

Neurofenomenología y *neurofeedback* como acercamientos a la interrelación entre cerebro y procesos mentales: intentando cerrar la “brecha explicativa”

Ismael J. Castillo Reyes, Ph.D.¹
Nelson D. Cruz-Bermúdez, Ph.D.²

RESUMEN

El estudio de la interrelación cerebro-mente ha sido objeto de discusión en la filosofía de la mente, neuropsicología y neurociencia cognitiva. La medición neurocognitiva tradicional ha utilizado principalmente constructos teóricos externos para establecer relaciones causales y unidireccionales entre estructuras y circuitos neurales y procesos mentales. El neurofeedback (NF) y otras técnicas de biorretroalimentación ofrecen un acercamiento de investigación alterno a esta problemática porque posibilitan que la actividad cerebral sea retroalimentada al individuo en tiempo real, permitiendo autorregulación y modificación del funcionamiento neural y cognitivo. En ese ensamblaje, la experiencia subjetiva modula la actividad cerebral y viceversa, permitiendo al individuo e investigadores establecer vínculos e integración entre información obtenida en primera persona (datos fenomenológicos) con información obtenida en tercera persona (datos neurofisiológicos) de manera recíproca. En este artículo sugerimos el uso del NF desde el paradigma de la neurofenomenología de Varela (1996), según ha sido propuesto por Bagdasaryan y Le Van Quyen (2013), como un acercamiento de investigación factible y empírico para aproximarnos a la relación cerebro-mente. Además, el uso del NF en investigaciones experimentales en la neuropsicología y disciplinas afines potencia el desarrollo de intervenciones enfocadas en neurorehabilitación, estimulación y optimización cognitiva.

Palabras clave:
neurofenomenología, Neurofeedback, biorretroalimentación, cerebro-mente, neuropsicología, neurociencia.

Autor responsable:

Nelson D. Cruz-Bermúdez, Ph.D.
Universidad de Puerto Rico,
Río Piedras
Departamento de Psicología
9 Ave. Universidad, Suite 901
San Juan, Puerto Rico 00925-2529
Email: nelson.cruz6@upr.edu

^{1,2} Departamento de Psicología & Instituto de Investigación Psicológica, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras

El problema mente-cerebro desde la neurociencia

Las aportaciones científicas de Ramón y Cajal, Golgi, Wundt, James y otros médicos, fisiólogos y psicólogos dieron paso al surgimiento de la neurociencia moderna^(1,2). En sus inicios, la neurociencia pasó por debates filosóficos y epistemológicos que matizaban relaciones dicótomas entre cerebro y mente, mente y conducta y entre lo genético y lo ambiental. Aunque algunos textos anclados en la filosofía de la mente señalaron el conflicto teórico y metodológico que suponía convertir la mente y la consciencia en objetos de estudio, la “Década del Cerebro”⁽³⁾ propició una reflexión mucho más abarcadora y detallada sobre el sistema nervioso, permitiendo nuevos acercamientos al “problema mente-cerebro”.

Las investigaciones y conceptualizaciones de Thomas Nagel, Joseph Levine, Antonio Damasio, David Chalmers, Joseph Ledoux y Francisco Varela, entre otros, cimentaron la necesidad de entender no solo la anatomía y fisiología del sistema nervioso sino cómo una experiencia sensorial adquiere cualidades propias, subjetividad, sentimientos y tono emocional en el cerebro⁽⁴⁻⁹⁾. La consciencia (p. ej., sentido del “yo” y experiencia subjetiva) está ligada a procesos corporales de regulación de la vida, afecto y emociones, de tal manera que la cognición, emoción y conducta operan interdependientemente^(8,10-12). Preguntas como ¿por qué y cómo el cerebro genera los patrones mentales que experimentamos?, ¿cómo el cerebro crea un sentido del yo? y ¿cómo cada persona tiene un sentido del yo diferente?, sugieren que es ineludible investigar tanto la actividad cerebral como la experiencia fenoménica subjetiva (el *qualia* filosófico) para entender el funcionamiento del sistema nervioso. El reto de estas preguntas ha llevado a filósofos y científicos a catalogar la existencia de experiencias subjetivas como “el problema duro de la consciencia”⁽⁷⁾ o “la brecha explicativa”⁽⁵⁾.

Otras aproximaciones a la interrelación entre cerebro, cuerpo, mente, consciencia y conducta^(9,13,14) buscan entender cómo las contingencias ambientales, sociales y culturales modifican al

sistema nervioso (relación de “afuera hacia adentro”), más allá de la correspondencia entre cerebro y conducta (relación de “adentro hacia afuera”). Estudios sobre cómo la psicoterapia afecta la conectividad entre regiones del cerebro⁽¹⁵⁾, cómo la cultura modifica la percepción de ritmos musicales⁽¹⁶⁾, cómo la música regula el ánimo y respuestas emocionales⁽¹⁷⁾, cómo el *mindfulness* induce cambios en materia gris⁽¹⁸⁾ y cómo la microbiota intestinal tiene relación directa con las emociones y la conducta⁽¹⁹⁾ son algunos ejemplos. El contexto sociocultural, combinado con mecanismos de plasticidad neuronal (p. ej., cambios neuroepigenéticos, modificaciones en conectividad sináptica), permiten la configuración inicial y reconfiguración –momento a momento– de la experiencia subjetiva. Maturana y Varela denominaron este proceso “autopoiesis” refiriéndose al desarrollo no lineal de los organismos que permite su reorganización y reproducción de acuerdo a las contingencias ambientales.

Aunque el “problema mente-cerebro” continúa sin resolverse, los avances en instrumentación para medir la actividad neurofisiológica (p. ej., registros intracelulares, EEG, neuroimagen), han permitido comprender la naturaleza celular, anatómica y fisiológica del sistema nervioso y establecer aproximaciones más fehacientes sobre los sustratos neuronales y circuitos que subyacen los procesos mentales. Las técnicas de biorretroalimentación (*biofeedback*, en inglés) –incluyendo la biorretroalimentación con EEG o *neurofeedback* (NF)– permiten que registros fisiológicos como las ondas cerebrales, ritmo cardiaco y contracción muscular sean retroalimentados a una persona, posibilitando la manipulación voluntaria de la actividad fisiológica en un contexto de aprendizaje que puede ser tanto implícito como explícito. Además, contrario a ciertas mediciones fisiológicas tradicionales, la biorretroalimentación permite vincular datos obtenidos en primera persona (p. ej., sensaciones, percepciones, deseos, pensamientos, emociones) con datos obtenidos en tercera persona (p. ej., actividad neurofisiológica) en contextos de investigación, clínicos y prácticos⁽²⁰⁾.

