



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

**¿PUEDEN LAS BASES NEURONALES DE LA CONSCIENCIA
EXTENDERSE MEDIANTE LA INTERACCIÓN? DE LA SINCRONÍA
INTRA A LA INTER CEREBRAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN PSICOLOGÍA

PRESENTA

ANA LUCÍA VALENCIA ZAMBRANO

COMITÉ SINODAL:

DR. TOM FROESE

DIRECTOR

DR. RODOLFO SOLÍS VIVANCO

REVISOR

DRA. ALEJANDRA EVELYN RUIZ CONTRERAS

DR. JAIRO MUÑOZ DELGADO

DRA. ZEIDY MUÑOZ TORRES

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., ENERO 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi abuela.

Quiero agradecer a:

Tom Froese, por su guía, impulso y apoyo constante.

Rodolfo Solís, por sus clases, que me adentraron al maravilloso mundo de las oscilaciones y me motivaron a buscar entender su relación con la consciencia.

Itzel y Caro A., por ser muérganos en la vida y en la ciencia.

Mariana, Ale y Caro, por compartir el camino.

Mi mamá, por la curiosidad heredada de entender la mente humana y por transmitirme el amor a siempre seguir aprendiendo.

Mi papá, por las pláticas, cuestionamientos y por leer incansablemente mis palabras.

Índice

| | |
|--|------------|
| Resumen | 7 |
| Introducción | 8 |
| Capítulo 1. Integración neuronal intracerebral | 16 |
| 1.1 Oscilaciones, sincronización e integración | 17 |
| 1.2 Oscilaciones y consciencia | 20 |
| 1.3 Oscilaciones y medio ambiente | 26 |
| Capítulo 2. De uno a dos cerebros: hiperescaneo y sincronización intercerebral | 29 |
| 2.1 ¿Qué es el hiperescaneo? | 32 |
| 2.1.1 Hiperescaneo EEG | 35 |
| 2.2 Papel funcional de la sincronización intercerebral | 39 |
| Capítulo 3. Interacción social y sincronización intercerebral: revisión de estudios de hiperescaneo EEG | 42 |
| 3.1 Sincronización intercerebral bajo distintos paradigmas de interacción social | 44 |
| 3.2 Sincronización intercerebral al ser parte de un mismo equipo | 61 |
| 3.3 Sincronización intercerebral y consciencia: experiencias subjetivas de cercanía social | 69 |
| Capítulo 4. ¿Consciencia individual? Debates en torno a la extensión de la consciencia | 96 |
| 4.1 Enactivismo | 97 |
| 4.2 Cognición extendida | 102 |
| 4.3 ¿Consciencia extendida? | 104 |
| 4.4 Cuestionando preconcepciones en torno a la consciencia | 109 |
| Capítulo 5. Propuesta experimental: evaluando la extensión de la consciencia | 115 |
| 5.1 Planteamiento del problema | 115 |
| 5.2 Justificación | 117 |

| | |
|---|------------|
| 5.3 Preguntas de investigación | 119 |
| 5.4 Objetivos | 120 |
| 5.5 Hipótesis | 121 |
| 5.6 Método | 122 |
| 5.6.1 Participantes | 122 |
| 5.6.2 Paradigma experimental | 123 |
| 5.6.3 Montaje EEG y adquisición de datos | 126 |
| 5.6.4 Delimitación de las variables de estudio | 127 |
| 5.7 Preprocesamiento EEG y análisis estadístico | 128 |
| 5.7.1 Análisis estadístico | 129 |
| Discusión | 132 |
| Conclusión | 139 |
| Referencias | 141 |

Resumen

La asociación entre las oscilaciones neuronales y la integración funcional en el cerebro es altamente reconocida en el estudio de la cognición humana. La sincronización oscilatoria a gran escala también se ha propuesto como la base neuronal de la consciencia. Resulta interesante, entonces, que un creciente número de estudios en neurociencia social cognitiva muestran que la sincronización de fase emerge entre cerebros durante la interacción social significativa. Esta sincronización intercerebral se asocia con reportes subjetivos de conexión social, *engagement* y cooperatividad, así como con experiencias de cohesión social y con una menor distinción de la identidad *yo-otro*. Estos hallazgos desafían la definición estándar de la consciencia humana como necesariamente privada, singular y experimentada en todo momento en primera persona. En este trabajo reviso la controversia reciente en torno a la posibilidad de una consciencia extendida y argumento que la evidencia de sincronización intercerebral puede superar a la postura escéptica más prevalente hasta el momento, postulada por Clark. De resultar cierta esta propuesta, nuestra definición de la consciencia humana se vería necesariamente transformada. Propongo un método experimental para poner esto a prueba.

Palabras clave: sincronización neuronal, hiperescaneo, electroencefalografía, EEG, interacción social, mente humana, consciencia.

Introducción

A lo largo de la historia del estudio científico de la consciencia, la experiencia fenomenológica y sus bases neuronales han sido exploradas casi exclusivamente a nivel individual y singular; es decir, en cerebros aislados y tomando en cuenta la fenomenología de una sola persona a la vez (desde la perspectiva del yo (Zahavi, 2015)). Se ha prestado mucho menos atención a experiencias y dinámicas neuronales compartidas, emergentes del proceso de interacción mismo. Sin embargo, sabemos que gran parte de lo que nos hace seres humanos es que somos, en esencia, seres sociales.

Afortunadamente, dentro de la neurociencia social cognitiva comienza una transición hacia aproximaciones participativas, enactivas¹ y encarnadas (i.e., que toman al cuerpo como parte fundamental de la mente), dejando detrás el estudio de cerebros individuales en exclusiva y enfocándose en la interacción de una persona con su medio ambiente. Dentro del contexto de la cognición social, una aproximación en ‘segunda persona’ ha ganado popularidad (Dumas, 2011; Hari et al., 2013; Hari & Kujala, 2009; Hasson et al., 2012; Redcay & Schilbach, 2019; Schilbach et al., 2013). Ésta enfatiza la naturaleza interactiva de la cognición humana (Szymanski, Pesquita, et al., 2017; Varela et al., 2016) e incluso cuestiona la noción individualista de la experiencia (Dumas, 2011; Froese,

¹ *Enactive*, en inglés. La palabra *enactive* se deriva del verbo *enact* (*enactuar*, en español) y quiere decir que se actúa, se lleva a cabo. "Enactiva" es una etiqueta utilizada para apelar a la manipulación activa necesaria para la cognición: "la cognición es algo que producimos por el acto de manipular, (...) es el principio fundacional de lo que es la mente. (...) Esto implica una profunda co-implicación, una co-determinación entre lo que parece estar afuera y lo que parece estar adentro. En otras palabras, el mundo ahí afuera y lo que hago para estar en ese mundo son inseparables. El proceso los vuelve totalmente interdependientes" (Varela, 2000). La mente, entonces, no sólo surge de procesos neuronales sino también de aquello que un organismo hace. Varela toma prestadas las palabras del poeta español Antonio Machado para describir a la *enacción* como el "hacer el camino al andar".

2018; Hari & Kujala, 2009; Kirchhoff, 2014; Kirchhoff & Kiverstein, 2019; Thompson, 2001; Torrance, 2009).

Gracias a estas aproximaciones, se ha creado un espacio para que las neurociencias aborden de manera experimental el rol constitutivo que las relaciones cerebro a cerebro pueden tener en la mente humana durante interacciones en tiempo real (Dumas, 2011; Hari & Kujala, 2009; Hasson et al., 2012; Redcay & Schilbach, 2019). Asimismo, tienen el potencial de poner a prueba sustentos teóricos relacionados con intersubjetividad fenomenológica (Froese & Fuchs, 2012) e intencionalidad colectiva (Searle, 1990; Zahavi, 2015), e incluso de reformar nuestras definiciones actuales de consciencia (Dumas, 2011; Torrance, 2009), que, desde una postura internalista, la describen como esencialmente privada y localizada dentro del cerebro (Clark, 2013).

No obstante, existe resistencia notable ante la transición hacia este territorio desconocido. Incluso el principal proponente de la hipótesis de la *cognición extendida*, quien argumenta que los procesos cognitivos pueden, en ocasiones, incluir elementos de –e interacciones con– el ambiente en el que un individuo está situado, se ha mantenido escéptico sobre si esta hipótesis puede ser generalizada a la *consciencia extendida* (Clark, 2009). Para este autor, el argumento más convincente a favor de la consciencia extendida apelaría a un acoplamiento dinámico con una marca temporal específica, el cual está basado en una clase popular de teorías de la consciencia que requieren procesos precisos de coordinación temporal para unificar la actividad neuronal significativa. No obstante, señala una falta de evidencia de que estos procesos operen

fuera del sistema nervioso de un individuo, por lo que concluye que la consciencia extendida está, “en el mejor de los casos, no comprobada” y que “la maquinaria de la experiencia consciente se encuentra, probablemente, por completo dentro de la cabeza” (Clark, 2009, p. 987, traducción propia).

Una década después de esta valoración influyente, se ha vuelto claro que la evidencia actual en neurociencia social cognitiva supone una conclusión más optimista, con implicaciones potencialmente trascendentales sobre lo que significa ser un ser humano.

Estudios conductuales dentro de la psicología han demostrado consistentemente que la sincronía durante la acción conjunta (como mecerse, marchar, caminar o bailar) promueve la cooperación e incrementa la empatía, afinidad, *rapport* y conducta prosocial (Hari & Kujala, 2009; Hove & Risen, 2009; Mogan et al., 2017; Valdesolo et al., 2010; Valdesolo & DeSteno, 2011; Wiltermuth & Heath, 2009). A partir de dichos estudios, fue sugerido que dinámicas de acoplamiento neuronal podrían jugar un papel importante en la emergencia de esta sincronía interactiva (Dumas et al., 2011; Hasson et al., 2012; Wilson & Wilson, 2005).

Una limitante durante muchos años fue que sólo era registrado el cerebro de un participante a la vez dentro de un grupo o diada en una interacción, o, más sorprendente aún, los paradigmas estaban limitados a situaciones de observación y recepción pasiva de estímulos de carácter social, por lo que cualquier fenómeno emergente durante la interacción real y recíproca quedaba oculto (Czeszumski et al., 2020; Dumas, 2011;

Hasson et al., 2012). Ante esta problemática, Montague y colaboradores desarrollaron la técnica de hiperescaneo (Montague et al., 2002), la cual consiste en el registro simultáneo de la actividad cerebral de dos o más sujetos interactuando en una tarea cognitiva o motora, permitiendo el registro y análisis de dinámicas intercerebrales (Babiloni & Astolfi, 2014; Czeszumski et al., 2020). Como bien apuntaron en su artículo, “estudiar interacciones sociales mediante el registro cerebral de una sola persona es comparable con querer estudiar la sinapsis observando la neurona presináptica por un lado y la postsináptica por el otro, pero nunca ambas al mismo tiempo” (Montague et al., 2002, p. 1160, traducción propia).

Así, a través de resonancia magnética funcional (RMf), espectroscopía funcional del infrarrojo cercano (fNIRS, por sus siglas en inglés), electroencefalografía (EEG) y magnetoencefalografía (MEG), los paradigmas de hiperescaneo comenzaron a registrar la actividad cerebral de dos o más individuos simultáneamente, permitiendo la evaluación de la actividad neuronal *intra e intercerebral* durante una interacción social en tiempo real (Babiloni & Astolfi, 2014; Czeszumski et al., 2020).

Teniendo en mente que las oscilaciones neuronales intracerebrales juegan un papel crítico en los procesos cognitivos (pues representan el momento preciso de excitación o inhibición de la actividad neuronal (Buzsáki, 2006; Sauseng & Klimesch, 2008)) y, más importante aún, que la sincronización de fase a gran escala ha sido adicionalmente propuesta como la base neuronal de la consciencia fenomenológica (Crick & Koch, 1990; Engel & Fries, 2016; Thompson & Varela, 2001; L. Ward, 2003), las modificaciones en la

actividad oscilatoria en curso de varios individuos debidas a la interacción social (como lo demuestran estudios con hiperescaneo por EEG) tienen implicaciones importantes para nuestro estudio de la conducta y consciencia humana.

