulo particular, pero también responde a otros, y viceversa; cada rasgo estimula muchos grupos. Esta característica, conocida como *degeneracy*, también explica la gran adaptabilidad de un organismo y la capacidad de recuperación después de un daño. Hay evidencia creciente, como la de los experimentos de P. Wall en gatos, y más recientemente, los de M. Merzenich en monos, de que después de una lesión, digamos por pérdida de una extremidad, hay una reorganización bastante rápida de las conexiones dentro del cerebro. Esta potencialidad de redistribución puede ser importante en

muchas circunstancias y da esperanza para la recuperación luego de un accidente vascular, por ejemplo, o de una lesión cerebral.

La velocidad de los cambios que pueden ocurrir en el cerebro luego de una lesión, muestra que hay muchas conexiones posibles en espera de ser usadas si es que son necesarias. Si esto es así, en todas las partes del cerebro, constituiría la base para capacitarnos en nuevas destrezas de acción y de pensamiento. Ciertas capacidades para hacer algunos tipos nuevos de conexión están limitadas a los periodos críticos tempranos de la vida -por ejemplo, el aprender a hablar. Sin embargo, no hay ninguna duda de que existen, aun en adultos, conexiones potenciales. La conclusión general es que el funcionamiento del cerebro depende del modo cómo es usado y del hecho que las capacidades no utilizadas se atrofiarán. La experiencia humana ha sugerido, durante mucho tiempo, algo de este tipo, y es bueno tener una prueba concreta de ello.

La atracción fundamental de la teoría de la selección radica en que es bastante congruente con algunos rasgos de la anatomía cerebral, incluyendo el gran número de células y sus conexiones y variaciones, además de la muerte temprana de muchas de ellas. No hay ningún experimento que pruebe o refute tal teoría. Sin embargo, Edelman suministra modelos compu-



Micrografía electrónica de la unión neuromuscular en la rana



Charles Darwin (1809-1882)

tacionales que muestran que puede funcionar. Su modelo de la región cortical que recibe estímulos de la piel de la mano de un mono, desarrolla una pauta de células muy parecida a la que realmente existe. Más aún, el modelo llega a adaptarse a la pérdida de un dedo, tal como sucede en la corteza de un mono real. El modelo de un autómata, que Edelman denomina Darwin-Wallace, muestra la proyección de un órgano sensorial a una serie de mapas recíprocamente conectados, tales como ocurren en la corteza visual. Darwin-Wallace aprende a reconocer letras, aun cuando sean de distinto estilo o muy distorsionadas; es decir, el modelo ejecuta la proeza de la generalización.

### El "Darwin III": un modelo escalofriante

En un reciente Congreso Internacional sobre Investigación Cerebral en Budapest, Edelman mostró un modelo selectivo más poderoso que el que se presenta en el libro. Era capaz de reconocer la forma de los objetos y manejarlos adecuadamente. Podría decirse que ese sistema era capaz de aprender a percibir y actuar en cierto modo adaptativo; no necesita un *homunculus*. El programa se llama Darwin III y es un modelo artificial, con 5,700 "neu-

ronas", conectado por 120,000 "sinapsis"; tiene un "ojo" que puede ver y mover dentro de su cabeza, y un "brazo" con cuatro articulaciones que también puede mover. Vive, eso sí, en un mundo cuadrado bidimensional. Es una criatura decepcionantemente simple en apariencia, pero capaz de una conducta bastante extraordinaria. Lo interesante de este modelo es que no está programado de antemano, en el sentido simple de la palabra. No hace nada prescrito, su conducta aparente no está programada. Pero posee ciertos "valores" muy generales tales como: ver es mejor que no ver, tocar es mejor que no tocar, los objetos rugosos estriados son nocivos y debieran ser rechazados. Pero dado que no tiene un programa, no se puede predecir su próxima movida.