La adopción de un enfoque de investigación para establecer vínculos entre la experiencia

subjetiva y la actividad neurofisiológica fue elaborado por Francisco Varela⁽²¹⁾ bajo el término “neurofenomenología”. En este artículo, sugerimos –como ha sido propuesto por Bagdasaryan y Le Van Quyen⁽²⁰⁾– que la utilización de las técnicas de NF desde la neurofenomenología constituye un acercamiento de investigación viable para aproximarnos al “problema duro de la conciencia”. Según estos autores⁽²⁰⁾, la propuesta de Varela no cayó en “oídos sordos” a juzgar por estudios recientes que combinan datos neurofisiológicos con las narrativas subjetivas de los participantes para descifrar cuáles sustratos neuronales y circuitos están involucradas en la experiencia subjetiva de cada persona. Dentro de estas investigaciones se destacan la interconexión entre procesos neurobiológicos y conceptos psicoanalíticos (neuropicoanálisis)⁽²²⁾, la interfaz entre autoinformes y neurofisiología en personas que meditan⁽²³⁾ y el estudio de los sueños lúcidos⁽²⁴⁾. Entendemos que este paradigma posibilita combinar actividad cerebral con experiencia subjetiva durante el proceso de autorregulación y explorar la capacidad dinámica de reorganización del cerebro que resulta ser relevante para la rehabilitación funcional y la optimización de funciones cognitivas.

Conocer la relación directa que existe entre cognición y emoción así como entender los mecanismos de plasticidad y adaptación del sistema nervioso, ha cambiado nuestra percepción sobre el cerebro, la mente y la conducta, permitiendo el surgimiento de nuevas investigaciones y modelos explicativos. En las próximas secciones, discutimos elementos técnicos y teóricos del NF y abundamos sobre la utilización del acercamiento neurofenomenológico en investigaciones y prácticas dentro de la neuropsicología, neurología, neurociencia cognitiva y disciplinas afines.

Fundamentos técnicos del neurofeedback

El NF es una modalidad de biorretroalimentación en la cual la actividad cerebral, registrada con EEG o resonancia magnética funcional en tiempo real (rtfMRI)⁽²⁵⁾ es retroalimentada al individuo en modalidad visual o auditiva con herramientas computacionales (p. ej., *software*, *hardware*) (figura 1). El

objetivo del adiestramiento con NF es que la persona logre autorregular o modificar su actividad neurofisiológica de manera que optimice procesos cognitivos y psicológicos.

La retroalimentación multimedia funciona como un “espejo virtual” de la actividad cerebral⁽²⁰⁾. La persona tiene que recurrir al uso de diferentes estrategias mentales (p. ej., enfoque, relajación, imaginería de colores o tonos) para manipular su estado mental (autorregulación) que se refleja como una alteración de ondas cerebrales. El sistema puede configurarse para que se utilice algún refuerzo positivo o recompensa (p. ej., puntos de juego) o refuerzo negativo (p. ej., tono o ruido desagradable) cuando la persona logra o no mantener la respuesta deseada, digamos ritmo alfa, por un periodo determinado bajo parámetros preestablecidos. La persona en adiestramiento con NF (mientras es guiada por la señal visual o auditiva) tiene la oportunidad de relacionar su experiencia consciente con cambios en actividad cerebral a medida que completa el ejercicio o sesión.

Breve trasfondo histórico y conceptual del neurofeedback

La técnica de NF tiene su origen en los trabajos pioneros de Joseph “Joe” Kamiya en la década de 1960, y posteriormente, en los estudios de M. Barry Sterman, Joel Lubar y Elmer Green. A finales de la década de 1950, Kamiya se interesó por la conciencia y la inducción de ondas o ritmo alfa (8 a 12 Hz). Utilizando un protocolo con recompensa, Kamiya descubrió que las personas con NF no sólo podían distinguir si estaban o no en alfa sino que podían alterar su actividad cerebral a partir de una serie de instrucciones⁽²⁶⁾. Además, encontró que el ritmo alfa está asociado con estados mentales de relajación, meditación, creatividad y receptividad. Los estudios de Kamiya y de otros investigadores despertaron el interés científico por las tradiciones contemplativas orientales⁽²⁷⁾ permitiendo utilizar el NF en diferentes contextos.

Estudios con animales también contribuyeron a predecir la utilidad del NF en escenarios clínicos. Las investigaciones de Sterman revelaron que

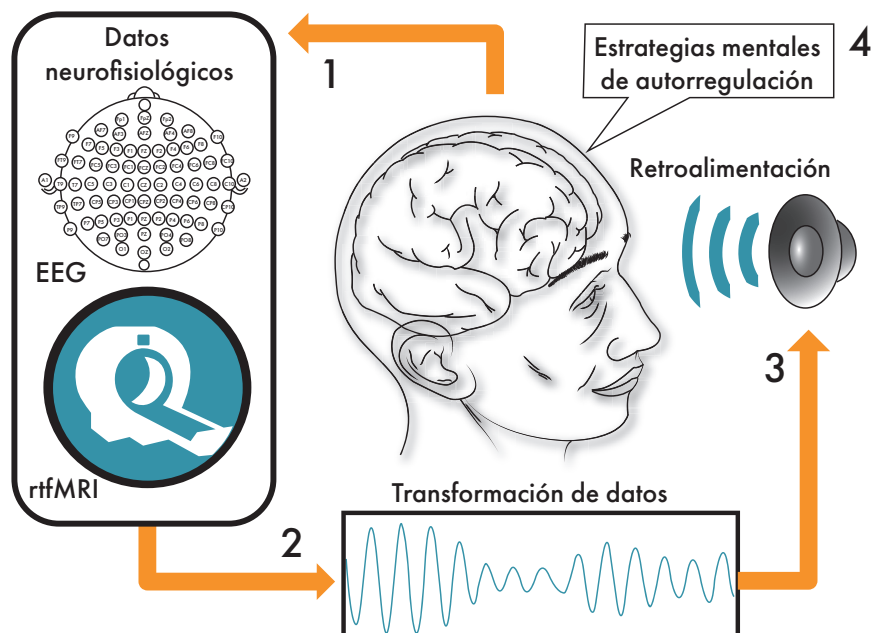


Figura 1. Descripción del neurofeedback. 1) La actividad neurofisiológica es obtenida con EEG o resonancia magnética funcional en tiempo real (rfMRI); 2) los datos son procesados y transformados por una computadora en tiempo real; 3) se presenta una señal de audio o visual (retroalimentación) a la persona de su actividad neurofisiológica; 4) la persona utiliza estrategias mentales para lograr regular o modificar la actividad neurofisiológica (nota: todas las imágenes tienen licencia para uso público).