Este trabajo tiene como objetivo examinar los resultados obtenidos con estudios de hiperescaneo EEG y destacar la importancia de la sincronización neuronal intercerebral en el estudio de la consciencia. Discuto los hallazgos de la sincronización cerebro a cerebro durante la interacción social cooperativa, mostrando que este fenómeno no es un efecto general de un ambiente compartido, sino una propiedad emergente de dinámicas sociales en específico. Esto, junto con los reportes subjetivos de conexión social, cohesión y *engagement* que con frecuencia acompañan a dichos hallazgos, nos dirige hacia un nuevo panorama en torno a la importancia de la sincronización neuronal intercerebral en el entendimiento de la naturaleza de la consciencia humana. Con la hipótesis de que la sincronización neuronal intercerebral es un posible mecanismo para la consciencia extendida, cierro con una propuesta experimental para poner esto a prueba y una discusión en torno a la posibilidad de que, en ciertas ocasiones, la consciencia fenomenológica pueda ser compartida y experimentada en segunda persona.

Esbozo un esquema temático de este trabajo:

- Capítulo 1: Presento las oscilaciones neuronales, patrones emergentes que surgen a partir de la autoorganización de la dinámica interna del cerebro, y exploro la sincronización de fase oscilatoria como un mecanismo de integración intracerebral necesario para la cognición, así como las propuestas que la establecen como la base neuronal de la consciencia fenomenológica.
- Capítulo 2: Explico la técnica de hiperescaneo y, más específicamente, de hiperescaneo con EEG, así como los estimadores utilizados para cuantificar la sincronización neuronal intercerebral y su papel funcional. Finalmente, describo la forma en la que los estudios de hiperescaneo se aseguran de evitar la sincronización inducida o 'falsa'.
- Capítulo 3: Reviso exhaustivamente 18 estudios de hiperescaneo EEG que utilizan distintos paradigmas de interacción social (cooperación, competencia, atención y acción conjuntas, comunicación, muestras de afecto positivo y percepción del dolor), mostrando la existencia de sincronización de la actividad oscilatoria neuronal a nivel intercerebral -no explicable por un ambiente compartido, ni por estímulos o movimientos similares- cuando las personas cooperan o están coordinadas entre sí, pero no cuando compiten o realizan tareas individuales en forma simultánea. Incluyo, asimismo, seis estudios de hiperescaneo fNIRS como muestra de que estos hallazgos no se limitan al registro de actividad eléctrica cerebral.

- Capítulo 4: Explico el enactivismo como aproximación al estudio de la consciencia y exploro cómo es útil para interpretar la naturaleza interpersonal de los estudios revisados. Describo la tesis de la cognición extendida y me adentro en el debate dentro de la filosofía de las ciencias cognitivas en torno a la posibilidad de la consciencia extendida.
- Capítulo 5: Hago una propuesta experimental inicial que pondría a prueba mi hipótesis de que la sincronización neuronal intercerebral es un mecanismo para la consciencia extendida. Mientras los estudios revisados en este trabajo exploran la sincronización neuronal cerebro a cerebro, muchos dejan de lado la experiencia de sus participantes y ninguno ha tomado a la consciencia fenomenológica como una variable dependiente de la sincronización neuronal intercerebral. Propongo un experimento donde la consciencia fenomenológica de los participantes sea evaluada con una escala de conciencia perceptual (*Perceptual Awareness Scale (PAS)* (Ramsøy & Overgaard, 2004) en su versión adaptada para percepción social) durante un paradigma de interacción social, mientras se registra su actividad eléctrica cerebral con hiperescaneo EEG.

Para concluir el trabajo, discuto la posibilidad de que las bases neuronales de la consciencia se extiendan mediante la interacción social significativa, retomando la importancia de la experiencia en el estudio de la mente y cuestionando la

caracterización tradicional de la consciencia humana como necesariamente privada y experimentada, en todo momento, en primera persona.

Capítulo 1. Integración neuronal intracerebral

Dentro de las neurociencias cognitivas, es ampliamente reconocido que cualquier proceso cognitivo requiere de la integración e interacción constante de distintas regiones y/o redes del cerebro (Siegel et al., 2012; Thompson & Varela, 2001; L. Ward, 2003). Pero ¿cómo se logra esta integración a gran escala? ¿qué mecanismos coordinan la actividad cerebral para producir fenómenos tan complejos como la percepción, la memoria, la atención y, como veremos más adelante, la consciencia?

Donald Hebb fue uno de los primeros pensadores en sugerir que las capacidades cognitivas emergen a partir de la orquestación espaciotemporal de las neuronas cerebrales. Esta hipótesis, conocida como la hipótesis del “ensamble celular”, parte de la idea de que una neurona individual no trabaja de manera aislada, sino que forma coaliciones transitorias con distintos grupos de neuronas, generando conexiones funcionales dinámicas que unifican la actividad nerviosa y, por lo tanto, producen un “momento” cognitivo coherente (Hebb, 1949; Nicolelis et al., 1997).

Hoy en día, muchos autores proponen que esta unificación o integración es realizada a través de la dinámica de oscilaciones neuronales, específicamente a través de la sincronización de fase (Bonfond et al., 2017; Buzsáki, 2006; Engel & Fries, 2016; Fries, 2015; Rodríguez et al., 1999; Sauseng & Klimesch, 2008; Siegel et al., 2012; Singer, 2007; Thompson & Varela, 2001; Thut et al., 2012; Varela et al., 2001; Wang, 2006; L. Ward, 2003).

1.1 Oscilaciones, sincronización e integración

Producidas por el intercambio dinámico de mecanismos celulares y sinápticos (Treviño & Gutiérrez, 2007; Wang, 2006), las oscilaciones neuronales son fluctuaciones rítmicas de actividad postsináptica excitadora e inhibidora de las neuronas. Dichas fluctuaciones son una característica principal de la auto-organización cerebral² (Buzsáki, 2006) y se originan ya sea por el acoplamiento entre la excitación e inhibición membranal de una sola neurona o por redes neuronales de conexión recíproca entre neuronas excitadoras (e.g. glutamatérgicas) e inhibidoras (e.g. GABAérgicas) (M. Cohen, 2014; Singer, 1993; Treviño & Gutiérrez, 2007). Debido a estas dinámicas, cada ciclo oscilatorio representa una ventana temporal de procesamiento de información específico y, en forma indirecta, representa a la población neuronal involucrada (Buzsáki, 2006; Buzsáki & Draguhn, 2004; Sauseng & Klimesch, 2008).

Las oscilaciones neuronales pueden registrarse ya sea con técnicas invasivas como el registro de potencial de campo local *in vivo* e *in vitro* o el registro cortical, o con técnicas no invasivas como el electroencefalograma (EEG) o el magnetoencefalograma (MEG). A pesar de reflejar actividad distinta y complementaria (ver Buzsáki, 2006; Puce &

² El cerebro es un sistema complejo. Los sistemas complejos tienen la característica de ser abiertos, multifuncionales, auto-organizativos, estables y con la habilidad de cambiar de manera flexible de acuerdo con las demandas internas y medioambientales (Kelso, 1995). De esta auto-organización emergen patrones dinámicos internos (e.g. oscilaciones neuronales) que son regidos por una ley de potencia simple con invariancia de escala. La ley de potencia ($f(x)^n$) que caracteriza a los sistemas complejos implica que no existe una diferencia cualitativa entre eventos grandes (globales) y pequeños (locales); un cambio en cualquier nivel tiene repercusiones en todo el sistema (Buzsáki, 2006). Los patrones emergentes en este sistema pueden interactuar entre sí, dando pie a características y/o comportamientos no reducibles a la suma de sus partes. Una forma de sincronización que prevalece en muchos sistemas complejos en física y biología es la sincronización de actividad oscilatoria (Strogatz, 2003).

Hämäläinen, 2017), el EEG es la técnica más utilizada en humanos para registrar oscilaciones neuronales por ser de bajo costo y no invasiva.

Las oscilaciones registradas en la corteza cerebral humana exhiben longitudes de onda dentro del rango de los 0.01 Hz a los 500 Hz (Hertz, o ciclos por segundo) (Buzsáki & Draguhn, 2004; Watson, 2018) pero, tradicionalmente, la actividad EEG se divide en cinco bandas de frecuencia principales: delta (0.1-3 Hz), theta (4-7 Hz), alfa (8-13 Hz), beta (14-30 Hz) y gamma (>30 Hz). En general, las frecuencias más lentas pueden involucrar a un gran número de neuronas en regiones cerebrales distantes, mientras que las ventanas temporales cortas generadas por las oscilaciones más rápidas facilitan la integración a nivel local, debido en parte a las limitaciones impuestas por la demora en la conducción axónica (Buzsáki, 2006; Herrmann et al., 2016; Singer, 1993).

A pesar de que cada banda de frecuencia ha sido vinculada con algún tipo de actividad cognitiva particular, estos ritmos en realidad no mantienen una relación de uno-a-uno con procesos cognitivos específicos; más bien, cada ritmo contribuye a distintas funciones dependiendo de dónde ocurre, su amplitud, fase e interacción con otros ritmos oscilatorios (Herrmann et al., 2016).

Característico de procesos de sistemas adaptativos complejos -como el cerebro-, la interacción entre oscilaciones sucede en forma jerárquica: debido a la relación inversa entre amplitud y frecuencia, las frecuencias más lentas tienen la capacidad de producir una “cascada” de disipación de energía y modular la actividad de las frecuencias rápidas

(se dice que las oscilaciones se “anidan” entre sí), usualmente mediante la interacción entre la fase de ondas lentas con la amplitud de ondas rápidas (Bonfond et al., 2017; Buzsáki & Draguhn, 2004; Canolty & Knight, 2010). De esta forma, distintas poblaciones neuronales en distintas regiones cerebrales pueden comunicarse en forma selectiva, precisa y efectiva, generando integración a gran escala sin depender de la conectividad anatómica (Fries, 2015).

Como mencioné anteriormente, la organización e integración temporal de actividad nerviosa a gran escala se logra, en gran parte, a través de la sincronización de fase³. La fase de una oscilación representa el momento en el ciclo de excitación/inhibición de poblaciones celulares, lo cual restringe el pico de actividad saliente y la sensibilidad a un estímulo entrante a una ventana de tiempo específica (Canolty & Knight, 2010; Corsi-Cabrera, 2012; Fries, 2015). Dicho de otra forma, las oscilaciones de un grupo neuronal abren y cierran “ventanas de comunicación” en forma rítmica; cuando la actividad de distintos grupos neuronales -oscilando en la misma frecuencia o en frecuencias distintas- fluctúa en forma simultánea o cuasi-simultánea, se dice que existe sincronización de fase y, por lo tanto, comunicación entre grupos neuronales, pues las ventanas de entrada y salida de información abren y cierran al mismo tiempo (Canolty & Knight, 2010; Fries, 2005, 2015; Helfrich et al., 2016; Singer, 2007; Thut et al., 2012).

³ Sin duda la sincronización no es el único mecanismo detrás del procesamiento cognitivo por oscilaciones; para una discusión sobre la importancia de la *desincronización* de fase, ver Tognoli & Kelso, 2009; Varela et al., 2001.

Mucha de la evidencia que posiciona a la sincronización de fase como mecanismo de integración en el cerebro viene de estudios de *binding*⁴. En neurociencias y ciencias cognitivas, el problema del *binding* se resume en entender qué mecanismos neurofisiológicos unifican distintas propiedades de un estímulo (p.ej. color, forma, textura, dirección, etc.), siendo que diferentes grupos neuronales procesan estas propiedades por separado (Roskies, 1999). A pesar de que no exista un consenso acerca de la solución a este problema, la actividad neuronal coherente a gran escala ha sido y continúa siendo el mecanismo más popular y con más evidencia empírica convincente al respecto (Revonsuo, 2014; Roskies, 1999; Varela et al., 2001; Womelsdorf et al., 2007).

El problema del *binding* asimismo se relaciona con estudios de la consciencia humana (Hallet, 2019; Revonsuo, 1999) y, así como se ha demostrado que la integración necesaria para la cognición es realizada -al menos en parte- por la sincronización de fase de oscilaciones neuronales, también se ha propuesto que las bases neuronales de la consciencia pueden encontrarse en la dinámica oscilatoria cerebral (Engel & Fries, 2016; Thompson & Varela, 2001; Varela et al., 2001).

1.2 Oscilaciones y consciencia

Existen muy diversas definiciones de la consciencia, esa muy compleja característica de la vida. A continuación desgloso brevemente algunas de las principales, para establecer

⁴ En términos generales, *binding* se refiere al proceso o mecanismo de integración generado por la unificación global de una entidad, o la emergencia de sus propiedades (Revonsuo, 2014).

a qué nos podemos referir cuando se utiliza el término "consciencia" y aclaro en qué *tipo* de consciencia me enfoco en este trabajo.

