

Bases neurales de la conciencia
Algunos problemas sobre la percepción y el acto voluntario
Neural basis of the consciousness
Some problems on perception and voluntary act

Prchal, Abigail ¹

¹Universidad Nacional de Tucumán
aprchal@gmail.com

Resumen

El objetivo de esta revisión es presentar los resultados de algunos experimentos de Libet sobre los tiempos que le llevaría a la corteza cerebral el procesamiento neural de la información sensorial y la programación de la actividad motora voluntaria. Para ello se hace un breve repaso de algunos supuestos de la neurofisiología y de algunas de las herramientas utilizadas para estudiar la actividad nerviosa de la corteza cerebral. Los experimentos sobre la percepción muestran que a) Los tiempos de procesamiento neural de un estímulo estarían alrededor de 300-500 milisegundos (casi medio segundo). Este lapso de tiempo es excesivo y se contradice con los tiempos de reacción y de respuesta de la mayoría de nuestras actividades diarias. b) Por otra parte estos resultados apuntan a que los perceptos no son un flujo continuo sino más bien que se trata de un fenómeno discreto que se construye y se corrige momento a momento. Los experimentos sobre el acto voluntario muestran que la actividad cerebral precede en unos 200-500 milisegundos la decisión consciente de llevar a cabo el movimiento. Un problema acuciante de estos datos es que indicarían que nuestra conciencia atrasa casi un segundo entero con respecto a la realidad. Se presentan brevemente algunas de las explicaciones para estos datos.

Palabras Claves: *Conciencia, Libet*

Abstract

The aim of this work is to present the results of Libet's experiments on the times it would take for the cerebral cortex to process neural sensory information and program voluntary motor activity. In order to do this, a brief review is made of some assumptions of neurophysiology and some of the tools used to study the nervous activity of the cerebral cortex. Libet's experiments on perception show that the neural processing times of a stimulus would be around 300-500 milliseconds (almost half a second). This time is excessive and contradicts the reaction and response times of most of our daily activities. On the other hand, these results suggest that percepts are not a continuous flow but rather that it is a discrete phenomenon that is constructed and corrected moment by moment. Experiments on the voluntary act show that brain activity precedes the conscious decision to carry out the movement by about 200-500 milliseconds. A pressing problem with these data is that they would indicate that our consciousness lags behind reality by almost a whole second. Some of the explanation for this data are presented.

Keywords: *Consciousness, Libet*

1 Introducción

El presente seminario tiene como objetivo presentar los resultados de algunos experimentos de Libet sobre los tiempos que le llevaría a la corteza el procesamiento neural de la información sensorial y la programación de la actividad motora voluntaria.

Antes de entrar en tema, es necesario poner en claro algunas cuestiones y clarificar algunos conceptos.

En primer lugar, establecer que, si bien estos experimentos se enmarcan en el problema de la relación mente-sistema nervioso, no entraremos en estas discusiones, ni tomaremos partido por ninguna de las posibles respuestas a este debate. Permítanme, en cambio, presentar dos simples aseveraciones, como peticiones de principio, con el solo fin de avanzar en la presentación de los trabajos de Libet: 1) la conciencia se relaciona con el sistema nervioso; 2) la integridad funcional y anatómica de la corteza cerebral (específicamente el neocórtex) es un elemento importante en esta relación del sistema nervioso con la conciencia.

En segundo lugar, sería importante contar con alguna definición de conciencia. Y, nuevamente, por cuestiones de espacio, no haré un repaso exhaustivo de todas posibles definiciones de conciencia. Tomaré, en cambio un atajo considerando dos categorías de la conciencia que han sido estudiadas desde el punto de vista neurofisiológico: la conciencia como estado y la conciencia como contenido.

