

REVISIÓN DE TEMA

Oscilaciones neuronales como mecanismo consciente. Elementos para una discusión*

*Luis Felipe Orozco Cabal***

*Manuel F. Vergara Lago****

RESUMEN

Trabajos anteriores han demostrado la existencia de actividad eléctrica oscilatoria sincrónica en diversas porciones del sistema nervioso. Con el registro de su coherencia, esta actividad ha sido catalogada como una candidata para ser el sustrato neurobiológico de la conciencia humana. Aquí se explora la posibilidad de la existencia de un lenguaje temporal que represente los objetos de la cognición y, por tanto, de la conciencia humana.

Palabras clave: tálamo, conciencia.

ABSTRACT

Previous studies have demonstrated the existence of coupled electric oscillatory activity in different types of cells and cell organizations in the nervous system. Its coherence and intrinsic feedforward organization suggests that this could be the neuronal substrate of consciousness. Here we explore the existence of a possible temporal language in the brain, superimposed in its structure and chemical signaling, that accounts for the objects of cognition and human consciousness contents.

Key words: thalamus, consciousness.

INTRODUCCIÓN

El concepto de neurociencias hace referencia a la agrupación de una serie de disciplinas con tradiciones históricas diver-

sas, unas más que otras, que se reúnen con el objeto de estudiar la dinámica del funcionamiento del sistema nervioso[1]. Con su reunión, se han ido incorporando a su campo de acción fenómenos u objetos de estudio antes destinados a las disciplinas hermenéuticas. La conciencia humana es uno de tales objetos.

La evidencia experimental acumulada permite describir la gran mayoría de los procesos moleculares y bioquímicos que subyacen en la dinámica del sistema nervioso[2]. Es plausible, por lo menos en teoría, la posibilidad de concebir un sistema biológico que haga una construcción temporal, simultánea y secuencial de las impresiones universales de tipo autorreflexivo, que organizadas sintácticamente generen experiencia en las condiciones del ser humano[3]. El término 'conciencia' hace referencia a la capacidad de un organismo vivo para volver sobre su propia realidad y extraer de ella una nueva que modifique la precedente y que permita la comunicación en términos de impresiones universales. Su fin princi-

* Ponencia presentada en el Congreso Nacional de Psicología, Bogotá, D.C., 1° de mayo 2002.

** Profesor, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C., Colombia; Fundador, Capítulo Colombiano en Neurobiología de la Conciencia Humana (NEUROCON); miembro adherente, Sociedad Colombiana de Psiquiatría, Bogotá, D.C., Colombia.

*** Residente I año. Unidad de Neurocirugía, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.C., Colombia.

pal es mejorar, a como dé lugar, la capacidad de predecir del organismo, asegurando su éxito biológico[4] en un entorno hostil. Tal finalidad se ve reflejada en la filogenia de los sistemas de adaptación (sistema endocrino y sistema nervioso) y en el afianzamiento de las respuestas oscilatorias de algunas células e incluso microorganismos[5]. La exposición de un organismo a un estímulo innovador desencadena, en condiciones normales, una cascada de eventos neurohumorales de activación que hacen viable la adaptación del organismo al estímulo. Esto implica la activación del sistema nervioso autónomo, el estado de hiperalerta, la inmunomodulación y la secreción elevada de cortisol y adrenalina.

De la misma manera, los ritmos tanto espontáneos como inducidos, considerados por algunos como endógenos en su génesis, se modifican para tal proceso. Goldbeter y Caplan[6], han descrito oscilaciones sostenidas en levaduras como respuesta al influjo constante de un sustrato glicolítico, las cuales ocurren en condiciones definidas y concentración dependiente como producto de la actividad de la fosfofructocinasa.

Los estudios experimentales hacen innegable que el encéfalo y su adecuado funcionamiento sean necesarios para la generación de tal tipo de fenómenos[7]; sin embargo, aún se desconoce la secuencia de eventos necesaria para la generación de tal tipo de actividad.

Existen muchos tipos de conciencia desde el punto de vista fisiológico, pero aquí sólo se hará referencia a la experiencia consciente que, en la opinión de los autores[8], es la que acoge todas las otras calificadas según la modalidad sensorial como otros autores la suelen describir (conciencia visual, táctil, auditiva, etc.)[9].