Consciencia puede significar: a) sintiencia (ser un organismo capaz de sentir y responder al ambiente), b) grado de alerta (e.g. estar dormido, despierto, en coma, anestesiado, etc.), c) percatación (darse cuenta de algo, lo que en inglés se llama *awareness*), d) autoconsciencia (también llamada consciencia reflexiva: el percatarse no sólo del mundo sino de tu propia percatación del mundo) (Van Gulick, 2014), e) acceso ("la disponibilidad de la información para el razonamiento y guía racional de la acción y el habla") (Block, 1995), f) fenomenología (la cualidad experiencial y subjetiva de la existencia) (Van Gulick, 2014), entre otros.

En este trabajo me enfoco en la consciencia fenomenológica, que puede entenderse como la perspectiva experiencial, o punto de vista subjetivo, de un sujeto (Van Gulick, 2014). El aspecto fenomenológico de cualquier estado mental es *lo que se siente* estar en ese estado ("*what it is like*", en inglés (Hacker, 2002; Nagel, 1974)).

Las experiencias tienen un carácter cualitativo especial, conocido íntima y directamente por cada sujeto (Hacker, 2002). A este carácter cualitativo de la experiencia se le conoce como *qualia*. *Qualia* incluye *lo que se siente* ver, escuchar, oler; son las propiedades experienciales de cualquier sensación, percepción, emoción, pensamiento, deseo, etc. (Block, 1994). *Qualia* es *lo que se siente* tener dolor, oler un campo de rosas o saborear una manzana, *lo que se siente* pensar o ir caminando por un sendero.

Esta consciencia suele percibirse unificada: los contenidos de la experiencia subjetiva se viven como un solo momento consciente, una unidad fenomenológica global constante (para posiciones a favor y en contra, ver Brook & Reymont, 2017). Por lo tanto, se asume que cierto tipo de *binding* —un *binding* fenomenológico— es necesario para la unidad de la consciencia (Bayne, 2014; Revonsuo, 2014).

El problema del *binding* fenomenológico es tratar de explicar cómo es que la experiencia subjetiva unificada emerge a partir de interacciones dentro de y con el cerebro⁵. Aunque se sigue sin conocer la solución a este problema (también conocido como el “problema difícil” del estudio de la consciencia (Chalmers, 2007)) o si es un problema con solución alguna, cada vez más autores estudian a las oscilaciones neuronales para entender la neurofisiología de la consciencia.

Hace dos décadas, Crick y Koch (1990) sugirieron que existe una relación directa entre oscilaciones sincronizadas y consciencia. Desde entonces, varios autores han adoptado la postura de que las oscilaciones neuronales acopladas en fase podrían subyacer a las interacciones de gran escala necesarias para distintos aspectos de la consciencia, pero particularmente para la consciencia fenomenológica (Buzsáki, 2006; Corsi-Cabrera, 2012; Engel et al., 1999; Engel & Fries, 2016; Melloni et al., 2007; Revonsuo, 2014; Thompson & Varela, 2001). Por ejemplo, un evento histórico en el mundo de las neurociencias fue el simposio de Singer en 1993, durante la reunión anual de la *Society*

⁵ Digo *dentro* y *con* el cerebro porque parto de la corriente de pensamiento que considera a la consciencia como una propiedad emergente que viene no sólo de las interacciones que suceden dentro del cerebro como sistema, sino de las interacciones del sistema cerebro-cuerpo-ambiente. Esta corriente es el enactivismo. Hablaré más acerca de ella en capítulos posteriores.

for Neuroscience, y su propuesta de 'binding por sincronización'. Esta propuesta representó un cambio de paradigma en el estudio de la relación estructura-función del sistema nervioso pues, de acuerdo con su teoría, ya no era la conectividad *per se* lo que importaba, sino la organización temporal coherente de la actividad neuronal a través de sincronización oscilatoria (Buzsáki, 2006).

Una década más tarde, Llinás argumentó que el *binding* fenomenológico se genera por la sincronización temporal de bucles (*loops*) talamocorticales de actividad oscilatoria neuronal. Según Llinás, nuestra experiencia subjetiva es generada por el diálogo entre el tálamo y la corteza mediante la coherencia de oscilaciones neuronales: *It binds, therefore I am*⁶ (Llinás, 2001, p. 126). Asimismo, Engel y Singer trabajaron en la hipótesis de la sincronización neuronal proponiendo que ésta puede ser un mecanismo fundamental de la consciencia, e incluso lo que genera la unidad global del *yo*⁷ y del mundo (Engel & Singer, 2001, en Revonsuo, 2014).

Estos y muchos otros autores incorporan a la integración y la sincronización neuronal como componente central de sus teorías o modelos de las bases neuronales de la consciencia (p.ej. la Teoría de la Integración de la Información (Tononi, 2004; Tononi & Koch, 2008), la Teoría del Espacio de Trabajo Global (Baars, 2005), las Teorías del Campo Neuronal (Kinsbourne, 1993; McFadden, 2002; Pockett, 2000) y las Teorías del Núcleo Dinámico (Edelman & Tononi, 2013; L. Ward, 2011)). Cada una sostiene una

⁶ Esta frase hace referencia al *cogito ergo sum* de Descartes (*I think, therefore I am*, en inglés). Una posible traducción al español sería: *se une, luego existo*. Hace referencia al mecanismo del *binding* como necesario para la consciencia humana.

⁷ El *self*, en inglés.

postura un tanto distinta y, a pesar de que algunas son más populares que otras, ninguna ha sido aceptada por completo hasta el momento (Seth, 2007). Más allá de esto, comparar teorías no es el objetivo principal de este trabajo, por lo que me limito a mencionarlas y recalcar que, en general, utilizan términos que conciben al cerebro como un sistema complejo y enfatizan la importancia de la sincronización a gran escala, capacidad que, como vimos, es realizada muy probablemente a través de la dinámica oscilatoria neuronal. Por la naturaleza compleja y no lineal del cerebro⁸, es poco probable que las bases neurales de la consciencia se hallen en circuitos o zonas específicas, sino que se encuentren a nivel de patrones dinámicos de gran escala entre las distintas bandas de frecuencia de actividad oscilatoria cerebral (Engel & Fries, 2016; Thompson & Varela, 2001).

Ayudando esta idea, se ha encontrado que cambios en los patrones de coherencia neuronal, tanto a nivel local como global, pueden significar cambios en los contenidos de la consciencia fenomenológica (ver Engel & Fries, 2016)⁹. Asimismo, anomalías en la dinámica oscilatoria del cerebro no sólo se observan en condiciones clínicas como la

⁸ La complejidad puede ser descrita formalmente como la no linealidad. El comportamiento complejo que caracteriza a un sistema dinámico no se puede predecir o deducir fácilmente a partir de la conducta de los elementos individuales que lo componen. Dicho de otro modo, el comportamiento resultante del sistema no es explicado por la suma de las partes. La estructura y el orden emergentes se dan por las interacciones colectivas de varios constituyentes. Al mismo tiempo, la dinámica emergente auto-organizada (e.j. una oscilación), impone restricciones contextuales sobre sus constituyentes. Debido a que los constituyentes son interdependientes en varios niveles, el todo se basa en la cooperación y competencia de sus partes. Esto genera variables colectivas o "atractores". Haken, físico alemán, describe la relación entre los elementos y la variable colectiva como *sinergia* (Buzsáki, 2006; Kelso, 1995).

⁹ Esta evidencia proviene principalmente de estudios de rivalidad binocular en gatos, monos y humanos (Fries et al., 2002; Hipp et al., 2011; Wilke et al., 2006). La consciencia perceptual -aspecto de la consciencia que se estudia en la rivalidad binocular- es una "forma básica de consciencia fenomenológica que compartimos con muchas otras especies (supuestamente con, al menos, la mayoría de los mamíferos superiores). Por lo tanto, es concebible que la investigación en animales pueda contribuir sustantivamente a explicar este aspecto de la consciencia" (Engel et al., 1999, p. 130, traducción propia).

epilepsia, enfermedad de Parkinson, enfermedad de Huntington, el temblor esencial y cerebeloso y el coma (Buzsáki, 2006; Schnitzler & Gross, 2005), sino que también se relaciona con desórdenes psiquiátricos, como la esquizofrenia. Una serie de autores proponen que tanto la experiencia fragmentada como las alucinaciones de los pacientes con esquizofrenia pueden estar relacionadas con una perturbación de la sincronización neuronal (Ahn et al., 2019; Lisman & Buzsaki, 2008; Mellin et al., 2018; Tononi & Edelman, 2000; Uhlhaas & Singer, 2010).

Para entender cualquier proceso, conducta o fenómeno mental, es deseable estudiar al cerebro-cuerpo-ambiente como un sistema dinámico altamente interconectado, donde cada elemento influye significativamente a los demás en forma circular¹⁰ (Chiel & Beer, 1997). De hecho, se ha propuesto que, como proceso crucial para la consciencia, las oscilaciones, más que limitarse a la actividad neuronal en el cerebro, pueden atravesar las divisiones cerebro-cuerpo-ambiente (Thompson & Varela, 2001). Un ejemplo conocido del papel que juegan las oscilaciones en guiar la cognición y la experiencia en el mundo es el ajuste de los ritmos neuronales en curso a estímulos externos, también conocido como *énfasamiento* (o *phase-locking*, en inglés).

¹⁰ En los sistemas complejos, las relaciones no-lineales entre los elementos del sistema no permiten establecer una relación lineal causa-efecto. La auto-organización de los elementos genera sinergias que sólo pueden ser explicadas por causalidad circular (Kelso, 1995).

1.3 Oscilaciones y medio ambiente

Crítico para el mecanismo de sincronización por oscilación (Buzsáki, 2006) el *énfasis* de la actividad oscilatoria en curso ante estímulos provenientes del medio ambiente ha sido descrito como un mecanismo de “compuerta” que amplía o reduce la respuesta neuronal ante eventos provenientes de una fuente de información, pues se ha observado que existe una relación entre la percepción consciente y el desempeño conductual con el *énfasis* de ciertas bandas de frecuencia a estímulos medioambientales en sujetos sanos (Bonfond & Jensen, 2012; Lakatos et al., 2008; Ronconi et al., 2017; Solís-Vivanco et al., 2018).

Interesantemente, se ha demostrado que la actividad neuronal de pacientes con esquizofrenia no se *énfasis* tan eficientemente a los estímulos (Lakatos et al., 2013). En estos sujetos, una mayor dificultad para *énfasis* a un estímulo correlaciona con una disminución en la habilidad para discriminar diferencias sutiles en tonos auditivos y con un incremento en la severidad de síntomas psicóticos (Lakatos et al., 2013). El *énfasis*, por tanto, parece ser un mecanismo crítico para la habilidad de una persona de extraer información sobre el medio ambiente e interactuar exitosamente con el mundo (Hasson et al., 2012), con un profundo impacto en su experiencia. Es posible, entonces, que una alteración en el mecanismo de *énfasis* de oscilaciones pueda representar una falla en la interacción cerebro-cuerpo-ambiente, y estar detrás de la escisión entre el ambiente exterior y el interior que caracteriza gran parte de la experiencia fenomenológica de la esquizofrenia (Lakatos et al., 2013).

La teoría del sistema cerebro-cuerpo-ambiente (o sistema organismo-ambiente) propone que, en cualquier sentido funcional, el organismo y el medio ambiente (*Umwelt*) son inseparables y forman un solo sistema unitario: el organismo no puede existir sin el ambiente y el ambiente tiene propiedades descriptivas sólo si se conecta con el organismo (Järvilehto, 1998). Asimismo, la actividad mental es la actividad de todo el sistema: la mente no puede ser separada del cerebro, pero el cerebro, el cuerpo y el ambiente son sistemas dinámicos altamente estructurados que se acoplan entre sí en varios niveles (Buzsáki, 2006; Chiel & Beer, 1997; Järvilehto, 1998; Thompson & Varela, 2001).

El *Umwelt* de un organismo sólo es aquello conocido y conocible por él. Ese ambiente, a su vez, es modificado constantemente por las acciones del organismo dentro de éste. En este sentido, el ambiente no es un mundo preestablecido, externo y representado internamente por el cerebro, sino todo un terreno relacional *enactuado*¹¹, suscitado por el sujeto a través de su acoplamiento con el medio (Varela et al., 2016). Al encontrarse con un estímulo, todo el sistema se reorganiza, posibilitando la percepción y acción; sin embargo, el estímulo sólo existe como estímulo porque hay cierta dinámica de organización interna que dicta que un cambio en el ambiente será procesado por el organismo. Por lo tanto, el organismo es lo que define qué cambios son estímulos y forman parte de la organización necesaria para la cognición y la conducta (Chiel & Beer, 1997; Järvilehto, 1998). Como piezas de un rompecabezas, una pieza (el estímulo)

¹¹ *Enacted*, en inglés.

embona debido a la organización dinámica de todas las otras piezas (Järvillehto, 1998), posiblemente mediante el *enfasamiento*.

