

CAOS Y CONSCIENCIA. UNA INTRODUCCIÓN AL PENSAMIENTO DE WALTER J. FREEMAN

Camilo J. Cela Conde y Gisèle Marty

Universidad de las Islas Baleares

This paper tries to introduce Freeman's theory on chaotic processes in the brain as the background to knowledge construction. Experimental study in the field of olfactory perception shows that internally generated neural processes prepare the organism to seek out inputs coming from the external world. The system dynamics are nonlinear: organized state appears when inhaling, and exhalation drives to chaotic states. The world image is made by spatial patterns of neuronal network activity which emerge from the chaos. Some epistemological consequences of that model have special psychological significance: a. In an associative memory system, each new memory alters the old ones when becoming tied to them. This process takes place at the macroscopic level (neural networks) and not at the microscopic one (isolated neurons). There is no place into Freeman's model neither for "grandmother neurons", nor for invariant memory stores. b. The lack of pattern invariance contrasts with behavioral stimulus-response invariance. The same Freeman gives an answer to this paradox in the interview included in this issue of *Psicothema*. c. The sole "information" successfully transmitted from olfactory bulb to deeper areas of the brain is an active perceptual construct. d. If we can extend the former idea to other sensory systems in different species—as human species—, then we must conclude that there is no "information processing mechanism" in the brain (as supposed by cognitive functionalists) but just perceptual constructs based on individual experiences. Information is constructed, not processed, through deterministic chaotic dynamics. e. Both subject purposes and environment impose the circumstances for neural activity. Therefore, intentionality becomes the main key for knowledge construction.

El estudio "científico" —por contraposición al filosófico, o al propio de la *Folk Psychology*— de la consciencia se ha convertido, en los últimos tiempos, en uno de los más populares objetos de investigación. El desarrollo de las técnicas de identificación de la actividad neuronal, al estilo de la PET (Positron Emission Tomography), y la fuerza que ha logrado tener

el enfoque neurocomputacional a través, sobre todo, de las actividades del Salk Institute de San Diego (California) son probablemente responsables de un éxito que ha desembocado en la aparición del libro de Francis Crick *The Astonishing Hypothesis*. El que ese libro se haya traducido con tanta celeridad a nuestro idioma —aunque haya sido elevando a la categoría de título eso de *La búsqueda científica del alma*, como muestra de un indudable propósito comercial—es algo que demuestra las expectativas existentes.

Correspondencia: Camilo J. Cela Conde
Departamento de Filosofía
Universidad de las Islas Baleares. Spain

Es muy posible que los lectores que se acerquen a *The Astonishing Hypothesis* con un propósito que vaya más allá de la mera curiosidad queden en gran medida decepcionados. El libro de Crick no pasa de ser la suma de dos (o tres) aproximaciones divulgativas sobre la psicología cognitiva, la neurofisiología y la inteligencia artificial, que añaden muy poco a lo sugerido anteriormente por Crick y Koch (1990) acerca de las bases neurológicas de la consciencia (1). El propósito de este artículo es el de llamar la atención a quienes buscan algo más —hayan leído o no el libro de Crick— dentro de una línea de investigación de indudable interés como puede ser la de la relación entre actividades neuronales y fenómenos mentales. Nos referimos a la teoría de Walter J. Freeman acerca de la dinámica caótica cerebral como elemento subyacente a la consciencia.

Trabajos experimentales: el hallazgo de las pautas de ordenación espacial

Los primeros experimentos de Freeman y colaboradores, basados en estudios anteriores (Adrian 1947) pretendían examinar la actividad de neuronas aisladas en el bulbo olfatorio de animales de experimentación (conejos) —que habían sido ya entrenados a discriminar olores— cuando se les sometía a los estímulos. El resultado fue poco concluyente. Las respuestas de las neuronas eran muy variables, de forma que diferentes medidas del mismo estímulo a lo largo del tiempo diferían tanto como las medidas debidas a distintos estímulos, sin que fuese posible mostrar pauta alguna de organización neural a ese nivel (Freeman 1978). Sin embargo, aparecía una relación estadística entre las pautas espaciotemporales de la actividad neural en la superficie del bulbo y las células mitrales de su interior. De acuerdo con el

propio Adrian (1947), se podía pensar que ciertos grupos de neuronas se activaban coordinada y selectivamente durante la inhalación del animal. Una idea trabajada luego por Lancet y colaboradores (1982).

De acuerdo con esa hipótesis, se extendió el experimento a la actividad de áreas corticales (grupos de neuronas) con electrodos que cubrían cada uno un área de 4 x 4 mm. La superficie de cada electrodo daba acceso al campo local correspondiente en promedio a entre 300 y 500 células mitrales (Freeman 1978). Y los resultados fueron esta vez sorprendentes.