Conciencia como estado: la mayoría de los organismos vivos presentan un ciclo con una duración aproximada de 24 horas (circadiano) en el que se alternan estados de actividad y de reposo. Entre los mamíferos parte de este ciclo es la alternancia entre el sueño y la vigilia.¹ Estar dormido o estar despierto representan dos estados de conciencia muy diferentes: durante el estado de vigilia somos capaces de percibir el mundo que nos rodea y responder adecuadamente a él, durante el sueño, en cambio perdemos la capacidad de estar al tanto y responder a lo que nos rodea. Estos dos estados de conciencia pueden caracterizarse muy fácilmente desde el punto de vista conductual (todos somos capaces de reconocer si una persona, o un gato o un perro están dormido o despiertos). De hecho, es una práctica común en las salas de emergencias médicas que los profesionales de la salud establezcan el estado de conciencia de los pacientes que llegan con traumatismo que puedan afectar el sistema nervioso central. Además de los aspectos conductuales, estos dos estados se acompañan por cambios mensurables en la actividad eléctrica de la corteza cerebral y del músculo esquelético. De este modo, durante la vigilia lúcida la actividad eléctrica de la corteza se caracteriza por ondas de pequeño voltaje y relativamente alta velocidad. A medida que nos dormimos esta actividad se va haciendo cada vez más lenta y de mayor amplitud.

La facilidad para definir operacionalmente estos estados de conciencia y, sobre todo, el hecho de no precisarse ningún tipo de informe verbal para su análisis, hizo que el estudio experimental de la neurofisiología del ciclo sueño vigilia avanzara rápidamente. De este modo, se conocen desde hace algún tiempo los principales mecanismos que controlan estos estados.

Conciencia como contenido: se trata aquí de estados subjetivos, absolutamente privados e inobservables. Abarca tanto los perceptos como las intenciones, decisiones, procesos de atención, etc. Aquí, el hecho de que su tratamiento depende casi exclusivamente del informe verbal hizo que el estudio experimental se dificultara enormemente. Muy recientemente con el advenimiento de técnicas como la resonancia magnética funcional se ha comenzado a avanzar en esta línea. Pero aún estamos lejos de conocer acabadamente los mecanismos neurofisiológicos que subyacen o producen los contenidos de nuestra conciencia (ver, por ejemplo, los trabajos de S. Dehaene (2014)).

Algunas cuestiones metodológicas Para una correcta comprensión de los experimentos que discutiremos aquí, es preciso un sucinto panorama de neuro y electrofisiología. Como se sabe, el sistema nervioso está constituido por un conjunto de células, las neuronas, que se especializan en procesar y

1. El estado de sueño, como veremos, fue definido por sus típicos registros electroencefalográficos en la corteza de mamíferos. Luego se encontraron iguales características en la actividad cortical de aves. El registro en el sistema nervioso en vertebrados sin corteza cerebral dificulta definir en términos electrofisiológicos el estado de sueño en estos animales.

Figura 1

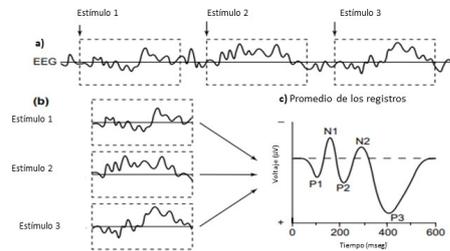


Figura 1: Registro electroencefalográfico (EEG) y su promediación para el estudio de los potenciales relacionados con eventos (antes llamados potenciales evocados. **a)** En el EEG la respuesta al estímulo está enmascarada por la actividad eléctrica espontánea de la corteza cerebral, que es irregular. **b)** A partir de la ocurrencia del estímulo, se pueden crear ventanas de registro con una duración predeterminada. **c)** El promedio de los registros de estas ventanas temporales elimina la actividad irregular de base y permite observar lo que es constante en la respuesta cortical al estímulo. Ligeramente modificado de Luck, Woodman y Vogel (2000).