Resulta interesante entonces que este mecanismo no se limita a la interacción de un individuo con el ambiente físico; existe cada vez más evidencia de que la interacción social está íntimamente relacionada con las oscilaciones neuronales (Balconi & Vanutelli, 2017; Mu et al., 2018). Por ejemplo, muchos estudios demuestran que personas con Trastorno del Espectro Autista (TEA), quienes comúnmente exhiben dificultades para la interacción social (Marsh et al., 2013), no muestran sincronización neuronal con otras personas¹² (Salmi et al., 2013; Tanabe et al., 2012). Asimismo, tareas de cooperación, coordinación o atención conjunta empleadas en sujetos sanos (descritas más adelante) revela un vínculo entre la sincronización oscilatoria intercerebral y el desempeño y eficiencia en la tarea (Balconi & Vanutelli, 2018a; Mu et al., 2017; Szymanski, Pesquita, et al., 2017) y que, a mayor necesidad de cooperación en la tarea, mayor sincronización neuronal entre las oscilaciones de los participantes (Bezerianos et al., 2015; Hu et al., 2018). Estos hallazgos han sido posibles gracias a un método de registro cerebral relativamente reciente: el hiperescaneo.

¹² De mismo modo, los mecanismos patofisiológicos del TEA incluyen un déficit en la coordinación temporal de actividad neuronal a nivel intracerebral (Uhlhaas, 2009).

Capítulo 2. De uno a dos cerebros: hiperescaneo y sincronización intercerebral

El ser humano es un ser social. La conducta y la experiencia no suceden en forma aislada, sino que emergen en contexto y con una fuerte influencia de la interconexión que se mantiene con otros seres humanos (Cummins, 2013; Galbusera et al., 2019). A pesar de esto, los estudios neurocientíficos de la cognición y la consciencia se han enfocado tradicionalmente en estudiar cerebros individuales. Es decir, en estudiar la actividad cerebral de los sujetos en forma individual, con la menor interacción posible con el exterior¹³.

Asimismo, el estudio de los procesos neuronales involucrados en la interacción social tradicionalmente se ha conducido fuera del contexto social e interactivo (Funane et al., 2011; Hari & Kujala, 2009; Hasson et al., 2012), limitando el registro neuronal a situaciones de observación o recepción pasiva, donde a un sujeto se le presenta un estímulo o situación de carácter social (sin que le sea posible la interacción recíproca e instantánea) y, posteriormente, el investigador pretende identificar la región o red involucrada. Esto resulta preocupante, pues “la cognición social es fundamentalmente distinta cuando interactuamos con otros a cuando simplemente somos observadores”

¹³ Esta aproximación no necesariamente es inadecuada, pues el ambiente puede ser una fuente importante de “ruido”, por lo que controlar la influencia de variables extrañas permite identificar con mayor precisión los cambios de actividad neuronal relacionados con el proceso cognitivo de interés. Sin embargo, esto deja fuera mucho del carácter encarnado (*embodied*, en inglés) y real de la experiencia humana; cada vez es más reconocido que la actividad del sistema nervioso de un individuo sólo puede ser interpretable si se reconoce el rol del contexto social dentro del cual ésta ocurre (Cummins, 2013; Froese, 2015; Hari & Kujala, 2009; Varela et al., 2016), por lo que debe ser tomado en cuenta al momento de realizar el diseño experimental para poder obtener un balance adecuado entre la influencia del exterior y el control de variables.

(Schilbach et al., 2013, p. 393, traducción propia); además de no ser localizable en regiones específicas del cerebro, ya que es el proceso de interacción mismo el que la constituye (Froese et al., 2013).

La aproximación de cerebros individuales asume que los procesos relacionados con la interacción social se encuentran completamente internalizados y que, por lo tanto, pueden entenderse a partir de la dinámica neuronal de un cerebro individual, como si éste fuera una “caja negra”, donde el exterior juega un rol causal -mas no constitutivo- en la cognición y la consciencia (Froese & Ikegami, 2013; Redcay & Schilbach, 2019). Sin embargo, como bien apuntan Montague et al. (2002), estudiar interacciones sociales mediante el registro cerebral de una sola persona es comparable con querer estudiar la sinapsis observando la neurona pre-sináptica por un lado y la post-sináptica por el otro, pero nunca ambas (Montague et al., 2002). En consecuencia, todo aquello que sea específico a la interacción quedará fuera del análisis.

Esta preocupación llevó a varios investigadores a extender una invitación a la comunidad científica para alejarse del estudio de cerebros aislados y comenzar a estudiar cerebros en interacción; dicho de otro modo, pasar de una ‘neurociencia en primera persona’ o ‘neurociencia de un solo cerebro’ a una nueva ‘neurociencia en segunda persona’¹⁴ (Dumas, 2011; Hari et al., 2013; Hari & Kujala, 2009; Hasson et al., 2012; Konvalinka & Roepstorff, 2012; Redcay & Schilbach, 2019; Schilbach et al., 2013). Esta “nueva” neurociencia parte de reconocer que: a) la interacción social es un proceso coordinativo

¹⁴ *Second-person neuroscience* ó *two-body neuroscience*, en inglés.

que no puede descomponerse sin perder su esencia, b) la experiencia y la conducta se desenvuelven en contexto, y c) ese contexto está altamente condicionado por otros seres humanos, por lo que la actividad del sistema nervioso sólo es interpretable si hay un debido reconocimiento del rol constitutivo del contexto social dentro del cual ésta ocurre (Cummins, 2013). De este modo, la neurociencia en segunda persona se aleja del supuesto de que el cerebro sólo “representa” su exterior de manera interna y comienza a reconocer las bases neuronales de la cognición social¹⁵ como una relación dinámica entre la actividad en un cerebro y la actividad en otro¹⁶ (Montague et al., 2002).

El movimiento hacia una neurociencia en segunda persona fue de la mano del desarrollo de nuevos métodos de registro y análisis de actividad cerebral, los cuales hicieron posible una aproximación experimental de interacciones sociales más apegadas a la vida real, potencialmente develando aspectos críticos de las interacciones que no podrían evaluarse en el marco convencional (Hari et al., 2013; Hari & Kujala, 2009). Uno de los métodos de registro, y quizás el más valioso (Czeszumski et al., 2020; Dumas et al., 2011; Hari et al., 2013; Hari & Kujala, 2009; Hasson et al., 2012; Sängner et al., 2011), fue desarrollado por Montague y colaboradores en 2002 y denominado por ellos como “hiperescaneo” (Montague et al., 2002).

¹⁵ Algunos autores no consideran a la cognición social como un tipo especial de cognición, y argumentan que la cognición social en realidad es la tela con la cual se teje toda experiencia y conducta humana (Cummins, 2013).

¹⁶ Esta visión va de acuerdo con aproximaciones enactivas y de sistemas dinámicos mencionadas previamente (Kelso, 1995; Thompson & Varela, 2001), las cuales no sólo conciben a la cognición e incluso a la consciencia como un fenómeno emergente de la compleja dinámica neuronal del cerebro, sino que consideran al cerebro-cuerpo-ambiente como un sistema dinámico altamente interconectado (Beer, 2000; Chiel & Beer, 1997; Hari & Kujala, 2009), e incluso posibilitan la noción de que dos personas en interacción podrían concebirse como un solo sistema sin un *locus* de control específico (Cummins, 2013; Froese et al., 2013).

2.1 ¿Qué es el hiperescaneo?

El hiperescaneo es el registro simultáneo de la actividad cerebral de dos o más sujetos interactuando en una tarea cognitiva o motora (Babiloni & Astolfi, 2014; Montague et al., 2002). El diseño del método elaborado por Montague consistió en registrar la actividad cerebral de pares de sujetos¹⁷, cada uno dentro de un aparato de Resonancia Magnética Funcional (RMf), durante un paradigma de interacción social (utilizando un software en línea para asegurarse de que el registro de cada aparato se hiciera en forma completamente sincronizada) (Montague et al., 2002) (Figura 2).

Además de la RMf, el hiperescaneo puede realizarse con otras técnicas, como la espectroscopía funcional del infrarrojo cercano (fNIRS, por sus siglas en inglés), el EEG y el MEG¹⁸. De estas, el hiperescaneo EEG es de particular interés pues, además de ser económico, es una de las tecnologías más ecológicamente válidas, ya que cuenta con una gran resolución temporal y permite que los sujetos interactúen entre sí. A diferencia

¹⁷ Cabe resaltar que el grupo de Montague, a pesar de popularizar el método, no fue el primero en registrar la actividad cerebral de dos sujetos simultáneamente. La primera mención en la literatura de un registro simultáneo de actividad electroencefalográfica se presenta en el año 1965, cuando dos investigadores utilizaron EEG simultáneo entre pares de gemelos para comprobar la existencia de una comunicación “extrasensorial” entre ellos (Duane & Behrendt, 1965). Posteriormente, en los años 80’s, el investigador mexicano Jacobo Grinberg utiliza una técnica similar y reporta patrones de correlación en la actividad interhemisférica de parejas de sujetos sin relación previa. Estos patrones eran específicos de cada pareja y no eran explicables por fatiga, habituación o algún tipo de inducción electromagnética del equipo utilizado (Grinberg-Zylberbaum & Ramos, 1987).

¹⁸ A pesar de que los estudios de hiperescaneo pueden revelar efectos a nivel intercerebral durante la interacción social, las limitaciones de las distintas técnicas de registro significan una limitación en la información obtenible de estos estudios. Por ejemplo, el hiperescaneo RMf pueden detectar de manera muy precisa las regiones que exhiben efectos intercerebrales, pero es imposible registrar esos efectos durante una acción cotidiana. La portabilidad del EEG permite registrar efectos intercerebrales en un entorno más natural; sin embargo, la capacidad del EEG de localizar el epicentro de la activación cerebral es muy limitada. Las características del hiperescaneo fNIRS caen en un intermedio entre las del hiperescaneo EEG y RMf (Koike et al., 2015).

de otras técnicas de hiperescaneo, el EEG también tiene la ventaja de medir la actividad cerebral directamente (al igual que el MEG).

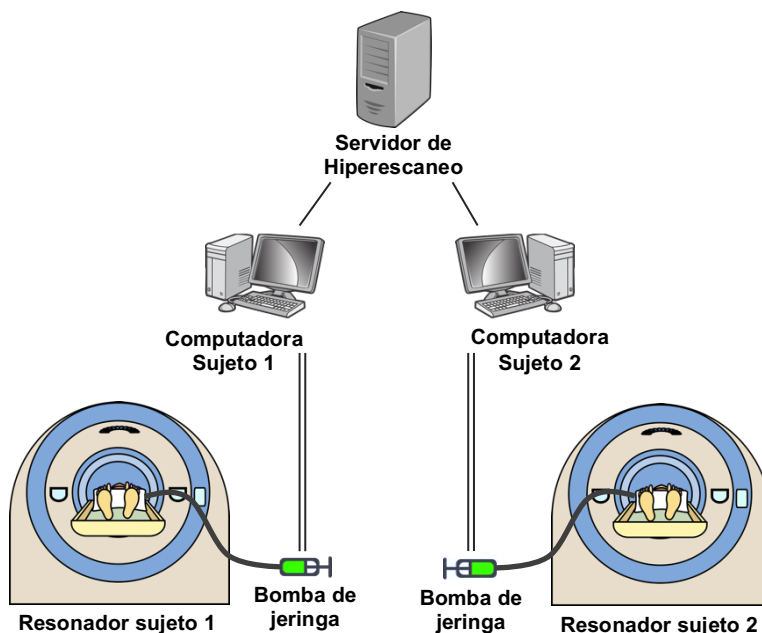


Figura 2. Ejemplo del diseño experimental de hiperescaneo de Montague y colaboradores. Dos sujetos, cada uno dentro de un resonador, juegan un juego de competencia en computadora (donde el ganador de cada ensayo recibe jugo a través de una bomba de jeringa). Una computadora adicional coordina la presentación de estímulos, registra respuestas y latencias, controla la administración del jugo y mantiene un conteo que sirve para sincronizar los escaneos del fMRI con los eventos conductuales (tomado de Montague et al., 2002).