LOS TRES LENGUAJES DEL SISTEMA NERVIOSO

El funcionamiento encefálico se ha entendido de manera tradicional como la conjunción de dos lenguajes en estrecha relación.

En primer lugar, las relaciones intercelulares entre componentes neurales y, en algunos casos, elementos gliales como los procesos astrocíticos, conforman una intrincada red de transmisión de información lo que explica en gran parte mucha de la dinámica de la función encefálica, ya que su organización intrínseca es vital para la transducción, la conducción y la codificación de la información aferente[10] y eferente. Evolutivamente se ha visto favorecido por el creciente número de componentes celulares intermedios entre el cuerpo presináptico y el postsináptico. Lo anterior refleja la necesidad de una modulación sincrónica y precisa de la actividad sináptica y brinda, además, la oportunidad de generar focos distales de selectividad a la información entrante. Así, tam-

bién, por las propiedades eléctricas de las conductancias de las interneuronas y de las neuronas propiamente dichas, el circuito como tal expresa una serie de propiedades fisiológicas que esas mismas células en aislamiento no presentan. Tal es el caso de las interneuronas corticales que generan de manera automática una actividad eléctrica rítmica cercana a los 40 Hz. *In vitro*, las neuronas del complejo olivar superior presentan de manera característica conductancias iónicas que promueven la actividad oscilatoria luego de una hiperpolarización, en relación con la activación de canales para calcio dependientes del voltaje con umbrales de despolarización bajos. En el complejo, los registros intracelulares *in vitro* demuestran oscilaciones espontáneas cuya frecuencia es independiente del estado de activación eléctrica de cualquiera de las neuronas de manera individual, como una propiedad emergente del sistema. Se han descrito condiciones similares para las células del núcleo reticular talámico y las células estrelladas de la corteza entorrinal[11].

Asimismo, la organización con base en contactos sinápticos entre componentes neurales ha favorecido la formación o la agregación de núcleos neuronales con productos homofílicos. Tal es el caso de los núcleos serotoninérgicos del *rafé*, colinérgicos del prosencéfalo basal y adrenérgicos del *locus coeruleus*, entre otros. Adicionalmente, el valor posicional durante las primeras semanas del desarrollo ontogenético, con la constitución de campos morfogenéticos específicos, como prosómeros y rombómeros en el caso particular del prosencéfalo y el rombencéfalo, específicamente[12], contribuye a la formación de un lenguaje molecular que nace de la integración entre neurotransmisores y receptores ligados o no a canales iónicos de membrana que imprimen un sello a la información aferente.

Los estudios electrofisiológicos sugieren que de la conjunción de los dos lenguajes o mapas anteriores nace un tercero, un lenguaje temporal. Este último se deriva de la modificación periódica, tónica o fásica según el aporte sináptico del potencial de membrana de las células excitables. Algunas de sus propiedades parecen ser una alta tendencia al comportamiento oscilatorio y baja entropía. Se da por la interacción de componentes inhibidores y excitadores con retrasos de fase de $\frac{1}{4}$ de ciclo y fuerte retroalimentación positiva molecular. Existe como un fenómeno global que emplaza por actividad del mismo tipo en diferentes bandas de frecuencia que se ven modificadas según el estado funcional del circuito[13]. Su grado de actividad o tendencia a la sincronía está dado por el influjo de la información reticular, cuyos neurotransmisores modulan la actividad eléctrica de sus componentes y su disposición a la receptividad de aferencias somáticas y viscerales. En él se da preferencia a la recepción de información producto de la actividad intrínseca de los componentes del sistema nervioso y, por momentos, según el grado de atención, se modula por los sentidos abriendo camino a

la información que brinda el entorno por medio de los canales sensitivos[14].

BASES DE LA TEMPORALIDAD NEURONAL

La excitabilidad, propiedad intrínseca de las células nerviosas, consiste en la posibilidad de modificar el potencial de membrana mediante la variación controlada de las corrientes iónicas. Tal modificación determina el estado funcional de la misma y, cuando ésta se encuentra en red con otras neuronas, caracteriza el estado funcional de la red.

El estado del potencial de membrana de una neurona es el resultado del equilibrio entre las fuerzas de ingreso de corrientes iónicas a favor de los puntos de equilibrio electroquímico de las especies iónicas y el estado de los mecanismos de compuerta controlados o no, es decir, de los canales iónicos de membrana e ionóforos ligando-dependientes.