el ritmo beta y el ritmo sensorimotor (RSM) –ambos relacionados a los estados de alerta– podían ser inducidos en gatos utilizando condicionamiento operante⁽²⁸⁾. Los gatos del estudio aprendieron a generar el RSM voluntariamente para recibir comida como recompensa. Posteriormente, la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) de EUA lo contactó para estudiar la toxicidad de un combustible. Utilizando también gatos como modelo, Sterman halló una relación entre la exposición al combustible con la aparición de náuseas, vómitos, salivación y convulsiones en casi todos los gatos, excepto en 10 animales que resultaron ser los gatos sobrantes de su estudio previo sobre RSM⁽²⁹⁾. Este hallazgo permitió establecer una relación entre el adiestramiento con NF y la autorregulación de actividad cerebral como posible método para disminuir o evitar algún síntoma negativo asociado a una condición de salud. Eventualmente, los estudios de Sterman con pacientes con epilepsia demostraron que el NF puede ser efectivo para reducir convulsiones, confirmando el beneficio clínico del NF⁽³⁰⁾.

En la década de 1970, Lubar estudió el control de la hiperactividad en niños con TDAH utilizando NF y sus investigaciones han dado paso a diferentes intervenciones con NF para niños y adultos, incluyendo el protocolo Lubar que continúa siendo utilizado en contextos terapéuticos⁽³¹⁾. Por último, Elmer Green midió la actividad cerebral de monjes budistas con EEG mientras practicaban meditación⁽³²⁾ para estudiar las habilidades de control fisiológico bajo la premisa de que la consciencia y los procesos fisiológicos involuntarios podían ser regulados. Posteriormente, el adiestramiento con NF fue utilizado para la meditación y el cultivo de la espiritualidad⁽³³⁾ lo que provocó que la técnica fuera clasificada como pseudocientífica y disminuyera su uso clínico y en investigaciones.

La influencia de la industria farmacéutica y otros intereses también afectaron la imagen del NF entre la comunidad científica⁽³⁴⁾. La medicina tradicional puso en entredicho cómo los factores psicosociales y ambientales afectaban de manera negativa la salud física y mental, formulando conceptualizaciones sobre las psicopatologías desde

la neuroquímica y la genética exclusivamente. No obstante, la adopción de modelos biopsicosociales y de medicina integrativa ha permitido incluir determinantes sociales y psicológicos como estrés, creencias y conductas de riesgo en la lista de variables capaces de modificar la susceptibilidad y probabilidad de adquirir o desarrollar alguna enfermedad física o trastorno psiquiátrico⁽³⁵⁾. Aunque el NF aplicado a la clínica es parte del modelo biomédico en tanto explora los substratos neurales asociados con un trastorno psiquiátrico o neurológico, el mismo parte de un acercamiento híbrido que intenta cerrar la fisura entre procesos biológicos y fisiológicos y procesos psicológicos y subjetivos⁽³⁶⁾. El NF requiere el rol activo de la persona, considerando que uno de sus principios es generar voluntariamente más control sobre la fisiología y fortalecer esa autorregulación con entrenamiento que una los estados mentales con actividad neurofisiológica⁽³⁷⁾.

A partir del 2000, las técnicas de NF se fortalecieron sustancialmente con el advenimiento de equipos de EEG compactos, inalámbricos, móviles y con electrodos que no necesitan gel, además de programados avanzados que facilitan su manejo y utilización en diferentes lugares y condiciones particulares. La acumulación de datos y evidencia científica sobre la efectividad del NF para condiciones de salud como el trastorno por uso de sustancias⁽³⁸⁾, trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH)⁽³⁹⁾, trastornos del espectro autista⁽⁴⁰⁾, depresión⁽⁴¹⁾, enfermedad de Parkinson⁽⁴²⁾, epilepsia⁽⁴³⁾ y el aumento en subvenciones para investigaciones con NF han permitido ubicarlo dentro del conglomerado de prácticas basadas en evidencia⁽³⁷⁾.

Modelos teóricos del *neurofeedback*

Los modelos teóricos y conceptualizaciones acerca del uso del NF en investigaciones y práctica clínica han sido ciertamente objetos de debate. Los modelos explicativos cargan consigo cómo percibimos una enfermedad o trastorno, incluyendo su etiología y los mecanismos neurales y psicológicos subyacentes que son abordados con el NF. Y es precisamente en ese contexto donde se origina

el debate sobre el uso del NF. La interpretación de los beneficios que puede tener el NF dependerá del modelo que asuma una investigación. Por ejemplo, una ventaja del entrenamiento con NF reside en los matices de su efectividad en lugar de su eficacia. En términos clínicos, eficacia se refiere a la capacidad de una sustancia (usualmente un fármaco) para producir el efecto terapéutico a través de un mecanismo de acción particular en condiciones ideales, mientras que la efectividad se refiere al uso práctico de una droga o del NF para conocer si ayuda o no a la persona o paciente que recurre a su uso⁽⁴⁴⁾. Por lo tanto, es importante discutir brevemente –a base de las revisiones de Shellenberger y Green⁽⁴⁵⁾ y Gevensleben *et al.*⁽³⁶⁾– algunos de esos modelos para entender la pertinencia de la alineación teórica cuando se utilizan las técnicas de NF.

Shellenberger y Green^(45,46) identificaron dos modelos teóricos desde los cuales la investigación con NF había sido implementada: el modelo de condicionamiento operante (MCO) y el modelo del fármaco (MF) (*drug model*).