De hecho, a pesar de que el grupo de Montague popularizó el método, los primeros registros simultáneos de actividad cerebral fueron de EEG. En 1965, dos investigadores utilizaron EEG simultáneo entre pares de gemelos para comprobar la existencia de una comunicación “extrasensorial” entre ellos (Duane & Behrendt, 1965).

Otro estudio pionero fue del investigador mexicano Grinberg, quien en 1987 reportó patrones de correlación en la actividad interhemisférica de parejas de sujetos sin relación previa, a quienes se les pedía establecer algún modo de comunicación sin interacción verbal, visual o corporal. Los patrones encontrados correlacionaron con momentos en

los que las parejas sentían una fuerte conexión empática, además de ser específicos de cada pareja y no explicables por fatiga, habituación o algún tipo de inducción electromagnética del equipo utilizado (Grinberg-Zylberbaum & Ramos, 1987). Posteriormente, en 1993, publicó una serie de experimentos donde reportó una correlación significativa entre los potenciales evocados¹⁹ de sujetos en cuartos aislados, donde sólo a uno de ellos le fueron presentados estímulos visuales²⁰.

Ambos investigadores fueron criticados por estos estudios en su época, principalmente debido a la imposibilidad de replicar los resultados y especulaciones en el procedimiento experimental (Hinterberger, 2009). Esto, más ciertos problemas relacionados con el muestreo y la resolución espacial de los EEGs en ese entonces, propiciaron que el hiperescaneo no fuera un método popular en la neurociencia social durante casi 40 años (Babiloni & Astolfi, 2014; Duane & Behrendt, 1965). Hoy en día, con mayor precisión en el registro y análisis estadísticos adecuados, el EEG es una de las tecnologías más apropiadas para investigar la actividad cerebral relacionada con la interacción social en tiempo real.

¹⁹ Un potencial evocado es un patrón específico de actividad eléctrica producida en una región particular del Sistema Nervioso, particularmente el cerebro, como respuesta a estimulación externa, como un destello de luz o un tono auditivo breve (American Psychological Association, 2015).

²⁰ En el artículo, titulado “Comunicación humana y la actividad electrofisiológica del cerebro” (traducción propia, del inglés), Grinberg y colaboradores describen una serie de experimentos donde le pedían a parejas de sujetos - sentados uno junto al otro dentro de un cuarto oscuro – que buscaran establecer algún modo de comunicación empática no verbal, mediante la cual pudieran sentir la presencia del otro directamente, sin la necesidad de vocalización o contacto físico. Una vez que los sujetos reportaban haber logrado esto (20 minutos, en promedio), uno de ellos era llevado a otro cuarto. Al sujeto que permanecía en el primer cuarto se le presentaron una serie de estímulos visuales y auditivos simultáneos en forma aleatoria, mientras que el otro sujeto permanecía en el otro cuarto a oscuras, sin ser estimulado, con audífonos aislantes de sonido y sin conocimiento de que su pareja estaba siendo estimulada. Se registraron los potenciales evocados en ambos sujetos. Los autores reportaron una similitud estadísticamente significativa (r de Pearson entre 0.63 a los 150ms y 0.96 a los 250ms) entre la actividad eléctrica cerebral de ambos sujetos. Este efecto no fue encontrado entre parejas de sujetos que no habían interactuado previamente (Grinberg-Zylberbaum et al., 1993).

2.1.1 Hiperescaneo EEG

El hiperescaneo EEG funciona de manera similar que el hiperescaneo con otras técnicas. Se establece un paradigma de interacción y a cada sujeto se le coloca su propia serie de electrodos en el cuero cabelludo, cada una conectada a un dispositivo de EEG (Figura 2.1). Utilizando un programa en línea, los dispositivos son controlados para sincronizar el inicio y término del registro, haciendo que corra en paralelo.

Al igual que en el EEG de una sola persona, se eligen las regiones y frecuencias de interés antes de correr el experimento, utilizando los electrodos deseados²¹ y los filtros necesarios²². Luego, se realizan análisis de amplitud y fase de cada frecuencia y se utilizan los estimadores de sincronización pertinentes, los cuales describiré en un momento.

²¹ De acuerdo con el sistema internacional 10-20 (Jasper, 1958).

²² Filtros pasa alta y pasa baja, los cuales ayudan a eliminar ruido externo (e.j. de dispositivos eléctricos presentes durante el experimento) y permiten establecer el rango de frecuencias a analizar (delta, theta, alfa, beta, gamma).

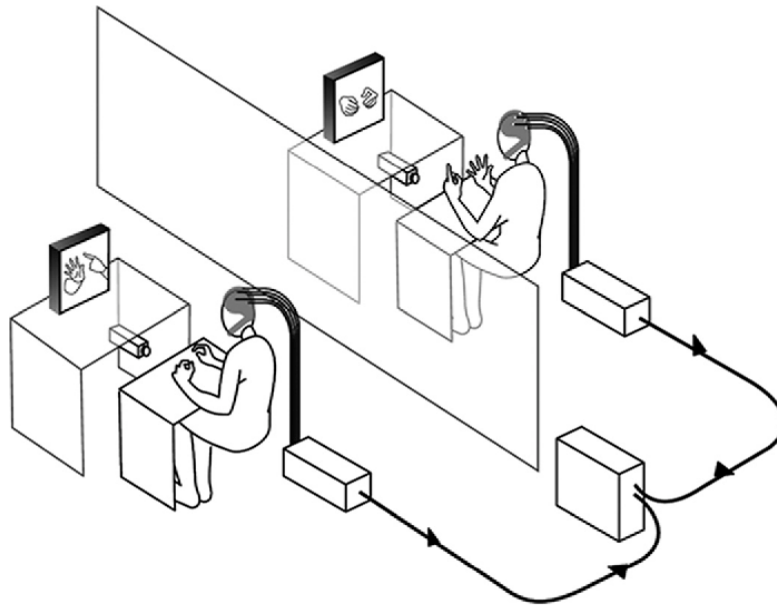


Figura 2.1 Ejemplo de un diseño experimental de hiperescaneo EEG. Dos sujetos (separados por una pared) interactúan en forma espontánea (imitando movimientos de las manos) mientras se registra la actividad eléctrica de su cerebro con una gorra EEG. Las manos de cada sujeto son grabadas en vídeo y se pueden ver las manos del otro en tiempo real a través de una pantalla (tomado de Dumas et al., 2010).

A pesar de que el diseño experimental del hiperescaneo EEG puede ser más “ecológico” que con otras técnicas, pueden existir fuentes importantes de ruido -como el movimiento- que afectan la señal EEG adquirida. Para combatir este problema lo más posible, se utilizan sistemas de registro EEG móviles (Melnik et al., 2017), así como electrooculogramas (EOG) y electromiogramas (EMG), que permiten registrar y filtrar los efectos del movimiento de los ojos y otros músculos sobre la señal EEG (Babiloni & Astolfi, 2014).

Una vez que se adquieren los datos, la pregunta sigue siendo cómo relacionar el registro cerebral de los sujetos estudiados y qué nos dicen esos datos (Dumas, 2011). El beneficio del hiperescaneo -sin importar la técnica utilizada- es que, al obtener

información simultánea de la actividad neuronal de múltiples sujetos, no sólo se puede analizar cómo la actividad neuronal de cada sujeto se relaciona con conductas específicas, sino también cómo se relaciona con la actividad neuronal del compañero con el que se está interactuando (Babiloni & Astolfi, 2014). Estudiando las co-variaciones de actividad entre ellos, así como la relación entre las co-variaciones neuronales de los sujetos y la interacción social, se puede establecer si existe un vínculo entre la interacción y los cambios neuronales y detectar en qué momentos se sincroniza o *desincroniza* la actividad neuronal de los dos sujetos. Asimismo, se puede realizar una estimación de conectividad funcional, i.e. de la existencia de una relación funcional entre la actividad de distintas regiones cerebrales, e incluso de la actividad de distintos cerebros, que no necesariamente se basa en una conectividad anatómica directa (Babiloni & Astolfi, 2014; Czeszumski et al., 2020).

La sincronización entre cerebros utilizando el hiperescaneo EEG, al igual que la cuantificación de la sincronización neuronal intracerebral, se mide en dominios de frecuencia, principalmente a través de estimadores como el *Phase Locking Value* (Lachaux et al., 1999), la Coherencia de Fase Intercerebral (IPC, por sus siglas en inglés) (Lindenberger et al., 2009) y la Coherencia Parcial Dirigida (PDC, por sus siglas en inglés) (Astolfi et al., 2010). Tanto el PLV como la IPC son métodos para detectar sincronización de fase entre dos sitios de registro en un rango de frecuencia preciso, al analizar el grado de constancia o consistencia entre las diferencias de fase -a lo largo del tiempo o de los distintos ensayos- entre electrodos de interés (Lachaux et al., 1999; Lindenberger et al., 2009; Pérez et al., 2017), mientras que la PDC es una medida

de predicción de causalidad, por lo que analiza influencias dirigidas entre señales neuronales (Baccalá & Sameshima, 2001; Schelker et al., 2006)²³.

Como hemos visto, el estudio de la neurodinámica de oscilaciones a nivel intracerebral sugiere que la sincronización de fase juega un rol causal en la cognición (Fries, 2005, 2015), siendo incluso un elemento clave de las teorías más prominentes de las bases neuronales de la consciencia, al establecer “ventanas” de comunicación funcional dentro del cerebro. Por lo tanto, resulta válido utilizar estos estimadores en el estudio de la actividad neuronal durante la interacción social.

En efecto, el uso de estos estimadores es una parte esencial de un creciente número de estudios de hiperescaneo EEG que, como mencioné al final del capítulo anterior, reportan una interconexión entre la sincronización de oscilaciones neuronales entre individuos y ciertos aspectos de la interacción social; en concreto que tareas de cooperación, coordinación o atención conjunta están relacionadas con sincronización intercerebral de oscilaciones neuronales (Balconi & Vanutelli, 2017; Liu et al., 2018; Mu et al., 2018). Describiré varios de estos estudios a detalle en el capítulo siguiente, pero primero debo resaltar qué significa la sincronización intercerebral y el rol funcional que puede estar jugando en las interacciones sociales.

²³ A pesar de que cada medida tiene beneficios y limitaciones (ver Burgess, 2013), todas son utilizadas con el fin de evaluar el nivel conectividad funcional entre dos señales. Otras medidas empleadas para evaluar sincronización intercerebral en estudios de hiperescaneo EEG son: Coeficiente de Correlación Circular (Ccorr), Coherencia (COH), Coeficiente de Correlación de Pearson, Coeficiente Correlación de Spearman, Interdependencia Total (TI, por sus siglas en inglés) y Coherencia de la Transformada de Ondeletas (WTC, por sus siglas en inglés).

2.2 Papel funcional de la sincronización intercerebral

Una vez que se utilizan los estimadores de sincronización entre las fases de las frecuencias de interés, es necesario interpretar el significado de la “hiperconectividad” (Babiloni et al., 2007) encontrada. Ciertamente el observar una relación de fase consistente entre dos osciladores no necesariamente significa que existe una sincronización “real” entre ellos, pues sincronía (i.e. variación simultánea de dos variables) no significa sincronización. Por ejemplo, si registro simultáneamente la actividad cerebral de dos personas completamente aisladas una de la otra, se podrán encontrar momentáneamente variaciones sincrónicas en la fase de su ritmo beta, por nombrar alguno, a pesar de que no existe ninguna forma de comunicación entre estas personas (Burgess, 2013).

La sincronización “real” sucede cuando dos osciladores ajustan sus ritmos en forma recíproca debido a la interacción, y funciona como un marcador confiable de que existe un flujo de información entre elementos de un sistema (Burgess, 2013; Rosenblum et al., 2001). Por lo tanto, y esto es clave, la sincronización de fase intercerebral indica -potencialmente- la integración funcional entre cerebros.

No obstante, en el hiperescaneo EEG pueden aparecer formas “falsas” de sincronización, ya sea por influencias externas que “guían” a los osciladores individuales, o por una relación coincidente entre las fases de los ritmos individuales de cada cerebro (Burgess, 2013). Debido a esto, se necesita un análisis cuidadoso de los paradigmas y

análisis empleados en los estudios a revisar antes de intentar formular conclusiones en torno a su poder explicativo.

La sincronización inducida puede ocurrir cuando los participantes están expuestos al mismo estímulo sensorial o exhiben movimientos similares, aun cuando no están interactuando (Kaneshiro et al., 2020). En consecuencia, puede ser difícil concluir si la sincronización se debe a una dinámica similar de los cerebros individuales debido a un contexto compartido, o si es una propiedad emergente de la interacción social.