transmitir información. La información es codificada y conducida a lo largo de toda la neurona por medio de potenciales eléctricos. La transmisión de información entre neuronas o entre neuronas y otras células (como el músculo, las glándulas y los receptores sensoriales), ocurre por medios químicos en un proceso especializado conocido como sinapsis (del griego, *synapsis*: unión, enlace). Los potenciales eléctricos generados por las neuronas se pueden medir mediante electrodos colocados dentro o cerca de las neuronas, del mismo modo se puede producir la generación de estos potenciales inyectando corrientes eléctricas dentro o en la cercanía de las neuronas. El electroencefalograma es el registro de la actividad de las neuronas de la corteza cerebral por medio de electrodos colocados por encima del cuero cabelludo. De este modo, conocemos con tanto detalle los patrones electroencefalográficos de los estados vigilia, sueño y coma. Finalmente, dado que el cerebro no es capaz de sentirse a sí mismo, los neurocirujanos pueden utilizar electrodos colocados sobre la corteza cerebral, tanto para estimular como para registrar la actividad nerviosa cortical. Este procedimiento es de rutina en cirugías en las que se debe acceder al cerebro. Algunos neurocirujanos como Penfield y el mismo Libet, con el consentimiento de sus pacientes han utilizado esta posibilidad para hacer mapas funcionales de la corteza (Wilder Penfield y Rasmussen (1950); W. Penfield (1974)). Para terminar, una última técnica que es importante conocer para comprender los experimentos de Libet es la de los potenciales relacionados con eventos (anteriormente llamados potenciales evocados). Como puede observarse en la Figura 1 se trata de promediar varias respuestas a un estímulo dado con electrodos de electroencefalografía. De este modo se obtiene una onda, cuyos diversos componentes han sido extensamente estudiados. Por ejemplo, la onda denominada P1, se acepta como la llegada de la información a la corteza, en tanto que las ondas más tardías como la P3 (también conocida como P300) se relaciona con la atención que el sujeto presta al estímulo.

2 Los experimentos de Libet 1) La Percepción

Benjamin Libet fue un neurocirujano estadounidense (1916 – 2007) que en los años 70 llevó a cabo una serie de experimentos cuyos resultados produjeron, y siguen produciendo, muchísima discusión. La mayoría de los experimentos de Libet fueron replicados exitosamente, por lo que las discusiones se centran, mayoritariamente, en la interpretación de los resultados.

En la primera serie de experimentos, Libet exploró los tiempos de procesamiento cortical que llevan a la experiencia consciente de un estímulo muy simple (B. Libet 2002, 2007; Libet et al. 1979). Con el permiso de pacientes sometidos a una cirugía cerebral (para extraer tumores o insertar algún electrodo), Libet estimuló con pulsos eléctricos en el área cortical de modo de producir una sensación en un dedo meñique. Como dijimos más arriba este es un procedimiento bastante habitual y estandarizado. La sensación que informan los pacientes suele estar muy bien localizada (referida a un lugar concreto del cuerpo), aunque es una sensación rara, que no se parece en nada a alguna sensación por estimulación de esa misma zona. Además de este estimular la corteza, los pacientes recibían un estímulo táctil en la misma locación a la que refería la sensación producida por la estimulación cortical. Al paciente se le pedía que informara lo que sentía (estímulo cortical o estímulo en el meñique). En esta primera parte del experimento, lo que se establece es que luego de unos pocos milisegundos de la estimulación periférica aparece la sensación; esos pocos milisegundos se corresponden con la onda P1 de los potenciales relacionados con eventos. En cambio, para producir una sensación consciente con estimulación eléctrica de la corteza, era necesario que el estímulo se mantuviera durante un período relativamente largo: 300 a 500 milisegundos (Figura 2). En un segundo momento, se estimulaba en ambos sitios (corteza y periferia) con diferentes intervalos entre ambos estímulos, en este caso el paciente debía informar cual de los dos estímulos había ocurrido primero. Lo que encuentra Libet es que, si se estimula la corteza, dentro de los primeros 250 milisegundos después del estímulo en la piel, los pacientes solo sentirán el estímulo cortical (Figura 2d). En la situación inversa (Figura 2e), en cambio, los pacientes informan sentir primero la sensación en la piel y luego la sensación por estimulación cortical.