El MCO utiliza la investigación comparativa, transfiriendo los fundamentos de la investigación en animales a la investigación con humanos. Las investigaciones utilizan estímulos (p. ej., lograr un grado de control) y refuerzos (p. ej., incentivo para generar ese control), siendo el NF un mecanismo para generar refuerzo positivo o negativo. Mientras la persona logre autorregular su actividad cerebral de acuerdo a cierto umbral, recibirá un indicador de éxito y viceversa. Por otro lado, el MF se fundamenta en la medicina farmacológica y entiende que el NF debe producir efectos específicos –fáciles de aislar– tal y como ocurre con los fármacos, controlando y eliminando el efecto placebo para alcanzar especificidad. Igualmente, el MF suponía la realización de estudios clínicos aleatorizados doble ciego con NF para discriminar entre el efecto terapéutico y el efecto placebo⁽⁴⁵⁾.

Estos dos modelos asumen que el NF tiene un poder inherente externo que produce efectos específicos, asunto que Shellenberger y Green^(45,46) catalogaron como “error de categoría”. Los instrumentos de NF no tienen poderes inherentes para producir

cambios o controlar la conducta, sino que su función es retroalimentar información neurofisiológica al individuo. Todo depende de la persona, sus expectativas y circunstancias particulares. Un segundo “error de categoría” es asumir que el condicionamiento operante, utilizado en investigaciones con animales, es transferible al aprendizaje humano porque nuestro aprendizaje depende del ambiente social, relaciones familiares, lenguaje, ideologías, motivación y particularidades psicofisiológicas que resultan ser variables difíciles de controlar. De acuerdo a Shellenberger y Green^(45,46), los dos modelos contenían errores lógicos, empíricos y metodológicos y eran posiblemente responsables de las fallas en investigación y conclusiones erradas que causaron incertidumbre y confusión entre científicos en años anteriores. En respuesta a estos modelos, Shellenberger y Green formularon el modelo de maestría o dominio (MD).

Las investigaciones basadas en el MCO y el MF proyectan una relación entre variables independientes (p. ej., refuerzo) con una variable dependiente (p. ej., autorregulación), mientras que el MD asume la autorregulación como variable independiente en la generación de cambios psicofisiológicos. Durante el ciclo de autorregulación, la información electrofisiológica es variable dependiente porque es una medida de la respuesta fisiológica y es variable independiente porque establece un parámetro fisiológico para la autorregulación. Desde esa óptica, el NF deja de ser visto como un instrumento con poder inherente para generar cambios en conducta o como un fantasma dentro de una caja^(45,46). La persona bajo NF no es un receptor de estímulos y refuerzos, sino un agente activo para generar cambios psicofisiológicos. El proceso es similar al aprendizaje de la música o de algún deporte en tanto no se espera que el educando aprenda el uso del instrumento sólo por ensayo y error. Es necesario que el educador (como también investigador o clínico), ofrezca instrucciones claras, dirección e imagería mental para facilitar ese proceso de aprendizaje hasta que la persona alcance y domine la autorregulación y, eventualmente, se produzcan cambios neurofisiológicos y cognitivos a corto, mediano y largo plazo.

Gevensleben *et al.*⁽³⁶⁾ esbozaron que la investigación con NF respondía a dos modelos principales: el

modelo de acondicionamiento y reparación (MAR) y el modelo de adquisición de destrezas (MAD).

Similar al MCO y el MF⁽⁴⁵⁾, el MAR conceptualiza el origen de los trastornos psiquiátricos en alguna disfunción cerebral, siendo el objetivo del NF reparar ese déficit⁽³⁶⁾. Dado que el modelo predice una relación directa entre un trastorno y un estado cerebral, el uso de un protocolo de NF específico para ese trastorno debería correlacionar con la optimización de procesos mentales⁽³⁶⁾. También, el MAR aborda el entrenamiento con NF desde lo que Othmer⁽⁴⁷⁾ considera un acercamiento no volitivo, en el cual la persona asume un “rol pasivo” ante la estimulación y el éxito de la intervención se logra a partir de su ejecutoría mientras alcanza una frecuencia y amplitud de onda particular. La adopción del MAR se observa en intervenciones con NF para disfunciones específicas que resultan en optimización conductual y neurofisiológica⁽⁴⁸⁾. Estudios recientes han integrado EEG cuantitativo (qEEG, en inglés) para obtener marcadores biológicos específicos y seleccionar un protocolo de adiestramiento con NF adecuado para ese caso. Este tipo de investigación clínica con NF, guiada por qEEG (*clinical biofeedback*), ha sido efectiva para el TDAH⁽⁴⁹⁾, la dislexia⁽⁵⁰⁾ y la demencia⁽⁵¹⁾.

Por otro lado, el MAD mantiene armonía con el MD porque en lugar de enfocarse en un déficit particular se centra en el esfuerzo cognitivo, intencional y consciente de la persona para autorregularse con NF y adaptarse a determinado ambiente social, familiar o laboral⁽⁵²⁾. Las percepciones, atribuciones, autoevaluación y diálogo interno de la persona juegan un papel importante en el proceso de autorregulación. Por ejemplo, Stokes y Lappin⁽⁵³⁾ realizaron un estudio con pacientes de migraña y concluyeron que aquellos que se encontraban en estrés pudieron prevenir el dolor de cabeza cuando imaginaban los “juegos” de las sesiones de NF. Por tanto, el MAD presupone que la generalización del aprendizaje se logra desde el contexto de la persona y sugiere un rol activo del sujeto en la transferencia de estrategias de autorregulación a otras circunstancias de la vida diaria.

Comentarios sobre los modelos teóricos

Las discrepancias entre los modelos antes reseña-

dos giran en torno a cómo el NF modifica la interrelación entre cerebro y mente. El adiestramiento con NF desde el MAD requiere el esfuerzo y control cognitivo de la persona y parte de una observación “de emergencia”, la cual supone que los procesos cognitivos y neurofisiológicos son una experiencia unificada. Desde esa óptica, el adiestramiento con NF asume ambas direcciones: la cognitiva y la neurofisiológica⁽³⁶⁾. En contraste, el MAR se sostiene desde la visión ontológica y epistemológica de la biomedicina porque visualiza el NF como una herramienta de reparación a través del aprendizaje implícito, asumiendo una relación causal y unidireccional entre cerebro y mente.