Para controlar ante una posible sincronización inducida o fortuita entre sujetos, la mayoría de los estudios de hiperescaneo hoy en día no miden solamente la sincronización de fase entre individuos, sino que la comparan entre distintas condiciones experimentales. Controlar para una sincronización inducida implica que todas las condiciones experimentales son idénticas, excepto por una condición en la que los participantes estén involucrados en una acción social y otra en la que no (Burgess, 2013).

Además de un diseño experimental adecuado, muchos estudios utilizan el análisis de parejas aleatorias. Este análisis se basa en comparar las señales cerebrales obtenidas de parejas reales (parejas que sí interactuaron entre sí) contra señales de parejas “aleatorias” (sujetos pareados aleatoriamente -posterior al experimento- de acuerdo con el rol que desempeñaron en la tarea, i.e. piloto y copiloto, actor y observador, etc.). De esta forma, se puede descartar la sincronización inducida debido a un ambiente

compartido y/o exposición a estímulos similares (Bilek et al., 2015; Novembre et al., 2017; Osaka et al., 2015; Toppi et al., 2016) (Fig. 2.2).

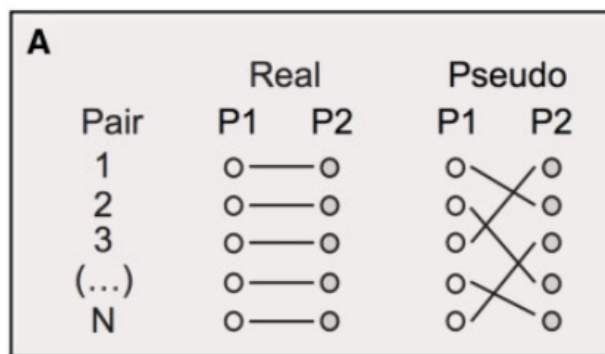


Figura 2.2. Ejemplo de un análisis de parejas aleatoria (tomado de Novembre *et al.*, 2017).

Capítulo 3. Interacción social y sincronización intercerebral: revisión de estudios de hiperescaneo EEG

En un estudio de hiperescaneo EEG, realizado en 2006 por Babiloni y colaboradores, se registró la actividad neuronal de cinco grupos de cuatro sujetos (cada grupo dividido en dos equipos oponentes) mientras jugaban un juego de cartas cooperativo. Durante el juego, cada pareja debía cooperar entre sí y competir con la pareja contraria (Fig. 3). Sin comunicarse verbalmente, cada integrante del equipo debía interactuar con su pareja para maximizar sus probabilidades de ganar. El juego consistía en que el jugador a la izquierda del *dealer* colocaba una carta de su elección al centro y los jugadores subsecuentes, en dirección de las manecillas del reloj, debían poner una carta del mismo palo (si la tenían, de lo contrario debían poner una carta del mismo número y, por lo tanto, el palo en juego cambiaba). El equipo que jugara la carta con valor más alto de ese palo ganaba la ronda.

En este estudio exploratorio, los autores reportaron que el “espíritu de grupo” -esa sensación comúnmente reportada dentro de los equipos, y que caracteriza y promueve su colaboración- estaba reflejado en los patrones de conectividad funcional (estimados con coherencia parcial dirigida, PDC) de oscilaciones corticales entre sujetos pertenecientes al mismo equipo durante una tarea cooperativa (Babiloni et al., 2006).



Figura 3. Experimento de hiperescaneo EEG de Babiloni. Los integrantes de cada pareja estaban sentados en lados opuestos de una mesa. (Babiloni *et al.*, 2006; 2007).

A partir de este estudio, muchos otros investigadores comenzaron a evaluar hiperconectividad utilizando paradigmas de coordinación, cooperación, competencia, atención o acción conjunta, entre otros.

Además de demostrar que la sincronización neuronal intercerebral no es explicable por un ambiente compartido, ni por estímulos o movimientos similares, uno de los hallazgos más característicos de estos estudios es la existencia de sincronización neuronal intercerebral entre sujetos cuando cooperan o están coordinados entre sí, pero no cuando compiten o realizan tareas individuales en forma simultánea (Balconi & Vanutelli, 2018a, 2018b; de Vico Fallani *et al.*, 2010; Dikker *et al.*, 2017; Mu *et al.*, 2016, 2017; Pérez *et al.*, 2017; Sängner *et al.*, 2012; Sinha *et al.*, 2016; Szymanski, Pesquita, *et al.*, 2017) (nótese que esta relación no sólo ha sido observada con hiperescaneo EEG; ver Cuadro 1).

3.1 Sincronización intercerebral bajo distintos paradigmas de interacción social

En un paradigma de acción conjunta, Dumas y colaboradores registraron la actividad EEG de 9 diadas de participantes mientras movían las manos en forma espontánea, y donde cada uno podía imitar al otro en el momento en que quisiera. Los sujetos estaban sentados uno junto al otro (aunque separados por un biombo) y los movimientos de sus manos eran grabados simultáneamente con una videograbadora y cada uno podía ver los movimientos de su pareja a través de una pantalla de televisión (ver Fig. 2.2) (Dumas et al., 2010).

Se analizaron dos eventos principales en cada ensayo: imitación y sincronización de movimiento. Se consideró como sincronización a las instancias en las que las manos de ambos sujetos iniciaban y terminaban un movimiento simultáneamente (en el mismo cuadro de video). La imitación fue definida como las instancias en las que los movimientos de las manos de ambos sujetos mostraron morfología (círculos, saludo, vaivén, etc.) y dirección (arriba, abajo, derecha, izquierda) similar. Para cada periodo imitativo, el individuo que comenzó un movimiento que fue luego seguido por un movimiento del compañero fue etiquetado como el “modelo” y el otro individuo como el “imitador”. La sincronización de fase de actividad oscilatoria cerebral fue estimada con *Phase-Locking Value* (PLV) y comparada durante épocas de 800 milisegundos de actos interactivos sincronizados versus no sincronizados y de actos interactivos imitativos versus no imitativos. Después de calcular los PLVs de todos los electrodos de un sujeto y parearlos uno a uno con todos los electrodos del segundo sujeto, los pares de

electrodos fueron agrupados en clústeres de acuerdo con un criterio de vecindad²⁴ adaptado a los PLVs de los dos cerebros.

Además de encontrar que la conducta de las parejas fue principalmente imitativa y sincronizada (en vez de que cada individuo moviera las manos de manera independiente), y que los roles de imitador y modelo estuvieron naturalmente balanceados en todas las parejas, se encontraron contrastes significativos en la sincronización de fase intercerebral en las bandas alfa-mu²⁵, beta y gamma entre episodios de sincronización y no sincronización (que, en su mayoría, incluyeron imitación) (Fig. 3.1), siendo alfa-mu la banda de frecuencia con mayor cambio. Estos patrones, vistos en todas las parejas del estudio, confirmaron que la sincronización intercerebral entre los clústeres correspondía con la sincronización conductual interactiva (Fig. 3.2).

²⁴ Dos pares de electrodos en dos sujetos fueron considerados vecinos si: dos electrodos contiguos del sujeto 1 conectaban respectivamente con dos electrodos contiguos del sujeto 2; un electrodo del sujeto 1 conectaba con dos electrodos contiguos del sujeto 2; un electrodo del sujeto 2 conectaba con dos electrodos contiguos del sujeto 1.

²⁵ La banda alfa-mu, también conocida como ritmo mu, alfa precentral o alfa rolándico, es similar a la banda alfa en frecuencia (8-13 Hz) y amplitud, pero difiere en localización e importancia fisiológica. Mientras que el ritmo alfa tradicional se encuentra en regiones occipitales de la corteza cerebral, el ritmo mu se encuentra en regiones sensoriomotoras y se vincula con el fenómeno motor.

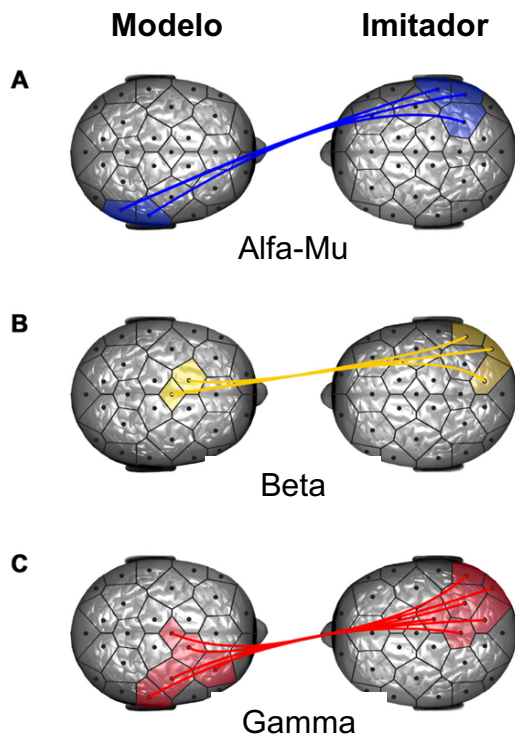


Figura 3.1 Sincronización intercerebral durante la sincronización conductual interactiva. Representación de *énfasamiento* estadísticamente significativo ($p < 0.05$) de todos los participantes entre los electrodos del modelo y del imitador: comparación de imitación espontánea entre episodios con sincronización conductual vs sin sincronización conductual. Las cabezas de la izquierda representan el rol del modelo, las cabezas de la derecha representan el rol de imitador. (A) Clústeres en la banda alfa-mu (8-12 Hz) entre regiones centro-parietales derechas. (B) Clústeres en la banda beta (13-30 Hz) entre regiones centrales y parieto-occipitales derechas. (C) Clústeres en la banda gamma (31-48 Hz) entre regiones centro-parietales y parieto-occipitales. Modificado de Dumas et al. (2010).

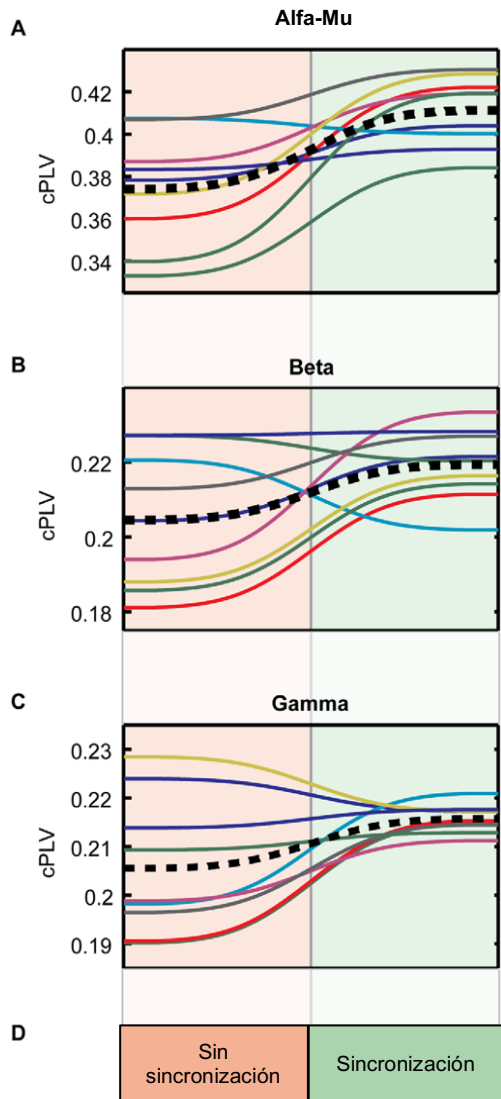


Figura 3.2 Resumen de sincronizaciones intersujeto relevantes para todas las diadas, de acuerdo con la sincronización conductual interactiva. Sincronización intercerebral en las bandas alfa-mu (8-12 Hz), beta (13-30 Hz) y gamma (31-48 Hz) (A, B y C, respectivamente). Las regiones naranjas indican los episodios sin sincronización interactiva, mientras que las regiones verdes indican los periodos con sincronización interactiva (D). Los valores cPLV indican los promedios de los PLVs de todos los pares de electrodos en los clústeres representados en la Figura 3.1. Cada línea de distinto color representa los valores cPLV de una diada, los cPLV promedio de todas las diadas están representados por una línea negra punteada. Modificado de Dumas et al. (2010).