Evidentemente, la situación graficada en la Figura 2d, precisa explicación, ya que desafía la lógica de que la causa debe anteceder a la consecuencia. Aquí, por el contrario, el futuro (segundo estímulo) altera el pasado (la sensación, casi inmediata, de haber recibido el primer estímulo). La explicación que da Libet es que el sistema nervioso central precisa alrededor de 300-500 milisegundos para procesar la información y producir una sensación consciente. Por otra parte, el hecho de que sintamos casi instantáneamente un estímulo en la piel, postula Libet, se debería a la capacidad del sistema nervioso de referir hacia atrás en el tiempo la ocurrencia de ese estímulo, una vez procesada la información. Esta capacidad explicaría, también, el caso de la figura 2e, en el que el paciente informa sentir primero el estímulo periférico y luego el cortical.

Los resultados experimentales de Libet no han podido ser desafiados hasta ahora. Además, hay, al menos, otras dos situaciones en las que un segundo estímulo altera la experiencia subjetiva del primer estímulo: “color phi” y el “conejito cutáneo”. En el primer caso, se trata de una variante de la ilusión de movimiento aparente, descrita por primera vez por en 1912, por Wertheimer (Wertheimer 1912). Dos estímulos visuales estáticos o dos estímulos visuales contiguos que se presentan con poca diferencia de tiempo entre ellos, producirán una sensación de movimiento. Esta ilusión es muy conocida, se utiliza comúnmente en carteles luminosos y es, hasta cierto punto la base de lo que vemos en televisión y cine, si bien nadie ha podido explicar satisfactoriamente este fenómeno (Kolars y von Grünau 1976). El filósofo N. Goodman se preguntó qué pasaría si estos dos estímulos tuvieran diferente color (Henderson y Goodman 1953). Los estudios psicofísicos llevados a cabo para responder esta cuestión mostraron que los sujetos ven al primer estímulo (color 1) moverse y cambiar de color (al segundo color) más o menos a mitad de camino. Nos encontramos, de nuevo, con una experiencia subjetiva en la que el segundo estímulo es el que determina el modo en que percibimos el primero.

El conejito cutáneo (Geldard y Sherrick 1972) es otro caso en el que la sensación depende del último

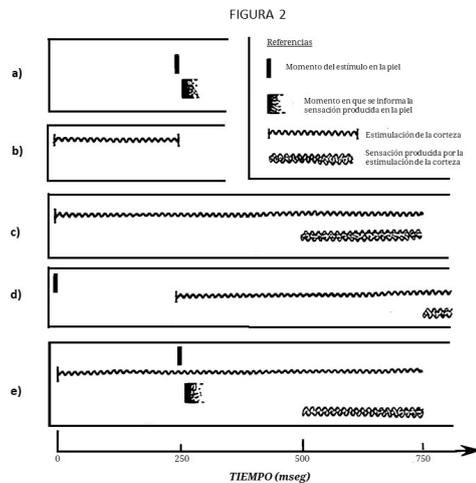


Figura 2: a) La estimulación de la piel produce, casi instantáneamente, una sensación; b) si el estímulo en la corteza tiene una duración de 250 milisegundos, no habrá ninguna sensación; c) la estimulación eléctrica de la corteza debe tener una duración de unos 500 milisegundos para producir una sensación; d) Si se estimula la piel y, dentro de los primeros 250 milisegundos, comienza la estimulación cerebral, el paciente informa que sólo siente el estímulo cortical; e) si se estimula la corteza y, durante los primeros 250 milisegundos se estimula la piel, el paciente informa que siente primero el estímulo en la piel y luego el de la corteza cerebral. Ligeramente modificado de (Penrose 1999)

estímulo. En esta ilusión somatosensorial una estimulación repetitiva y rápida en dos o más lugares del cuerpo (por lo general el antebrazo), produce la sensación de que la piel entre uno y otro estímulo también ha sido estimulada. Lo interesante de este fenómeno es que, nuevamente, el último estímulo es el que parece determinar la sensación (ver figura 3).