Según Shellenberger y Green⁽⁴⁵⁾, asumir diferentes marcos o modelos teóricos generó confusión sobre qué es la biorretroalimentación en términos generales. Diferentes estudios han definido biorretroalimentación como un “acondicionador” del sistema nervioso, como sinónimo de “condicionamiento operante”, como técnica para reducir el estrés, como terapia psicofisiológica y, finalmente, como un “tratamiento” para diferentes condiciones de salud física y mental⁽⁴⁵⁾. Shellenberger y Green puntualizaron que las técnicas de biorretroalimentación no son “tratamientos” y que la esencia de la biorretroalimentación radica en la autorregulación.

La autorregulación de actividad de regiones específicas del cerebro con NF ha sido explorada en investigaciones recientes. En un estudio con *rt-fMRI*, Zotev *et al.*⁽⁵⁴⁾ exploraron la autorregulación de actividad en la amígdala izquierda mientras los participantes recordaban información autobiográfica positiva. Interesantemente, los investigadores encontraron que la autorregulación de la amígdala no sólo tuvo efecto significativo en esa región, sino en su conectividad funcional con la corteza medial frontal derecha, corteza prefrontal dorsomedial, corteza cingulada anterior izquierda y giro frontal superior⁽⁵⁴⁾. En otro estudio con NF, Cannon *et al.*⁽⁵⁵⁾ intentaron inducir el RSM en la corteza cingulada anterior derecha y encontraron que la modulación de onda afectó la actividad de otras regiones del cerebro, a saber: las áreas de Brodmann 6, 9 y 19 (p. ej., corteza prefrontal y occipital), el hipocampo y la corteza orbitofrontal⁽⁵⁵⁾. Estos resultados sugieren

que la autorregulación con NF de regiones particulares puede inducir cambios plásticos específicos como también modificar la conectividad de circuitos neurales complejos.

Por otro lado, asumiendo la lógica del MAR en el cual el NF actúa como restaurador de un déficit, se ha observado que el NF opera desde factores precipitantes y no necesariamente desde la especificidad del déficit. Por ejemplo, un estudio con NF para tratar síntomas del TDAH en adultos⁽⁵⁶⁾ encontró que el adiestramiento para modular el RSM y autorregular la actividad *theta*/beta puede reducir la latencia del inicio de sueño y disminuir problemas de sueño, redundando en mayor atención y vigilancia. En ese caso, el adiestramiento con NF actuó como moderador del TDAH mediante cambios en los patrones de sueño.

En síntesis, es imperativo para investigadores, clínicos y otros profesionales de la salud mental, evaluar el posicionamiento teórico y pragmático cuando se realiza trabajo con biorretroalimentación o NF porque los objetivos, hipótesis e interpretación de resultados pueden variar de acuerdo a la postura que se haya asumido.

Introneuroimagen y neurofeedback desde la neurofenomenología

Tanto el acercamiento neuropsicológico (ANP) como el acercamiento psicofisiológico (APF) han sido utilizados históricamente para estudiar la relación entre estructura cerebral y procesos cognitivos⁽⁵⁷⁾. El ANP asume las estructuras y lesiones cerebrales como variable independiente y la medición neuropsicológica como variable dependiente. Por otro lado, el APF es mayormente utilizado en estudios con personas saludables y analiza procesos cognitivos (variable independiente) correspondientes a la actividad neurofisiológica (variable dependiente)⁽⁵⁷⁾. No obstante, ambos acercamientos requieren de un constructo intermediario “externo” –impuesto por el investigador mediante una tarea o ejercicio cognitivo– que medie la relación entre variables⁽⁵⁷⁾. Cualquier otro proceso cognitivo que rebase los límites preestablecidos de ese constructo no es abordado porque sólo se consideran los procesos cognitivos bajo estudio.

El NF asume un acercamiento diferente en tanto el constructo teórico para estudiar los procesos cognitivos no se encuentra bajo un control externo sino bajo el control “interno” de la persona. El proceso cognitivo no está predefinido por una tarea cognitiva diseñada para validar ese constructo porque el proceso es realizado por la misma persona que intenta modificar su actividad neurofisiológica mientras recibe retroalimentación. Es decir, la persona percibe fenomenológicamente determinado proceso o procesos mentales a la vez que monitorea simultáneamente la actividad neurofisiológica subyacente. Este fenómeno de introspección subjetiva es lo que deCharms cataloga como “introneuroimagen”⁽⁵⁸⁾, un concepto afín con la neurofenomenología de Varela⁽²¹⁾ como método para resolver el “problema duro de la conciencia” y cerrar la “brecha explicativa”.

Según indicamos, la neurofenomenología propone combinar información subjetiva en primera persona con información neurofisiológica en tercera persona⁽²¹⁾ y el NF permite relacionar la experiencia subjetiva con actividad neural de forma continua en tiempo real⁽²⁰⁾. La persona bajo NF puede monitorear sus procesos mentales y evaluar cambios en su experiencia personal a partir de la actividad cerebral retroalimentada, generando así una relación bidireccional entre subjetividad e información neurofisiológica. La autoevaluación de estrategias utilizadas por cada persona (p. ej., recordar un suceso específico, imaginar un lugar, enfocarse en la respiración) es clave en el adiestramiento con NF porque permite que la persona asocie sus estrategias con su nivel de concentración, estrés, distracción, conciencia y autorregulación⁽²⁰⁾, de modo que pueda entrelazar cambios en cognición con cambios en actividad cerebral y viceversa.

El uso del NF desde el acercamiento neurofenomenológico (NF-NF) fue utilizado por Garrison *et al.*⁽²³⁾ para obtener información sobre la experiencia subjetiva de personas que meditan y su relación con la actividad de la corteza cingulada posterior (CCP), utilizando autoinformes y rtfMRI. La activación de la CCP se asocia con divagación mental (*mind wandering*)⁽⁵⁹⁾, pensamiento autorreferencial y contemplación futura, mientras que la

inactivación de la CCP se observa durante prácticas de meditación y concentración⁽⁶⁰⁾. Garrison *et al.*⁽²³⁾ solicitaron a los participantes que describieran sus experiencias durante la meditación para codificarlas, generar categorías y explorar su correspondencia con la actividad de la CCP. Los investigadores encontraron que los códigos y categorías de experiencias subjetivas como “consciencia sin distracción” (*undistracted awareness*), “ejecutoria sin esfuerzo” (*effortless doing*), “concentración” y “observación de la experiencia sensorial” coincidieron con la inactivación de la CCP en los participantes, mientras que las experiencias subjetivas asociadas con “consciencia distraída” (*distracted awareness*), “control” y “distracción” fueron asociadas con la activación de la CCP⁽²³⁾.