También estudiando acción conjunta, Sänger, Müller y Lindenberger realizaron un estudio con 24 guitarristas, divididos en 12 duetos, tocando una pieza a dos voces mientras su actividad EEG era registrada. Los participantes eran sentados cara a cara, a uno se le asignaba el rol de líder (responsable de comenzar a tocar y determinar el tempo) y al otro el rol de seguidor, quien debía orientarse exclusivamente con el líder. Cada pareja tocó la pieza un total de 60 veces en dos bloques de 30 ensayos. Cada bloque fue tocado en días distintos y los roles asignados fueron revertidos. Utilizando los

estimadores de *Phase-Locking Value* (PLV) y Coherencia de Fase Intercerebral (IPC, por sus siglas en inglés), encontraron mayor *énfasis* y coherencia de fase (intra e intercerebral) entre sujetos en las bandas delta y theta en regiones fronto-centrales durante momentos de la tarea donde la necesidad de coordinación era mayor. Este *énfasis* fue modulado en relación con los roles asignados de líder y seguidor. Además, un análisis de redes hipercerebrales²⁶ de la actividad neuronal de las parejas reveló que estas redes mostraban propiedades de “mundo pequeño”²⁷ (que, a su vez, se vieron realizadas durante los periodos de coordinación musical) y una estructura de comunidades²⁸ que incluía electrodos de ambos cerebros (Sänger et al., 2012).

Además de demostrar que existe sincronización intercerebral durante la sincronización conductual espontánea, y que la direccionalidad de sincronización intercerebral se dio en función del rol social, el diseño experimental de este estudio (tocar la pieza a dos voces en vez de simultáneamente) hizo que tanto el movimiento, como la propiocepción

²⁶ Las redes hipercerebrales representan correlaciones tanto intra como intercerebrales entre regiones corticales de interés. Para generar y analizar una red hipercerebral, se juntan los datos de la actividad neuronal (proveniente de regiones de interés preestablecidas) de ambos sujetos de cada pareja. Con el uso de estimadores de sincronización intercerebral, se calcula la conectividad funcional de cada red, para cada banda de frecuencia analizada.

²⁷ Las redes de “mundo pequeño” obtienen este nombre porque, a pesar de que la mayoría de los nodos de la red no son vecinos entre sí, pueden ser alcanzados desde cualquier nodo origen a través de un pequeño número de saltos entre ellos. Se caracterizan por la presencia simultánea de integración y segregación funcional (Sänger et al., 2012) y reflejan una arquitectura óptima para el procesamiento de información (Stam, 2004), ya que optimizan la complejidad y facilitan la comunicación (Buzsáki, 2006; Sporns & Zwi, 2004). De hecho, Tononi y Edelman (1998) vinculan esta propiedad con las bases neuronales de la consciencia. Incluso los autores de este estudio sugieren explorar si las propiedades de “mundo pequeño” de redes hipercerebrales durante la interacción social están acompañadas por la experiencia subjetiva de “sentirse en sintonía” con el otro (Sänger et al., 2012).

²⁸ En el estudio de sistemas complejos, se dice que una red con estructura de comunidades es aquella en la que los nodos son agrupables fácilmente y están distribuidos en grupos densamente conectados (Girvan & Newman, 2002). Este tipo de estructura refleja grupos cohesivos de regiones cerebrales funcionalmente conectadas que abarcan múltiples escalas de organización (Betzel et al., 2019).

y la percepción de los estímulos para cada sujeto fueran distintos, por lo que los hallazgos sólo son atribuibles a la interacción social y no a una sincronización neuronal inducida.

Otro estudio, pero en este caso de comunicación verbal, registró la actividad neuronal de 15 parejas de individuos (sentados uno junto al otro y separados por un pizarrón) mientras conversaban libremente sobre algún tema (deportes, música, películas, animales, viajes) y se alternaban los roles de hablante y escucha. Se observó un incremento en la sincronización intercerebral (estimada con PLV) entre hablante y escucha en las bandas delta, theta, alfa y beta, comparado con parejas “formales” (aleatorias). Para asegurarse de que este *énfasis* no fuera un producto de la percepción o producción del habla, los autores eliminaron del análisis las oscilaciones que se vieron relacionadas (parcial o totalmente) con el procesamiento auditivo. Las oscilaciones en alfa y beta sobrevivieron a este análisis; además, el *énfasis* de estas oscilaciones mostró direccionalidad: la actividad neuronal proveniente de electrodos fronto-parietales del escucha se *énfasisó* con la actividad neuronal de electrodos fronto-centrales del hablante (Fig. 3.3). Además de demostrar que una parte importante del *énfasis* no es mediada por factores de interacción independientes de las propiedades físicas de las palabras expresadas, los resultados de esta investigación indican que la sincronización intercerebral tampoco está restringida por bandas frecuencia o dirigida por los mismos electrodos (Pérez et al., 2017).

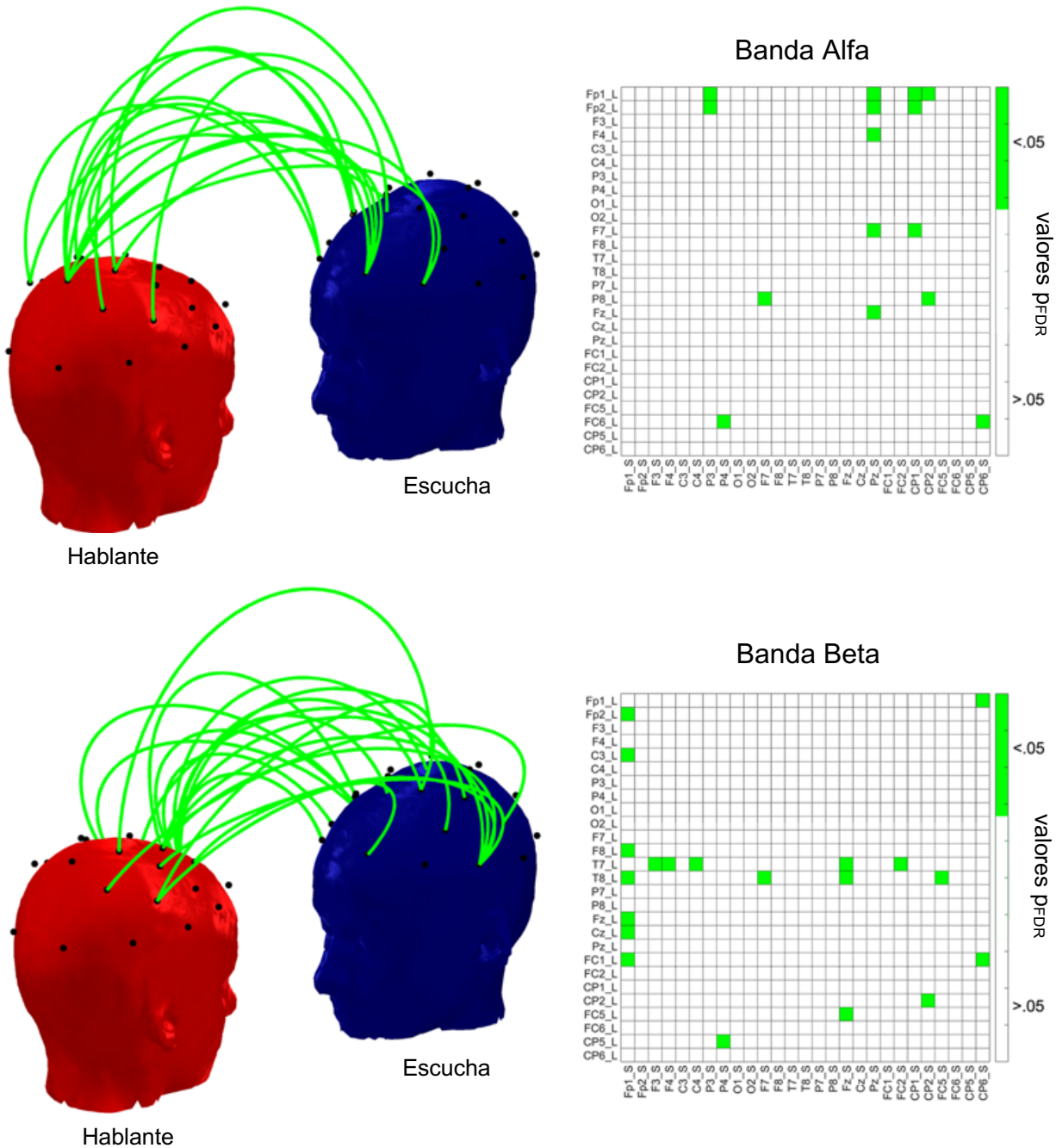


Figura 3.3 Representación de aumento significativo de patrones de sincronización intercerebral (estimado con *Phase-Locking Value*, PLV) entre hablantes y escuchas durante narrativas orales, no explicado por sincronización con el estímulo auditivo. Las matrices a la derecha muestran los electrodos sincronizados en donde el estímulo auditivo no tiene ninguna influencia. Los diagramas a la izquierda son una representación alternativa de la información contenida en las matrices. La cabeza roja representa al hablante y la azul al escucha; las líneas verdes conectando los pares de electrodos representan incremento significativo ($p < 0.05$) en la sincronización. En la banda alfa (9-12 Hz - panel superior) los sitios que demuestran *énfasis* intercerebral son predominantemente frontales en el escucha y centrales en el hablante. En la banda beta (15-20 Hz – panel inferior) los sitios son predominantemente frontales para el hablante y temporales para el escucha. Modificado de Pérez et al. (2017).

Estudiando la conectividad intercerebral entre pilotos y copilotos durante una simulación de vuelo (carreteo²⁹, despegue, crucero y aterrizaje), donde el ambiente al que están expuestos los sujetos es el mismo, pero la necesidad de cooperación varía durante el experimento (Fig. 3.4), Toppi et al. (2016) encontraron una alta conectividad entre cerebros (estimada con Coherencia Parcial Dirigida (PDC)) en las bandas theta y alfa durante las fases más cooperativas del vuelo (despegue y aterrizaje) en regiones fronto-parietales. Dichas interconexiones desaparecieron durante la fase de crucero, donde los sujetos seguían juntos, pero actuaban en forma independiente (Fig. 3.5).

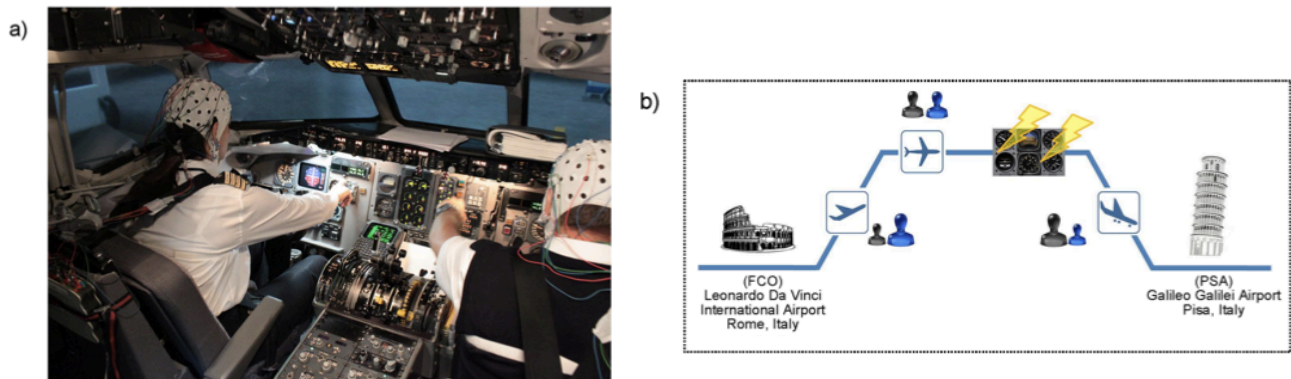


Figura 3.4 Diseño experimental de estudio de piloteo. a) Cabina de simulación de vuelo. b) Esquema de simulación de vuelo para todos los participantes. Las parejas salían del aeropuerto de Roma, Italia y tenían como destino el aeropuerto de Pisa, Italia. Durante la fase de crucero, una falla eléctrica fue producida intencionalmente en la instrumentación del piloto para manipular la ejecución normal del vuelo. El nivel de interacción es representado con íconos (azul: piloto; negro: copiloto). El tamaño de los íconos indica la presencia de una asimetría en la interacción (despegue: asimetría cargada hacia el piloto, quien tiene el control de la aeronave; crucero: interacción simétrica; aterrizaje: asimetría cargada hacia el copiloto, quien debe tomar el control debido a la falla eléctrica) (Toppi et al., 2016).

²⁹ La fase de carreteo es cuando la aeronave se conduce por la pista (previo al despegue). Esta fase fue utilizada como la línea base con la intención de eliminar diferencias individuales en la amplitud de las señales entre el piloto y copiloto.