Se detectó la existencia de unas pautas de actividad relacionadas con cada inhalación. La clasificación de los olores no podía seguir pautas temporales en la medida en que el tiempo transcurrido en una inhalación era demasiado breve como para soportar la discriminación de varios olores. Pero en cada inhalación (una décima de segundo) se establecía una pauta espacial de actividad que resultaba ser particular y única para cada sujeto y, además, cambiaba de forma cada vez que se incorporaba por aprendizaje la discriminación de un nuevo olor (Freeman 1993). Entre una y otra fase de "pautas ordenadas", el estado de la actividad neuronal del bulbo es caótico. Así que la inhalación supone la aparición de un orden en el caos, con patrones que recrean una imagen exterior del mundo, mientras que la exhalación destruye esa pauta ordenada y restablece el estado caótico (Skarda y Freeman 1987).

El sentido de los cambios en las pautas de organización espacial responsables de la discriminación de los olores es el trasfondo más importante de los trabajos experimentales de Freeman, a los efectos de la psicología de la memoria. Cualquier cambio en el aprendizaje, como el de la introducción de nuevos estímulos, el añadido de nuevos olores o la inversión de los refuerzos *provocaba el cambio de todas*

las pautas espaciales de ordenación tanto del nuevo elemento como de todos los anteriores (Freeman 1993). Los cambios eran pequeños (7%) pero significativos. Suponían que no existía invariancia en el almacenamiento de imágenes mentales de la experiencia pasada. Las pautas cambiaban de forma global y continua, proporcionando un significado, ciertamente, pero un significado del estímulo para los sujetos y no para los observadores. Freeman concluye, en este punto, que el contexto ambiental, las experiencias previas de los sujetos, sus estados de atención y umbral de excitación y sus expectativas son las variables de las que depende la construcción de un significado del estímulo mediante pautas espaciales de ordenación en las redes de neuronas (Freeman 1993).

Consecuencias epistemológicas de la evidencia experimental

La importancia de los trabajos experimentales de Freeman para la fisiología y la psicología de la percepción es difícilmente negable. Pero fuera de esos campos estrictos se notan también sus consecuencias. Nos referiremos a unas cuantas de ellas.

1. En un sistema de memoria asociativa, cada nueva huella de la memoria altera las anteriores al unirse a ellas.

La información es creada y destruída por dinámicas caóticas determinísticas. Sin la presencia de las dinámicas caóticas, no puede añadirse un nuevo olor (Skarda y Freeman 1987, p. 171). La actividad neuronal que liga inputs sensoriales y outputs motores —y otros acontecimientos de orden superior—, descrita mediante dinámicas caóticas, tiene lugar en el nivel macroscópico (masas de neuronas) y no microscópico (neuronas aisladas). Pero la presencia de atractores caóticos y cuencas

de atracción en la actividad neuronal no solamente implica que no existe nada semejante a una “neurona-abuela” (2), sino que muestra el que tampoco se produce una asignación permanente de redes de neuronas capaces de corresponder a una huella de memoria. La actividad caótica del cerebro funciona como una “fábrica de memoria contextual sin costuras”, en la que de forma continua se están produciendo cambios. Un modelo así es incompatible con las propuestas de un almacén invariante respecto de los estímulos individuales.

2. La falta de invariancia en las pautas que producen la consciencia introduce una paradoja.

Por un lado, las pautas de construcción del *input* cambian continuamente. Pero se comprueba que existe una invariancia en el comportamiento de los sujetos experimentales por lo que hace al mecanismo estímulo-respuesta. ¿Cómo hacer compatible la falta de invariancia en el *input* y la invariancia en el *output*? Una respuesta a esa paradoja la proporciona el propio Freeman en la entrevista que figura en este mismo número de **Psicothema**.

3. La única “información” que se transmite con éxito desde el bulbo olfativo a las zonas más profundas del cerebro es una construcción que lleva a cabo activamente el cerebro.

Pero la similitud en las arquitecturas neurales, dinámicas y formas de onda de transporte entre el olfativo y otros sistemas sensoriales sugiere que los constructos neurales deben ser también semejantes en otros córtex sensoriales primarios. Así que, en términos globales, los cerebros no incorporan el entorno bruto e infinitamente complejo por medio de “mecanismos de procesamiento de la información”, como suponen los psicólogos partidarios de la metáfora de la computadora (Fodor, Pylyshyn), sino solamente unos construc-

tos perceptuales basados en la experiencia individual.

4. Si las evidencias experimentales obtenidas son válidas para otras especies, como la nuestra, y no solamente para los animales de experimentación, se concluye que no conocemos el mundo directamente a través de inputs sensoriales. Los constructos perceptuales aparecen y desaparecen, por otra parte, mediante dinámicas caóticas determinísticas. Así que la información se construye, no se procesa. Sólo conocemos los constructos formados por la interacción cooperativa de las neuronas en nuestros sistemas sensoriales y motores bajo el bombardeo de los datos sensoriales, de tal manera que los primeros pasos en la tarea del conocimiento se llevan a cabo activamente —a partir de la actividad interna del cerebro— y no pasivamente. Hay, en esa línea, documentación experimental reciente acerca de la existencia de mecanismos de memoria previos a la atención (Middlebrooks et al, 1994; Tiitinen et al, 1994).