Los resultados de ese estudio fueron consistentes con otros hallazgos⁽⁶¹⁾ y demuestran la factibilidad del uso combinado de autoinformes y datos neurofisiológicos para generar hipótesis neurofenomenológicas –sustentadas empíricamente– sobre la relación entre procesos mentales y actividad cerebral⁽²³⁾. A pesar de los datos obtenidos, no podemos perder de perspectiva que esta investigación con NF-NF no muestra alguna relación causal ni direccional entre las experiencias subjetivas descritas por los participantes y la actividad de la CCP. Los hallazgos tampoco sugieren que eliminemos o reemplacemos el ANP y el APF por otros acercamientos, pero demuestran la utilidad de este marco teórico y metodológico para estudios futuros dentro de la neuropsicología y neurociencia cognitiva que contemplen este tipo de preguntas e hipótesis.

Discusión y perspectivas futuras

Presentamos en este artículo la necesidad de conceptualizar un acercamiento de investigación y clínico que sirva para unificar datos objetivos y subjetivos⁽⁶²⁾ con el objetivo de entender mejor la relación entre cerebro y procesos mentales, haciendo eco a lo esbozado por filósofos y neurocientíficos en las últimas décadas. El NF, en tanto permite que una persona autorregule su actividad cerebral y modifique procesos cognitivos, se presenta como posible “puente” entre la neurociencia y fenomenología⁽²⁰⁾. La dimensión de tiempo real y ventajas técnicas del

NF facilitan la integración de datos e interpretación del interfaz entre lo mental y lo cerebral. La neurofenomenología –según propuesta por Varela– resulta ser un acercamiento con potencial para adelantar esa propuesta. Desde esa óptica, el NF-NF se constituye como una aproximación “autopoiética” en la cual la persona autorregula su función neural y cognitiva a través de su interacción subjetiva con el ambiente inmediato y expone una faz más compleja, pero realista, de la relación cerebro-mente. No obstante, es importante mantener en perspectiva algunas de las limitaciones inherentes y retos de la obtención de datos en primera persona dentro de este acercamiento. En tanto muchas de estas limitaciones ya han sido considerablemente discutidas por otros⁽⁶³⁻⁶⁶⁾, resaltamos solo algunas en los siguientes párrafos.

Primero, la inserción de reportes en primera persona dentro de contextos experimentales es un desafío metodológico porque los autoinformes pueden ser imprecisos y sesgados y porque el proceso de generar datos en primera persona sobre una experiencia determinada puede modificar la experiencia misma. Además, existe una “brecha explicativa” sobre cómo fusionar datos fenomenológicos en primera persona con información neurofisiológica y conductual^(64,65). Según Bagdasaryan y Le Van Quyen⁽²⁰⁾ estas limitaciones particulares se complican si consideramos la resolución temporal de eventos neurales (milisegundos) *versus* la memoria y el pensamiento (segundos). La integración de información cualitativa y cuantitativa bajo esta configuración sólo puede realizarse con posterioridad. Estos procedimientos también pueden generar ambigüedad y sesgo sobre todo durante la recopilación, análisis e interpretación de los resultados. Por lo tanto, el uso de cuestionarios detallados, diarios reflexivos, técnicas sencillas de meditación y entrevistas a profundidad son recomendables para la obtención de datos en primera persona^(20,63). Segundo, es necesario considerar las características inherentes de la población del estudio de acuerdo a la pregunta u objetivo. Por ejemplo, en la investigación de Garrison *et al.*,⁽²³⁾ los participantes eran meditadores

experimentados, lo cual les permitía ofrecer información valiosa sobre su experiencia subjetiva asociada a la actividad del CCP en ese contexto de meditación. Estudios con niños o ancianos podrían confrontar dificultades en la recopilación de datos en primera persona incluyendo la cantidad y calidad de la información.

No es nuestro objetivo que el NF-NF sea visto como la única alternativa para intentar solucionar el “problema duro de la consciencia” o cerrar la “brecha explicativa”. Tampoco pretendemos que se convierta en sustituto o suplente de los acercamientos de investigación básica y clínica tradicionalmente realizados desde la neuropsicología y ciencias cognitivas. Más bien consideramos que este acercamiento, con sus virtudes y defectos, podría ser beneficioso para la investigación neuropsicológica porque explora de manera diferente la relación entre cerebro y procesos mentales y posibilita el desarrollo de investigaciones e intervenciones de rehabilitación neurocognitiva. Aun siendo utilizado como “tratamiento” o instrumento neurocomportamental para atender un déficit cognitivo, el NF promete ser una alternativa efectiva y no invasiva para contrarrestar ese tipo de deficiencia y potenciar igualmente la resiliencia psicológica y biológica en las personas que lo utilizan.

Como comentario final, las transformaciones conceptuales e innovaciones metodológicas del NF y el acercamiento neurofenomenológico, invitan a reflexionar sobre los trabajos clásicos de James y Wundt. Hace más de 100 años, William James resaltó la importancia de la “observación introspectiva” en las ciencias⁽⁶⁷⁾, asunto que los científicos hemos dejado prácticamente afuera a raíz de las diferencias epistemológicas y metodológicas sobre la experiencia subjetiva y la “objetividad” en el estudio del cerebro y la mente. Empero, los intereses de James, Wundt y otros en la consciencia, introspección, meditación, imaginación y creatividad como fenómenos inherentes del sistema nervioso vuelven a tener relevancia en la contemporaneidad. Recae entonces sobre nosotros asumir o no ese trabajo.

Financiamiento

Esta publicación recibió apoyo del *National Institute on Minority Health and Health Disparities* (NIMHD) y el *National Institute of Allergy and Infectious Diseases, National Institutes of Health* (EUA) (subvención U54MD007587); y del Fondo Institucional para Investigación y Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras.

Reconocimientos

Agradecemos a los colegas Yarimar Rosa-Rodríguez, Ph.D. y Giovanni Tirado-Santiago, Ph.D. (Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras) y Wilmar F. Pineda-Alhucema, M.S. (Universidad Simón Bolívar) por sus comentarios y recomendaciones.