En conjunto, estos datos indicarían que:

- a) La conciencia no sería un flujo continuo de percepciones, sino más bien una serie de fenómenos discretos, que se van construyendo y corrigiendo momento a momento y se refiere hacia atrás en el tiempo.
- b) Los tiempos de procesamiento neural de un estímulo estarían alrededor de 300-500 milisegundos (casi medio segundo). Este lapso de tiempo es excesivo y se contradice con los tiempos de reacción y de respuesta de la mayoría de nuestras actividades diarias.

3 Los experimentos de Libet. 2) La Voluntad

Dado que los movimientos del cuerpo producidos por la contracción del músculo esquelético son (casi siempre) observables a simple vista y fácilmente registrables mediante electromiografía, fue posible estudiar los sistemas motores desde los inicios mismos de la neurofisiología. De este modo, desde la primera mitad del siglo pasado, son bien conocidos las áreas cerebrales y los circuitos medulares y subcorticales cuya actividad controla los músculos.

A partir de 1964, H. Kornhuber y L. Deecke llevaron a cabo una serie de experimentos en sujetos sanos, en los que registraron potenciales electrocorticales relacionados con el movimiento voluntario

FIGURA 3

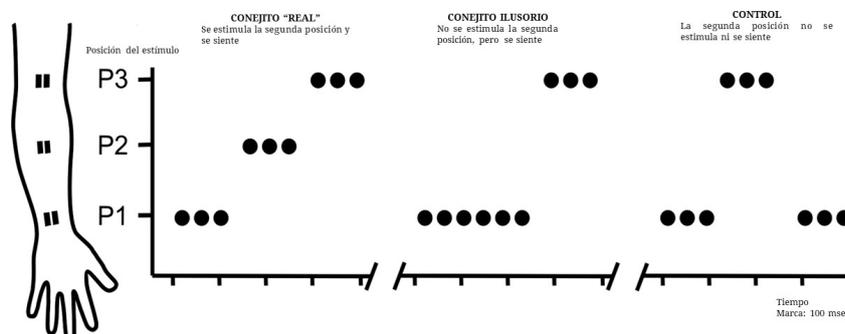


Figura 3: Conejito "Real" Si se dan pequeños golpes en rápida sucesión en distintos puntos sobre la piel del antebrazo entre la muñeca y el codo (P1, P2 y P3), los sujetos informan sentir como si un conejito diera pequeños saltos sobre la piel estimulada. Conejito Ilusorio, esta sensación se mantiene cuando sólo se estimulan los dos puntos más alejados (P1 y P3). Control, llamativamente, si la sucesión del estímulo es P1, P3 y P1, los sujetos solo sienten estos tres puntos y no la sucesión de conejito saltando a lo largo de todo el recorrido del antebrazo. Ligeramente modificado de (Blankenburg et al. 2006)

(Kornhuber y Deecke 1965, 2016; Deecke, Grözinger y Kornhuber 1976; Kristeva et al. 1979; Kristeva-Feige et al. 1997). La técnica que utilizaron es similar a la descrita más arriba para los potenciales relacionados con eventos, excepto que aquí las ventanas promediadas se definieron hacia atrás en el tiempo, a partir del movimiento. Brevemente, los sujetos debían flexionar un dedo, cuando quisieran (voluntariamente). El registro de esa flexión se registraba junto con el electroencefalograma (con electrodos sobre el cuero cabelludo). Los resultados de estos experimentos mostraron que los movimientos voluntarios son precedidos por un potencial negativo que comienza a crecer lentamente alrededor de 1 segundos antes del movimiento, alcanzando su pico máximo ($10 - 15\mu V$), alrededor de 500 milisegundos después. Estos potenciales se conocen como "readness potentials" (potenciales preparatorios).