En una película de doce minutos de duración, se puede observar la conducta de Darwin III en más de ocho mil ensayos. En la pantalla se ve a la criatura en forma esquemática, una entidad vital ante varios objetos bidimensionales, algunos estriados, algunos rugosos, que flotan impredeciblemente a través de su mundo que se ve en azul. Fuera del mundo de la criatura, podemos ver una rendición esquemática de su cerebro con cajas que representan sus centros visuales, táctiles y motores como conexiones entre los diferentes centros que se van iluminando brillantemente a medida que son utilizados. En otro extremo de la pantalla se pueden ver los sistemas que forman categorías, donde el cerebro clasifica las entradas de su "ojo" y de su "brazo" cuando ve y siente un objeto estriado y rugoso, lo cual gatilla una respuesta refleja que consiste en alejar de sí al objeto.

Al "nacer", la criatura comienza respondiendo a objetos visuales. Primero, se puede ver que su "mirada" deambula como el ojo de un recién nacido en la obscuridad, por todas partes, sin ver prácticamente nada, sin detener la

“vista” en ningún objeto. Luego, después de unos dos mil ensayos y a medida que la fortaleza de las conexiones sinápticas va cambiando, los movimientos del “ojo” no son azarosos, y tiende a seguir un objeto en movimiento. Luego de otros dos mil ensayos, el “ojo” localiza además de seguir al objeto en movimiento. Lo mismo ocurre en la secuencia que sigue con respecto al “brazo”; al principio este “brazo” se mueve con sus cuatro articulaciones en forma azarosa, y con su mecanismo “táctil” en el extremo del brazo, podemos ver cómo tiende a palpar un objeto rugoso y estriado. A lo largo del tiempo, a medida que las conexiones cerebrales se seleccionan y fortalecen, empieza a producirse una coordinación entre lo que el “ojo” ve -estrias- y lo que el “brazo” siente -rugoso. Súbitamente, el cerebro se ilumina con algo así como una verdadera tormenta eléctrica, como si las conexiones entre las pautas de respuesta táctil y visual se hubieran establecido. En un instante el brazo empuja y aleja de sí el objeto nocivo. Es como estar observando a un recién nacido o a un bebé aprendiendo, escalofriante.

En una versión anterior de la teoría de selección y amplificación neuronal, J. Z. Young ha sugerido que el aprendizaje simple en los pulpos y cefalópodos depende de la selección entre las distintas salidas posibles de las células pre-formadas capaces de detectar la dirección de los contornos. De hecho, en los lóbulos ópticos de los cefalópodos, y pulpos en particular, hay muchas células altamente orientadas. Es muy posible que muchos animales nazcan con algunos de tales sistemas que están predeterminados para aprender en formas que les dan capacidades de percepción adecuadas a la vida, al igual que nuestro sistema parece ser predeterminado o predispuesto para el lenguaje. Edelman mismo cita la evidencia de P. D. Eimas y otros, de que los niños nacen con capacidades de reco-

nocimiento de los sonidos del habla. Las características de los grupos de células nerviosas más tempranas deben determinar el rendimiento de cualquier cerebro y han sido dispuestas por la herencia. Tal vez algunos de estos elementos ya están sintonizados para detectar rasgos complejos. Por ejemplo, hay bastante evidencia a partir del trabajo de Rolls y Perrett en Oxford, de que los monos adultos tienen células nerviosas que responden cuando el animal ve una cara en particular. Quizás, el conjunto primario de células heredadas en un mono (o en un humano) incluye algunas que están especialmente sintonizadas para aprender a responder a tales rasgos como el lenguaje y las caras, que son tan importantes para la vida social de un mono, o de un ser humano. Todos los animales que pueden aprender algo más allá de los reflejos condicionados más sencillos, tienen en sus cerebros increíbles números de células y conexiones. Aun cuando algunos de ellos estén prefijados para ayudar al aprendizaje en ciertas formas útiles, parece cierto que estas poblaciones van a evidenciar la variedad, y por lo tanto, la adaptabilidad que es tan valiosa y que la teoría de selección neuronal subraya.