Declaración de intereses

Declaramos que no tenemos relación financiera y personal con otras personas, organizaciones o entidades que pudieran influir en este artículo.

REFERENCIAS

1. Agnati LF, Genedani S, Leo G, Rivera A, Guidolin D, Fuxe K. One century of progress in neuroscience founded on Golgi and Cajal's outstanding experimental and theoretical contributions. *Brain Research Reviews*. 2007;55(1):167–89.
2. De Carlos JA, Borrell J. A historical reflection of the contributions of Cajal and Golgi to the foundations of neuroscience. *Brain Research Reviews*. 2007;55(1):8–16.
3. Martín-Rodríguez JF, Cardoso-Pereira N, Bonifácio V, Barroso y Martín JM. La Década del Cerebro (1990-2000): algunas aportaciones. *Revista Española de Neuropsicología*. 2004;6(3–4):131–70.
4. Nagel T. What Is It Like to Be a Bat? *Philosophical Review*. 1974;83(4):435–50.
5. Levine J. On leaving out what it's like. In: Davies M, Humphreys GW, editors. *Consciousness: Psychological and Philosophical Essays*. Oxford: Basil Blackwell; 1993. p. 121–36.
6. Damasio AR. *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. Quill; 1994.
7. Chalmers DJ. Facing up to the problem of consciousness. *Journal of Conscious Studies*. 1995;2(3):200–19.
8. LeDoux JE. *The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life*. New York, NY: Simon & Schuster; 1996.
9. Maturana HR, Varela FJ. *De Máquinas y Seres Vivos: Autopoiesis, La Organización De Lo Vivo*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria S.A.; 1994.
10. Panksepp J. The periconscious substrates of consciousness: Affective states and the evolutionary origins of the self. *Journal of Consciousness Studies*. 1998;5:566–82.
11. Panksepp J, Asma S, Curran G, Gabriel R, Greif T. A synopsis of affective neuroscience - Naturalizing the mammalian mind. *Journal of Consciousness Studies*. 2012;19(4):6–48.
12. Damasio AR. *The Feeling of What Happens: Body and Emotion in the Making of Consciousness*. New York, NY: Harcourt Brace & Co.; 1999.
13. Parvizi J, Damasio A. Consciousness and the brainstem. *Cognition*. 2001;79(1–2):135–60.
14. Hameroff S, Penrose R. Consciousness in the universe A review of the "Orch OR" theory. *Physics of Life Reviews*. 2014;11:39–78.
15. Mason L, Peters E, Williams SC, Kumari V. Brain connectivity changes occurring following cognitive behavioural therapy for psychosis predict long-term recovery. *Translational Psychiatry*. 2017;7(1):e1001.
16. Jacoby N, McDermott J. Integer ratio priors on musical rhythm revealed cross-culturally by iterated reproduction. *Current Biology*. 2017;27(3):359–70.
17. Quarto T, Fasano MC, Taurisano P, Fazio L, Antonucci LA, Gelao B, et al. Interaction between DRD2 variation and sound environment on mood and emotion-related brain activity. *Neuroscience*. 2017;341:9–17.

18. Hölzel BK, Carmody J, Vangel M, Congleton C, Yerramsetti SM, Gard T, et al. Mindfulness practice leads to increases in regional brain gray matter density. *Psychiatry Research*. 2011;191(1):36–43.
19. Mayer EA, Knight R, Mazmanian SK, Cryan JF, Tillisch K. Gut microbes and the brain: Paradigm shift in neuroscience. *Journal of Neuroscience*. 2014;34(46):15490–6.
20. Bagdasaryan J, Le Van Quyen M. Experiencing your brain: Neurofeedback as a new bridge between neuroscience and phenomenology. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013;7:680.
21. Varela FJ. Neurophenomenology: A methodological remedy for the hard problem. *Journal of Consciousness Studies*. 1996;3(4):330–49.
22. Salone A, Di Giacinto A, Lai C, De Berardis D, Iasevoli F, Fornaro M, et al. The interface between Neuroscience and Neuro-Psychoanalysis: focus on brain connectivity. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2016;10:20.
23. Garrison K, Santoyo JF, Davis JH, Thornhill TA, Kerr CE, Brewer JA. Effortless awareness: using real time neurofeedback to investigate correlates of posterior cingulate cortex activity in meditators' self-report. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013;7:440.
24. Hobson A. The neurobiology of consciousness: lucid dreaming wakes up. *International Journal of Dream Research*. 2009;2(2):41–4.
25. Zotev V, Phillips R, Yuan H, Misaki M, Bodurka J. Self-regulation of human brain activity using simultaneous real-time fMRI and EEG neurofeedback. *Neuroimage*. 2014;85(3):985–95.
26. Kamiya J. Conscious control of brain waves. *Psychology Today*. 1968;1:57–60.
27. Brandmeyer T, Delorme A. Meditation and neurofeedback. *Frontiers in Psychology*. 2013;4:688.
28. Roth SR, Serman MB, Clemente CD. Comparison of EEG correlates of reinforcement, internal inhibition and sleep. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1967;23(6):509–20.
29. Serman MB, Egnér T. Foundation and practice of neurofeedback for the treatment of epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2006;31(1):21–35.
30. Serman MB. Sensorimotor EEG operant conditioning: experimental and clinical effects. *Pavlovian Journal of Biological Science*. 1977;12(2):63–92.
31. Lubar JF. Neurofeedback for the management of attention-deficit/hyperactivity disorders. In: Schwarz M, editor. *Biofeedback: A Practitioner's Guide*. New York, NY: Guilford Press; 1995. p. 493–522.
32. Green E, Green A. *Beyond Biofeedback*. New York, NY: Knoll Publishing Co.; 1977.
33. Moss D. Biofeedback, Mind-body Medicine, and the Higher Limits of Human Nature. In: Moss D, editor. *Humanistic and Transpersonal Psychology: A Historical and Biographical Sourcebook*. Westport, CT: Greenwood Press; 1999. p. 145–61.
34. Trocki K. Is there an anti-neurofeedback conspiracy? *Journal of Addictions Nursing*. 2006;17(4):199–202.
35. Braveman P, Gottlieb L. The social determinants of health: it's time to consider the causes of the causes. *Public Health Reports*. 2014;129(2):19–31.
36. Gevensleben H, Moll GH, Rothenberger A, Heinrich H. Neurofeedback in attention-deficit/hyperactivity disorder – different models, different ways of application. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014;8:846.
37. Yucha C, Montgomery D. *Evidence-Based Practice in Biofeedback and Neurofeedback*. Wheat Ridge, CO: Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback; 2008.
38. Unterrainer H, Lewis A, Gruzeliér J. EEG-Neurofeedback in psychodynamic treatment of substance dependence. *Frontiers in Psychology*. 2013;4:692.
39. Meisel V, Servera M, Garcia-Banda G, Cardo E, Moreno I. Neurofeedback and standard pharmacological intervention in ADHD: a randomized controlled trial with six-month follow-up. *Biological Psychology*. 2013;94(1):12–21.
40. Pineda J, Brang D, Hecht E, Edwards L, Carey S, M B, et al. Positive behavioral and electrophysiological changes following neurofeedback training in children with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*. 2008;2(3):557–81.
41. Choi S, Chi S, Chung S, Kim J, Ahn C, Kim H. Is alpha wave neurofeedback effective with randomized clinical trials in depression? A pilot study. *Neuropsychobiology*. 2011;63(1):43–51.