Libet realizó una variante de estos experimentos, en los que, bajo las mismas condiciones de registro, los sujetos debían mirar un reloj e indicar el momento en que decidían conscientemente flexionar el dedo. El reloj utilizado tenía una sola manecilla que daba una vuelta completa en 2,56 segundos (B. Libet 1992; B. W. Libet 1999; B. Libet 2007; Libet, Wright y Gleason 1983). De este modo, Libet agrega un dato a la secuencia de eventos que precede al acto voluntario. Como puede verse en la Figura 4, la decisión voluntaria de mover el dedo, es posterior al comienzo del potencial preparatorio. La mayor crítica a estos experimentos de Libet se centró en el modo en que se midió el tiempo para establecer el momento en que los sujetos tomaron la decisión de mover el dedo. Sin embargo, los resultados de Libet se aceptan como válidos.

En resumen, los datos de estos trabajos indican que nuestro sistema nervioso comienza a preparar el movimiento entre 900 y 700 milisegundos antes de que el movimiento se realice. Nuestra decisión voluntaria ocurre casi medio segundo después de que se inicie la actividad cerebral preparatoria. De nuevo, se trata de tiempos extensos que harían imposibles muchas actividades que realizamos a diario.

FIGURA 4

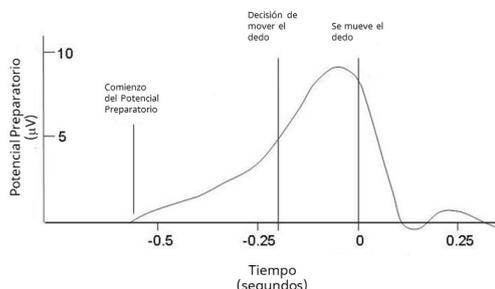


Figura 4: Se muestra el registro electroencefalográfico obtenido con electrodos sobre el cuero cabelludo, luego de promediar varias ventanas (1 segundo hacia atrás desde que ocurre el movimiento). Puede observarse el potencial preparatorio que comienza unos 700 milisegundos antes del movimiento). La decisión consciente de realizar el movimiento ocurre luego de ese potencial. Ligeramente modificado de (Madar 2015)

4 Algunas reflexiones finales

Los datos experimentales que acabo de presentar se tienen por ampliamente verificados. Su interpretación, en cambio, ha sido muy discutida.

Un problema acuciante de estos datos es que indicarían que nuestra conciencia atrasa casi un segundo entero con respecto a la realidad. Si esto fuera así, es muy difícil explicar que podamos manejar un auto, tocar el piano o jugar al tenis.

Se han propuesto varias explicaciones, sólo enumeraré brevemente dos de ellas:

- 1) Una posibilidad es que nuestra mejor y más utilizada herramienta para medir la actividad neuronal, i.e. medir los potenciales eléctricos, no esté mostrando lo realmente importante del modo en que funciona nuestro sistema nervioso. Esto implica ni más ni menos que tirar por la borda poco más de 30 años de neurofisiología. En esta línea de pensamiento se encuentran algunas hipótesis, generalmente conocidas como la mente o cerebro cuánticos. Estas ideas utilizan algunos desarrollos de la física y, sobre todo, de la química cuántica, para explicar cómo surgen los estados de conciencia (Atmanspacher 2004). Si bien estas teorías parecen muy atractivas, no tienen, aun, ninguna evidencia experimental que las apoye. Lo que se postula, básicamente, es que los qualia que conforman la conciencia emergen como consecuencia de diferentes conformaciones de los microtúbulos (parte del citoesqueleto neuronal) (Hameroff y Watt 1982; Hameroff y Penrose 2014).
- 2) El segundo grupo de ideas, parte de negar la existencia de una mente consciente o de aceptarla sólo como una ilusión creada por nuestro sistema nervioso. Dennett hace una revisión muy buena y detallada de estas ideas (Dennett 1995). Uno de los problemas de estas posturas es que, al negar la mente consciente, se niega el libre albedrío y por tanto cualquier responsabilidad moral por nuestras acciones.