Esta conclusión está totalmente en la línea de la filosofía del conocimiento de autores clásicos al estilo del segundo Wittgenstein, de uno de los padres fundadores de la psicología cognitiva, Bartlett, y nada menos que de Kant. Consolémonos: ¡la interpretación de los fenómenos caóticos ha llevado a autores como Rössler (1994) a reivindicar la recuperación de Anaxagoras! La teoría de esquemas es, dentro de la psicología cognitiva, la línea de pensamiento que ha desarrollado más esa idea (3). Y el propio Freeman ha manifestado

personalmente su acuerdo general con la teoría de esquemas (4).

5. Los propósitos de los sujetos y el medio ambiente imponen las circunstancias para la actividad neuronal. La intencionalidad pasa a ser una pieza clave para la construcción del conocimiento. De tal guisa, Freeman ha destapado la caja de los truenos: aspectos poco conocidos de la realidad como los atractores caóticos y los conjuntos de Mandelbrot acechan desde el fondo de un pensamiento que se nos presentaba antes bajo la apariencia de algo mucho más ordenado y lineal. Cuestiones como la voluntad, la consciencia y el deseo vuelven a tener un lugar de primer orden en el mundo de la actividad del cerebro estudiada por los neurofisiólogos. Si eso es una buena o una mala noticia depende, por supuesto, de quién la esté valorando. Pero difícilmente podremos ampararnos en la indiferencia.

NOTAS

(1) *The Astonishing Hypothesis* ha tenido unas primeras críticas feroces como, por ejemplo, las de J.J. Hopfield (1994) y J.R. Smythies (1994)

(2) La idea de una "neurona abuela" se sigue manteniendo con respecto a la detección de figuras subjetivas de Kanizsa (Davis y Driver, 1994), aunque puede que se trate de un proceso muy primario de percepción visual previo a la consciencia. Nótese, sin embargo, que la teoría de Freeman de la construcción activa del conocimiento concede un papel prácticamente nulo a ese tipo de percepción.

(2) Vid. Marty, G. (1989).

(3) Comunicación personal.

Referencias

- Adrian, E.D. (1947). *The Physical Background of Perception*. Oxford. Clarendon Press.
- Crick, F. y C. Koch, C. (1990). Towards a neurobiological theory of consciousness. *Seminars in the neurosciences*, 2, 263-275.
- Davies, G. y Driver, J. (1994). Parallel detection of Kanizsa subjective figures in the human visual field. *Nature*, 371, 791-793.
- Hopfield, J.J. (1994). An Envisioning of Consciousness. *Science*, 263, 696.
- Lancet, D., Greer, C.A., Kauer, J.S. y Shepherd, G.M. (1982). Mapping of odor-related neuronal activity in the olfactory bulb by high-resolution 2-deoxyglucose autoradiography. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 79, 670-674.
- Marty, G. (1989). *Teoría de esquemas en Psicología*. Palma de Mallorca, Prensa Universitaria.
- Middlebrooks, J.C., Clock, A.E., Xu, L. y Green, D.M. (1994). A Panoramic Code for Sound Location by Cortical Neurons. *Science*, 264, 842-844.
- Rössler, O.E. (1994). Anaxagora's idea of the infinitely exact chaos. W. Ebeling y M.S. Naschie (eds.) *Chaos and order in symbolic sequences*. Oxford, Pergamon Press, pp. 99-153.
- Smythies, J.R. (1994). Shipwreck of a Grand Hypothesis. *Inquiry*, 37: 267-281.
- Tiitinen, H., May, P., Reinikainen, K. y Näätänen, R. (1994). Attentive novelty detection in humans is governed by pre-attentive sensory memory. *Nature*, 372, 90-92.
- Algunos artículos de Walter J. Freeman relacionados con los procesos caóticos subyacentes a la consciencia:
- Freeman, W. J. (1984). La fisiología de las imágenes mentales. *Salud Mental*, 7, 3-8.
- Freeman, W.J. (1991). The physiology of perception. *Scientific American*, 264, 78-85.
- Freeman, W.J. (1991). What are the stable variables for modeling brain dynamics with neural networks?. H.G. Schuster (ed.) *Nonlinear Dynamics and Neuron Networks*. New York, N.Y., VCH Publishers, pp. 243-255.
- Freeman, W.J. (1992). From Single Neurons to Brain Chaos. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 2, 451-482.
- Freeman, W.J. (1993). The Emergence of Chaotic Dynamics as a Basis for Comprehending Intentionality in Experimental Subjects. K.H. Pribram (ed.) *Rethinking Neural Networks. Quantum Fields & Biological Data*. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum & Associates, pp. 507-514.
- Freeman, W.J. (in press) Three centuries of category errors in brain science, a brief history of neurodynamics in behavioral studies. *Behavioral & Brain Sciences*
- Skarda, C.A. y Freeman, W.J. (1987). How brain make chaos in order to make sense of the world. *Behavioral & Brain Science*, 10, 161-173.
- Skarda, C.A. y Freeman, W.J. (1990). Chaos and the new science of the brain. *Concepts in Neurosci.*, 1, 275-285.
- Evidencias de procesos caóticos en el cerebro:
- Babloyantz, A., Salazar, J.M. y Nicolis, C. (1988). Evidence of chaotic dynamics during the sleep cycle. *Physics Letters*, 111A, 152-156.
- Beck, F. y Eccles, J.C. (1992). Quantum aspects of brain activity and the role of consciousness. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89.
- Morigiwa, K., Tauchi, M. y Fukuda, Y. (1989). Fractal analysis of ganglion cell dendritic branching patterns of the rat and cat retinae. *Neuroscience Research, Supplement*, 10, S131-139.
- Schierwagen, A.K. (1990). Growth, structure and dynamics of real neurons, Model studies and experimental results. *Biomedica Biochimica Acta*, 49, 709-722.
- Thatcher, R.W. (1990). Brain stimulation of comatose patients: A chaos and nonlinear dynamics approach. E.R. John (ed.) *Machinery of the Mind*. Berlin, Birkhäuser Verlag, pp. 367-401.
- West, B. (1990). *Fractal physiology and chaos in medicine*. Teaneck, N.J., World Scientific.
- Modelos de la correlación entre funciones cognitivas y atractores caóticos:
- Gallez, D. y Babloyantz, A. (1991). Predictability of human EEG, A dynamical approach. *Biological Cybernetics*, 64, 381-391.