42. Subramanian L, Hindle J V., Johnston S, Roberts M V., Husain M, Goebel R, et al. Real-time functional magnetic resonance imaging neurofeedback for treatment of Parkinson's Disease. *Journal of Neuroscience*. 2011;31(45):16309–17.
43. Koberda JL. Application of Z-score LORETA neuro-feedback in therapy of epilepsy. *Journal of Neurology and Neurobiology*. 2015;1(1):1–2.
44. Rabipour S, Raz A. Training the brain: fact and fad in cognitive and behavioral remediation. *Brain and Cognition*. 2012;79(2):159–79.
45. Shellenberger R, Green J. Specific effects and biofeedback versus biofeedback-assisted self-regulation training. *Biofeedback and Self-Regulation*. 1987;12(3):185–209.
46. Shellenberger R, Green JA. *From the Ghost in the Box to Successful Biofeedback Training*. Health Psychology Publications; 1986.
47. Othmer S. Neuromodulation Technologies: An Attempt at Classification. In: Budzynski T, Budzynski H, Evans JR, Abarbanel A, editors. *Introduction to Quantitative EEG and Neurofeedback: Advanced Theory and Applications*. New York, NY: Academic Press; 2009. p. 1–27.
48. Wigton N, Krigbaum G. A review of qEEG-guided neurofeedback. *NeuroRegulation*. 2015;2(3):149–55.
49. Arns M, Drinkenburg W, Leon Kenemans J. The effects of QEEG-informed neurofeedback in ADHD: an open-label pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2012;37(3):171–80.
50. Breteler MHM, Arns M, Peters S, Giepman I, Verhoeven L. Improvements in spelling after QEEG-based neurofeedback in dyslexia: a randomized controlled treatment study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2010;35(1):5–11.
51. Surmeli T, Eralp E, Mustafazade I, Kos H, Özer GE, Surmeli OH. Quantitative EEG neurometric analysis-guided neurofeedback treatment in dementia: 20 cases. How neurometric analysis is important for the treatment of dementia and as a biomarker? *Clinical EEG and Neuroscience*. 2015;47(2):118–33.
52. Meichenbaum D. Cognitive factors in biofeedback therapy. *Biofeedback and Self-Regulation*. 1976 Jun;1(2):201–16.
53. Stokes DA, Lappin MS. Neurofeedback and biofeedback with 37 migraineurs: a clinical outcome study. *Behavioral and Brain Functions*. 2010;6:9.
54. Zotev V, Krueger F, Phillips R, Alvarez RP, Simmons WK, Bellgowan P, et al. Self-regulation of amygdala activation using real-time fMRI neurofeedback. *PLoS ONE*. 2011;6(9):e24522.
55. Cannon R, Lubar J, Sokhadze E, Baldwin D. LORETA Neurofeedback for addiction and the possible neurophysiology of psychological processes influenced: A case study and region of interest analysis of LORETA Neurofeedback in right anterior cingulate cortex. *Journal of Neurotherapy*. 2008 Dec;12(4):227–41.
56. Arns M, Feddema I, Kenemans J. Differential effects of theta/beta and SMR neurofeedback in ADHD on sleep onset latency. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014;8:1019.
57. Micoulaud-Franchi JA, Quiles C, Fond G, Cermolacce M, Vion-Dury J. The covariation of independent and dependant variables in neurofeedback: A proposal framework to identify cognitive processes and brain activity variables. *Consciousness and Cognition*. 2014;26(1):162–8.
58. DeCharms CR. Applications of real-time fMRI. *Nature Reviews Neuroscience*. 2008;9(9):720–9.
59. Mason MF, Norton MI, Van Horn JD, Wegner DM, Grafton ST, Macrae CN. Wandering minds: the default network and stimulus-independent thought. *Science*. 2007;315(5810):393–5.
60. Brewer JA, Garrison KA, Whitfield-Gabrieli S. What about the "self" is processed in the posterior cingulate cortex? *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013;7:647.
61. Garrison KA, Scheinost D, Worhunsky PD, Elwafi HM, Thornhill IV TA, Thompson E, et al. Real-time fMRI links subjective experience with brain activity during focused attention. *Neuroimage*. 2013;81:110–8.
62. Northoff G, Heinzl A. First-Person Neuroscience: A new methodological approach for linking mental and neuronal states. *Philosophy, Ethics, and Humanities in Medicine*. 2006;1(3).
63. Bockelman P, Reinerman-Jones L, Gallagher S. Methodological lessons in neurophenomenology: review of a baseline study and recommendations for research approaches. *Frontiers in Human*

- Neuroscience. 2013;7:608.
64. Markič O. First- and third-person approaches: the problem of integration. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*. 2012;10(3):213–22.
 65. Lutz A, Thompson E. Neurophenomenology. *Journal of Consciousness Studies*. 2003;(9):31–52.
 66. Petitmengin C, Lachaux J-P. Microcognitive science: bridging experiential and neuronal microdynamics. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2013;7:617.
 67. Fox KCR, Zakarauskas P, Dixon M, Ellamil M, Thompson E, Christoff K. Meditation Experience Predicts Introspective Accuracy. *PLoS ONE*. 2012;7(9):e45370.