Referencias

- Blankenburg, Felix, Christian C. Ruff, Ralf Deichmann, Geraint Rees y Jon Driver. 2006. "The Cutaneous Rabbit Illusion Affects Human Primary Sensory Cortex Somatotopically". *PLOS Biology* 4, n.º 3 (28 de febrero de 2006): e69. ISSN: 1545-7885. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040069>. <https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.0040069>.
- Deecke, Lüder, Berta Grözinger y H. H. Kornhuber. 1976. "Voluntary Finger Movement in Man: Cerebral Potentials and Theory". *Biological Cybernetics* 23, n.º 2 (1 de junio de 1976): 99-119. ISSN: 1432-0770. <https://doi.org/10.1007/BF00336013>. <https://doi.org/10.1007/BF00336013>.
- Dehaene, Stanislas. 2014. *Consciousness and the Brain: Deciphering How the Brain Codes Our Thoughts*. Penguin, 30 de enero de 2014. ISBN: 978-0-698-15140-6. Google Books: [CWw2AAAAQBAJ](https://books.google.com/books?id=CWw2AAAAQBAJ).
- Dennett, Daniel. 1995. *La Conciencia Explicada*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- Geldard, Frank A. y Carl E. Sherrick. 1972. "The Cutaneous "Rabbit": A Perceptual Illusion". *Science* 178, n.º 4057 (13 de octubre de 1972): 178-179. <https://doi.org/10.1126/science.178.4057.178>. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.178.4057.178>.
- Hameroff, Stuart y Roger Penrose. 2014. "Consciousness in the Universe: A Review of the 'Orch OR' Theory". *Physics of Life Reviews* 11, n.º 1 (1 de marzo de 2014): 39-78. ISSN: 1571-0645. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2013.08.002>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1571064513001188>.
- Hameroff, Stuart R. y Richard C. Watt. 1982. "Information Processing in Microtubules". *Journal of Theoretical Biology* 98, n.º 4 (21 de octubre de 1982): 549-561. ISSN: 0022-5193. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(82\)90137-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(82)90137-0). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022519382901370>.
- Henderson, G. P. y Nelson Goodman. 1953. "The Structure of Appearance". *The Philosophical Quarterly* 3, n.º 12 (1 de julio de 1953): 282-284. ISSN: 0031-8094. <https://doi.org/10.2307/2216593>. <https://doi.org/10.2307/2216593>.
- Kolers, Paul A. y Michael von Grünau. 1976. "Shape and Color in Apparent Motion". *Vision Research* 16, n.º 4 (1 de enero de 1976): 329-335. ISSN: 0042-6989. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(76\)90192-9](https://doi.org/10.1016/0042-6989(76)90192-9). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0042698976901929>.
- Kornhuber, Hans H. y Lüder Deecke. 1965. "Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale". *Pflüger's Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere* 284, n.º 1 (1 de marzo de 1965): 1-17. ISSN: 1432-2013. <https://doi.org/10.1007/BF00412364>. <https://doi.org/10.1007/BF00412364>.
- . 2016. "Brain Potential Changes in Voluntary and Passive Movements in Humans: Readiness Potential and Reafferent Potentials". *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology* 468, n.º 7 (1 de julio de 2016): 1115-1124. ISSN: 1432-2013. <https://doi.org/10.1007/s00424-016-1852-3>. <https://doi.org/10.1007/s00424-016-1852-3>.
- Kristeva, R, E Keller, L Deecke y H. H Kornhuber. 1979. "Cerebral Potentials Preceding Unilateral and Simultaneous Bilateral Finger Movements". *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 47, n.º 2 (1 de agosto de 1979): 229-238. ISSN: 0013-4694. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(79\)90223-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(79)90223-2). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0013469479902232>.