Como la excitabilidad y la transmisión de información en forma de potenciales de acción ha sido la función primordial de las neuronas, evolutivamente se ha favorecido la modulación estricta de tal actividad. Desde el punto de vista funcional, es posible pensar en la célula nerviosa como la agregación de varios microcompartimientos interrelacionados eléctricamente[15,16]. Un ejemplo sencillo de la anterior afirmación es el siguiente: el cono axónico se comporta cualitativamente en forma diferente al terminal axónico en la generación de potenciales de acción, en gran parte debido a la alta concentración de canales de sodio, que lo hacen más sensible a la excitación. Asimismo, exhibe un potencial de membrana menor al del resto del axón, lo cual hace más fácil su despolarización. De igual manera sucede con las dendritas, en las cuales las propiedades de membrana de las porciones más distales son diferentes a las de las proximales, lo cual imprime un peso sináptico diferencial.

Aún más interesante es entender cómo la actividad en la porción de la célula determina el comportamiento eléctrico del resto de las microrregiones. Los potenciales postsinápticos excitadores o inhibitorios no sólo modifican las propiedades de membrana de la célula postsináptica de manera anterógrada, sino que también transcurren cambios de voltaje en la membrana y los campos magnéticos de manera retrógrada[17]. Por tanto, la actividad electroquímica que llega al soma no es sólo el resultado de la actividad generada por los potenciales postsinápticos de un momento en particular, sino la actividad residual de los cambios de voltaje transmembrana inmediatamente precedentes al estímulo analizado, lo cual convierte a la neurona, de tiempo en tiempo, en un ordenador secuencial de estados electroquímicos y magnéticos con estados funcionales diversos, lo cual genera reportes en términos de señales electroquímicas que, acumuladas, llevan a la activación del siguiente componente de la red.

No se convierte en una utopía, dado el grado de convergencia electroquímica, que la sucesión de ordenadores tanto en paralelo como en serie puedan sumarse para la generación de cambios globales de actividad[18].

Las propiedades intrínsecas de las neuronas aisladas parecen, según estudios experimentales, sumarse de manera no lineal y dar origen a nuevas propiedades, como actividad eléctrica oscilatoria inducida por potenciales subumbrales. Así, el estado funcional de los subsistemas se integra por medio de un sistema de frecuencias oscilatorias en un todo temporal simultáneo[19].

PROPUESTA GENERAL Y CONCLUSIONES

La propuesta por seguir es que, así como se ha determinado la resonancia y el sincronismo de las unidades funcionales columnares de la actividad en la corteza cerebral para las características individuales de los objetos —como en el caso de la corteza visual— es posible para cualquier objeto ya sea producto de la excitación de los sistemas sensibles por generación espontánea de potenciales sincronizados, la descripción de un mapa de frecuencias de activación en lugares disímiles del encéfalo para cada tipo de objeto cognoscitivo en un tiempo cero; es similar a lo que ocurre en el hipocampo con ciertas células que responden de manera particular a lugares y ambientes (Stevens CF, 1996)[20].

Lo anterior tiene una serie de implicaciones importantes para las neurociencias. La primera de ellas es lograr el registro simultáneo con una resolución temporal y espacial suficiente de la actividad electromagnética de los componentes celulares corticales y subcorticales; esto si se tiene en cuenta que la actividad oscilatoria intrínseca entre las células corticales es diferente en cada una de sus capas. Existen, también, partes del encéfalo que, por el papel que juegan en la economía global del sistema nervioso, tales como el hipocampo y las conexiones entre el núcleo reticular talámico y las células talámicas entre sí, han favorecido evolutivamente sistemas morfofisiológicos que prefieren la autorregulación de actividad oscilatoria rítmica estado-dependiente. La formación reticular mesencefálica y, particularmente, los grupos neuronales colinérgicos parecen ejercer un importante control sobre los osciladores talámicos reticulares. De igual manera, las agregaciones colinérgicas en la vecindad del núcleo de la banda diagonal parecen tener una organización similar tanto en estructura como en función y hay una importante modulación de la actividad corticotalámica por sus eferencias directas.

En segundo lugar, los científicos deben aprender que probablemente la mejor teoría sobre el funcionamiento global sumatorio no lineal del sistema nervioso no suceda en la concepción clásica de tiempo, sino en una dimensión temporal

vertical, ya que lo importante en la generación de la conciencia no es la sucesión de eventos, sino la simultaneidad entre ellos. El más llamativo, favorecido por la hiperexcitabilidad o superinhibición de los sistemas de atención, será el que domine el contenido. El resto de la actividad eléctrica formará el contexto, es decir, aquello que se interpreta como innovador de cada experiencia, así sea el mismo objeto.