- Grössing, G. (1992). Is quantum theory relevant for the description of brain functions? *Cognitive Systems*, 3, 289-304.
- MavLennon, B. (1993). Field Computation in the Brain. K.H. Pribram (ed.) *Rethinking Neural Networks. Quantum Fields & Biological Data*. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum & Associates, pp. 161-197.
- Richmond, B.J., Gawne, T.J., Kjaer, T.W. y Hertz, J.A. (1993). Neuronal Encoding of Information Related to Visual Perception, Memory and Motivation. K.H. Pribram (ed.) *Rethinking Neural Networks. Quantum Fields & Biological Data*. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum & Associates, pp. 465-485.
- Schempp, W. (1993). Analog VLSI Network Models: Cortical Linking Natural Net Models and Quantum Holographic Neural Technology. K.H. Pribram (ed.) *Rethinking Neural Networks. Quantum Fields & Biological Data*. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum & Associates, pp. 233-297.
- Sporns, O., Tononi, G. y Edelman, G.M. (1991). Dynamic interactions of neuronal groups and the problem of cortical integration. H.G. Schuster (ed.) *Nonlinear Dynamics and Neuron Networks*. New York, N.Y., VCH Publishers, pp. 205-240.
- Werbos, P.J. (1993). Quantum Theory & Neural Systems: Alternative Approaches and a New Design. K.H. Pribram (ed.) *Rethinking Neural Networks. Quantum Fields & Biological Data*. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum & Associates, pp. 299-314.
- Intentos de control de la conducta caótica del cerebro:
- Adrian, E.D. (1950). The electrical activity of the mammalian olfactory bulb. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 2, 377-388.
- Freeman, W.J. (1978). Spatial properties of an EEG event in the olfactory bulb and cortex. *EEG and clinical Neurophysiology*, 44, 568-605
- Schiff, S.J., Jerger, K., Duong, D.H., Chang, T., Spano, M.L. y Ditto, W.L. (1994). Controlling chaos in the brain. *Nature*, 370, 615-620.
- Modelos de construcción intencional del conocimiento relacionados con el pensamiento de W.J. Freeman:
- Fischer, R. (1993). From 'transmission of signals' to 'self-creation of meaning'. Transformations in the concept of information'. *Cybernetica*, 36, 229-243.
- Fischer, R. (in press). On Some Not Yet Fashionable Aspects of Consciousness, En M.E. Carvello (ed.) *Nature, Cognition & System, vol. III*. Kluwer Acad. Publ.
- Werbos, P.J. (1993). Quantum Theory & Neural Systems: Alternative Approaches and a New Design. K.H. Pribram (ed.) *Rethinking Neural Networks. Quantum Fields & Biological Data*. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum & Associates, pp. 299-314.

Aceptado el 3 de febrero de 1995