- Kristeva-Feige, R, S Rossi, B Feige, Th Mergner, C. H Lücking y P. M Rossini. 1997. "The Bereitschafts-potential Paradigm in Investigating Voluntary Movement Organization in Humans Using Magnetoencephalography (MEG)1". *Brain Research Protocols* 1, n.º 1 (1 de febrero de 1997): 13-22. ISSN: 1385-299X. [https://doi.org/10.1016/S1385-299X\(97\)80327-3](https://doi.org/10.1016/S1385-299X(97)80327-3). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385299X97803273>.
- Libet, Benjamin. 1992. "Voluntary Acts and Readiness Potentials". *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 82, n.º 1 (1 de enero de 1992): 85-86. ISSN: 0013-4694. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(92\)90186-L](https://doi.org/10.1016/0013-4694(92)90186-L). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/001346949290186L>.
- . 2002. "The Timing of Mental Events: Libet's Experimental Findings and Their Implications". *Consciousness and Cognition* 11, n.º 2 (1 de junio de 2002): 291-299. ISSN: 1053-8100. <https://doi.org/10.1006/ccog.2002.0568>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053810002905684>.
- . 2007. "The Neural Time Factor in Conscious and Unconscious Events". En *Ciba Foundation Symposium 174 - Experimental and Theoretical Studies of Consciousness*, 123-146. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-51441-2. <https://doi.org/10.1002/9780470514412.ch7>. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470514412.ch7>.
- Libet, Benjamin, Elwood W Wright y Curtis A Gleason. 1983. "Preparation- or Intention-to-Act, in Relation to Pre-Event Potentials Recorded at the Vertex". *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 56, n.º 4 (1 de octubre de 1983): 367-372. ISSN: 0013-4694. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(83\)90262-6](https://doi.org/10.1016/0013-4694(83)90262-6). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0013469483902626>.
- Libet, Benjamin, Elwood W. Wright, Bertram Jr Feinstein y Dennis K. Pearl. 1979. "SUBJECTIVE REFERRAL OF THE TIMING FOR A CONSCIOUS SENSORY EXPERIENCE: A FUNCTIONAL ROLE FOR THE SOMATOSENSORY SPECIFIC PROJECTION SYSTEM IN MAN". *Brain* 102, n.º 1 (1 de marzo de 1979): 193-224. ISSN: 0006-8950. <https://doi.org/10.1093/brain/102.1.193>. <https://doi.org/10.1093/brain/102.1.193>.
- Libet, Benjamin W. 1999. "Do We Have Free Will?" *Journal of Consciousness Studies* 6 (8-9): 47-57.
- Luck, Steven J., Geoffrey F. Woodman y Edward K. Vogel. 2000. "Event-Related Potential Studies of Attention". *Trends in Cognitive Sciences* 4, n.º 11 (1 de noviembre de 2000): 432-440. ISSN: 1364-6613, 1879-307X. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01545-X](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01545-X). pmid: 11058821. [https://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/abstract/S1364-6613\(00\)01545-X](https://www.cell.com/trends/cognitive-sciences/abstract/S1364-6613(00)01545-X).
- Madar, Antoine. 2015. "Neuroscience of Will: The Nature of Motor Intentions", <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2526.5368>.
- Penfield, Wilder. 1974. "The Mind and the Highest Brain-Mechanism". *The American Scholar* 43 (2): 237-246. ISSN: 0003-0937. JSTOR: 41207201. <https://www.jstor.org/stable/41207201>.
- Penfield, Wilder y Theodore Rasmussen. 1950. "The Cerebral Cortex of Man". *Jason W. Brown Library* (1 de enero de 1950). <https://digitalcommons.rockefeller.edu/jason-brown-library/5>.
- Penrose, Roger. 1999. *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds and the Laws of Physics*. Oxford: Oxford Univ. Press. ISBN: 978-0-19-286198-6.
- Wertheimer, Max. 1912. *Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung*. J.A. Barth. Google Books: [EREUnQEACAAJ](https://books.google.com/books?id=EREUnQEACAAJ).