Finalmente, el estado natural de la discusión induce a un cambio de paradigma con respecto a la recreación del mundo interior del encéfalo. Es el momento de reunir información y agregarla en un todo. Ese todo no sólo implica cambiar la

concepción del tiempo, sino la formación de mapas temporales de los objetos de la ciencia[21] en contextos disímiles que enriquecen nuestro léxico de la cartografía temporal de los modos de la vivencia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Adriana Castro C. por sus importantes contribuciones y apoyo en la elaboración de este texto. *In memoriam* del profesor Herms Romijn, Neatherlands Brain Research Institute.

BIBLIOGRAFÍA

- Clarke E, Jacyna LS. *Nineteenth-century origins of neuroscientific concepts*. ¿London?: University of California Press 1987.
- Crick F, Koch C. *The problem of consciousness*. Sci Am 1992; 111-7.
- Crick F, Koch C. *Consciousness and neuroscience*. Cereb Cortex 1998; 8: 97-107.
- Siminov PV. *Consciousness and the brain*. Neurosci Behav Physiol 1994; 24: 234-8.
- Romijn H. *About the origin of consciousness. A new, multidisciplinary perspective on the relationship between brain and mind*. Proc Kon Ned Akad v Wetensch 1997; 100: 181-267.
- Llinás RR. *I of the vortex, from neurons to self*. Cambridge: MIT Press 2001.
- Golbeter A. Comparison of electrical oscillations in neurons with induced or spontaneous cellular rhythms due to biochemical regulation. En: Ba^ar E, Bullock TH. *Induced rhythms in the brain*. First edition. Boston: Birkhauser 1992; 309-24.
- Goldbeter A, Caplan SR. *Oscillatory enzymes*. Annu Rev Biophys Bioeng 1976; 5: 449-76.
- Llinás RR. Oscillations in CNS neurons: a possible role for cortical interneurons in the generation of 40 Hz oscillations. En: Ba^ar E, Bullock TH. *Induced rhythms in the brain*. First edition. Boston: Birkhauser 1992; 269-83.
- Orozco L. Principios teóricos para la construcción de una nueva teoría acerca de la experiencia consciente. *Revista Latinoamericana de Psiquiatría* 2001.
- <http://www.iladiba.com.co/portales/rlp/articulos/originales/consciente.asp>
- Velmans M. *The science of consciousness*. London: Routledge 1996.
- Searle JR. *The problem of consciousness*. CIBA Found Symp 1993; 174: 61-80.
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessel TM. *Principles of neural science*. Fourth ed. New York: McGraw-Hill, 2001.
- Scott FG. *Development biology: a comprehensive synthesis*. Fifth edition, Massachusetts: Sunderland 1997.
- Lumer ED, Edelman GM, Tonomi G. *Neural dynamics in a model of the thalamocortical system. 1. Layers, loops and the emergence of fast synchronous rhythms*. Cer Cortex 1997; 7: 207-27.
- Steriade M, Curró R, Peré D. *Mesopontine colinergic systems suppress slow rhythms and induce fast oscillations in thalamocortical circuits*. En: Ba^ar E, Bullock TH, editors. *Induced rhythms in the brain*. First edition. Boston: Birkhauser 1992; 251-67.
- Kapfel C, Seidl AH, Schweiser H, et al. *Experience-dependent refinement of inhibitory inputs to auditory coincidence-detector neurons*. Nature Neuroscience 2002; 5: 247-53.
- Libet B. *Brain stimulation in the study of neuronal functions for conscious sensory experiences*. Human Neurobiol 1982; 1: 235-42.
- Stevens CF. *Spatial learning and memory: the beginning of a dream*. Cell 1996;87:1147-8.
- Orozco LF. El lenguaje eléctrico del sistema nervioso. *Universitas Médica* 1999; 49: 118-21.

Correspondencia
y solicitud de impresos:
Departamento de Morfología,
Facultad de Medicina,
Pontificia Universidad Javeriana,
Bogotá, D.C., Colombia.
Teléfono: 320 8320, ext.: 2786
neuro6@yahoo.com