Al decir del filósofo Daniel Dennett, la teoría de Edelman sería de tipo “centralista”, en contraste con las teorías “periferistas” del conductismo estímulo-respuesta. Tiene el enorme mérito, a mi juicio, de que trata y considera al organismo como un agente en desarrollo, con ciertas capacidades y tendencias internas a la auto-supervivencia, pero sin un controlador central. Cada criatura es, por lo tanto, única y adquiere sus características mediante la interacción con el ambiente. Por consiguiente, el desarrollo va a estar no tan sólo determinado por la genética, sino fundamentalmente por la experiencia.

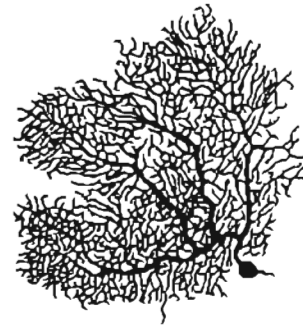
A diferencia de las máquinas, es tal vez este fenómeno que llamamos la con-

ciencia del lenguaje, lo que nos distingue. Pero hay otras cosas que llaman la atención: la primera de ellas, es que cada ser humano es el producto de una historia larga y continua de cambios durante la evolución y en su propia vida, y esto es también algo que señala hacia lo peculiar de cada vida; nadie puede abstraerse de su propia historia. En cierto modo, la inervación, en el sentido utilizado por Freud, estaría aquí corroborada. Y en segundo lugar, cada ser humano hace gala de un conocimiento enormemente detallado del mundo, en todos sus aspectos. Y es precisamente en este conjunto de mapas donde la persona resuelve los problemas más vitales de su vida. Mientras más detalles y mientras más peculiares, mientras menos blancos y negros y, más matices, es que posiblemente la vida de los seres humanos en interacción con otros, será más fructífera.

Tal vez, incluso este bosquejo escauáldo puede dar alguna idea de la fuerza de esta teoría de la selección neuronal. Algunos filósofos objetaron que la teoría es vaga y no se ha demostrado; otros, que los datos son bien conocidos y las conclusiones obvias; pero nadie antes de Edelman había relacionado todos estos datos en forma tan convincente.

Creo que es inevitable tomar partido ante una teoría de esta envergadura, y también es peligroso. Recuerdo que durante mi internado en el Laboratorio de Investigaciones Pediátricas del Arriarán (Chile), Fernando Mönckeberg me pidió en una oportunidad que escribiese un artículo editorial para la *Revista de Pediatría* que versara sobre las enfermedades autoinmunes, tema novedoso y desconocido para la mayoría de entonces. Lo hice basándome precisamente en la teoría de selección clonal propuesta por Burnet. Lamentablemente, en esa oportunidad el asesor inmunológico de la revista, a la sazón profesor titular de bacteriolo-

gía en una de nuestras escuelas de medicina, opinó que esa teoría era una bobada que no merecía la pena ser considerada, ni siquiera como una reseña en esa revista. Seis meses después a Sir Macfarlane Burnet le conferían su premio Nobel.



### Lecturas recomendadas

Cerella, J., The pigeons analysis of pictures, *Pattern Recognition*, Vol. 12, 1980, pp. 1-6.

Edelman, G.M., *Neural Darwinism. The theory of neuronal group selection*, Basic Books, Inc. Publishers, New York, 1987.

Herrnstein, R.J., y Loveland, D., Complex visual concept in the pigeon. *Science*, Vol. 46, 1964, pp. 549-551.

Maturana, H.R. y Varela, G.F., *El árbol del conocimiento*, sexta edición, Editorial Universitaria, Santiago de Chile, 1990.

Merzenich, M.M. y cols., Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys, *Journal of Comparative Neurology*, Vol. 224, 1984, pp. 591-605.

Wall, P.D., The somatosensory system, En *Handbook of psychobiology*. Ed. Gazzaniga, M. y Blakemore, Academic Press, New York, 1975, pp. 373-392.

Zeki, S.M., The distribution of wavelength and orientation selective cells in different areas of monkey visual cortex, *Proceedings of the Royal Society, London*, Vol. 217, 1983, pp. 449-470.