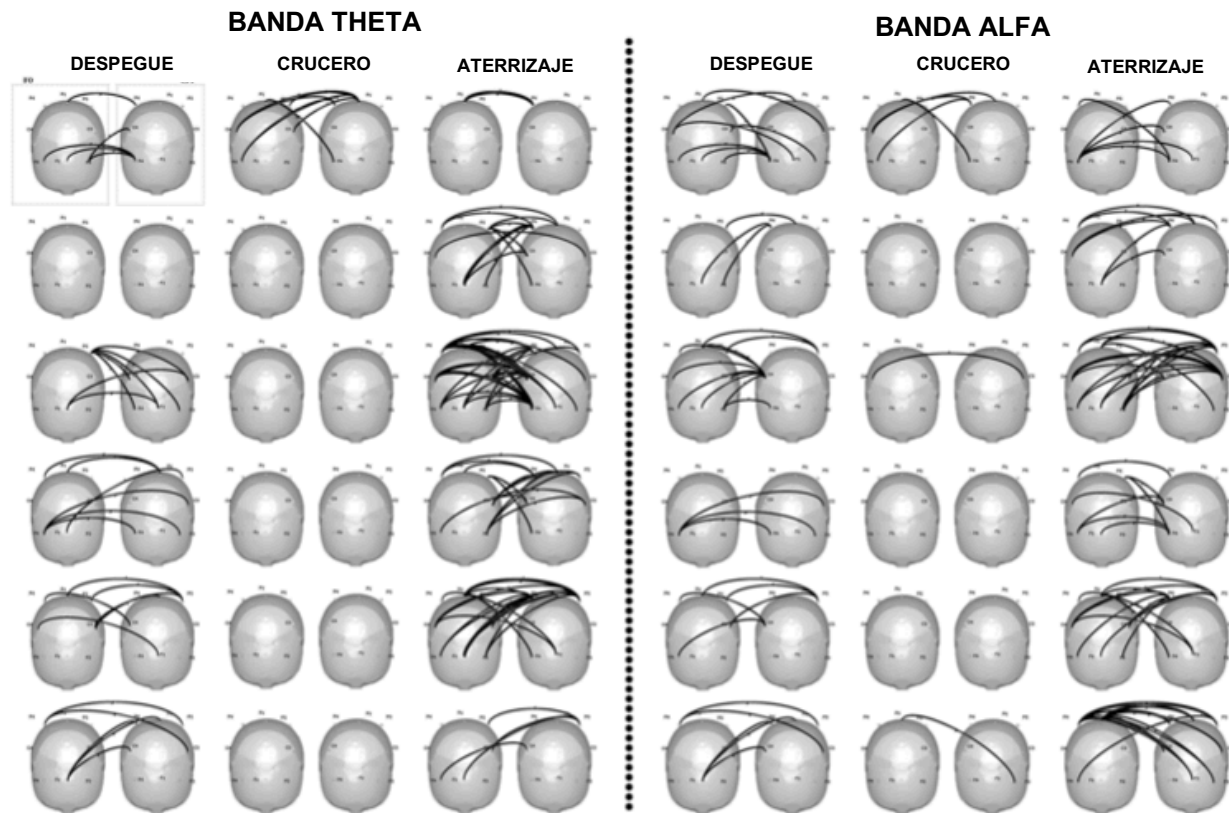


Figura 3.5 Patrones de conectividad intercerebral en estudio de pilotaje. Patrones de conectividad estadísticamente significativos en las bandas theta (3-7 Hz; panel izquierdo) ($p < 0.05$) y alfa (8-13 Hz; panel derecho) ($p < 0.01$) durante el despegue, crucero y aterrizaje en cada pareja estudiada. Cada fila representa a una pareja diferente (cabeza izquierda: copiloto; cabeza derecha: piloto). Las conexiones están representadas por líneas negras (Toppi et al., 2016).

Las interconexiones encontradas no pudieron ser explicadas por similitudes en la tarea, pues la conectividad entre parejas “formales” no resultó significativa comparada con parejas reales. Adicionalmente, las interconexiones fueron mayores durante el aterrizaje, donde piloto y copiloto debían cooperar más de lo normal debido a una falla eléctrica (prediseñada) que los obligaba a cambiar el curso del vuelo. Durante el despegue ambos sujetos debían colaborar, pero sólo de acuerdo con un protocolo preestablecido; la introducción de una “falla” durante el aterrizaje obligó al piloto y copiloto a intercambiar

el control de la aeronave y cooperar para encontrar la estrategia apropiada y aterrizar en forma segura.

De manera similar, un estudio exploratorio utilizó una tarea de pilotaje computarizada, donde piloto y copiloto tenían una meta compartida, pero llevaban a cabo tareas independientes mientras los investigadores modificaban el grado de dificultad de la tarea (fácil o difícil). Se observó que, además de la existencia de hiperconectividad neuronal entre sujetos durante la tarea (estimada con PDC), la sincronización intercerebral incrementó cuando se incrementó la dificultad de la tarea (Fig. 3.6)³⁰ (Bezerianos et al., 2015).

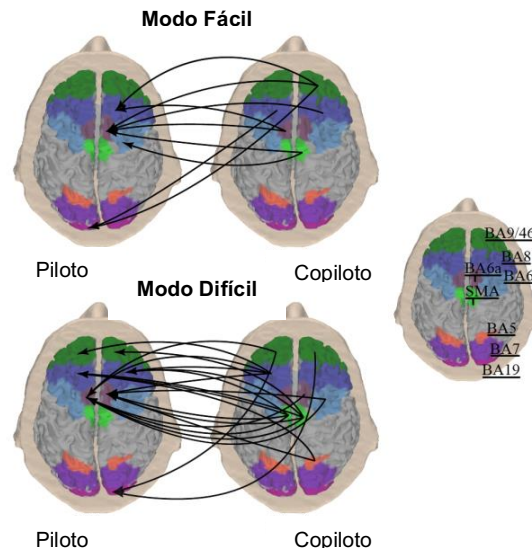


Figura 3.6 Hiperconectividad entre piloto y copiloto. Conectividad funcional entre regiones de interés (ROIs) seleccionadas en ambos niveles de dificultad. Hay un incremento de conectividad unidireccional del copiloto al piloto del modo fácil al modo difícil. ROIs sincronizadas: BA 9/46 (corteza prefrontal dorsolateral), BA 8 (campo frontal de los ojos), BA 6 (corteza motora suplementaria), Área Motora Suplementaria (SMA, por sus siglas en inglés), BA 5 y 7 (corteza somatosensorial secundaria) y BA 19 (corteza visual secundaria). $p < 0.05$. Modificado de Bezerianos et al. (2015).

³⁰ Nota: BA es una abreviación de *Área de Brodmann*. Las áreas de Brodmann son divisiones en la citoarquitectura de la corteza cerebral. La clasificación de Brodmann divide la corteza humana en 52 áreas, aunque algunas regiones han sido subdivididas posteriormente.

El famoso juego de cooperación y competencia, el Dilema del Prisionero³¹, ha sido utilizado en varios experimentos de hiperescaneo EEG. Este juego involucra dos sujetos, cada uno presentado con dos opciones: cooperar (C) o desertar (D). La decisión es individual, lo cual implica que cada jugador debe tomar una decisión sin saber lo que el otro ha decidido. Además, el resultado no es fijo; depende de la combinación de las decisiones individuales.

El propósito del juego es obtener la mayor cantidad de puntos posible. Si ambos cooperan, ambos obtienen puntos; si uno coopera y el otro deserta, el desertor obtiene todo; si ambos desertan, ambos obtienen una cantidad pequeña de puntos. El objetivo del juego es tener la mayor cantidad de puntos posible al finalizar todas las rondas. Existen cuatro posibles resultados en cada ronda del juego: ambos cooperan (CC), el primer jugador coopera y el otro deserta (CD), el primer jugador deserta y el otro coopera (DC), o ambos desertan (DD). Por ejemplo, la ganancia del primer jugador según los posibles resultados podría ser la siguiente:

$$P = \begin{pmatrix} P^{CC} & P^{CD} \\ P^{DC} & P^{DD} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 7 & 1 \end{pmatrix}$$

Una condición de “ojo por ojo” puede suceder cuando un jugador elige una opción no para maximizar su ganancia, sino como reacción al comportamiento de su oponente en el

³¹ El Dilema del Prisionero es uno de los juegos cooperativos más comúnmente utilizados en el estudio de las bases neuronales de la interacción social y la toma de decisiones. Este juego forma parte de la Teoría de Juegos, una rama de las matemáticas aplicadas que utiliza modelos para estudiar la interacción entre agentes durante la toma de decisiones y que es ampliamente utilizada en el estudio de sistemas complejos. Esta disciplina permite una definición formal de las situaciones sociales en las que los jugadores pueden verse beneficiados o perjudicados por tener una conducta cooperativa o individualista.

turno anterior (i.e. cuando un jugador que había cooperado decide desertar ya que el oponente desertó en la ronda anterior, o cuando decide cooperar debido a que el oponente cooperó en la ronda anterior).

Resulta interesante que varios estudios han encontrado diferencias entre las conexiones intercerebrales de sujetos cooperando y las conexiones de sujetos desertando. No sólo los patrones de interconectividad son significativamente mayores cuando ambos cooperan (CC) que cuando ambos desertan (DD) (Astolfi et al., 2011) (Fig. 3.7), sino que las interacciones no cooperativas (DD) pueden predecirse a partir de la conectividad funcional intercerebral, con una precisión del 90%.

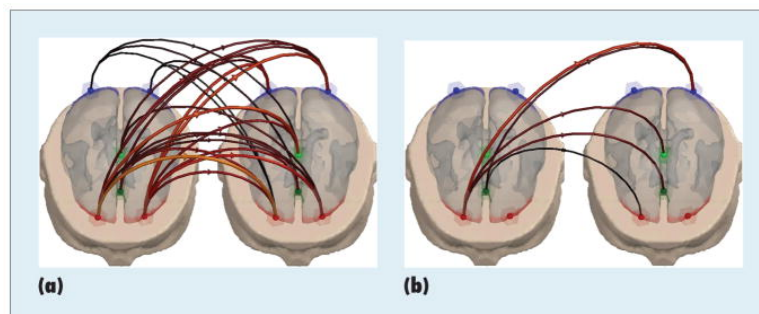


Figura 3.7 Patrones de conectividad intercerebral estadísticamente significativos entre sujetos jugando Dilema del Prisionero iterado. a) ambos cooperan (CC); b) ambos desertan (DD). Cada punto representa una región de interés. En este estudio se analizaron 6 regiones: BA10 (izquierda y derecha; corteza prefrontal anterior), corteza cingulada anterior (ACC), área motora cingulada (CMA) y BA7 (izquierda y derecha; corteza somatosensorial secundaria). Las conexiones presentadas en esta imagen representan la banda theta (3-7 Hz), pues las diferencias entre condiciones (CC y DD) fueron mayores en este rango de frecuencia. Sin embargo, esta diferencia estuvo presente también en las bandas alfa (7-12 Hz), beta (13-29 Hz) y gamma (30-40 Hz). $p < 0.001$ (Astolfi et al., 2011).

En un estudio con 26 parejas de sujetos, donde los participantes comunicaban su decisión mediante un teclado (Fig. 3.8), se encontró que, antes de presionar la tecla para cooperar, desertar o elegir una estrategia de “ojo por ojo” (OO), ya existía una

interconexión funcional significativamente menor entre los cerebros de parejas desertoras (DD). Asimismo, mediante un análisis de redes hipercerebrales³² se observó que, al desertar (DD), las parejas presentaban un número significativamente menor de conexiones intercerebrales y mayor modularidad –i.e. que la red hipercerebral es más fácilmente divisible en dos series de nodos distintos, correspondientes a cada jugador)– que aquellas parejas jugando en forma cooperativa (CC) o con una estrategia de “ojo por ojo” (OO) (Fig. 3.9) (De Vico Fallani et al., 2010). Estos hallazgos resultan particularmente interesantes debido a que se ha sugerido que el juego del Dilema del Prisionero requiere un mayor grado de entendimiento de las intenciones del otro cuando los participantes deciden cooperar o castigar a su compañero (“ojo por ojo”) (Czeszumski et al., 2020).

³² En este estudio se generaron, para cada pareja y para cada banda de frecuencia, seis redes hipercerebrales distintas, correspondientes a los resultados posibles del juego: CC, DD, OO, CD, CO, DO. Cada red tenía 12 nodos (6 por sujeto, uno por cada región de interés: BA10_I, BA10_D, ACC, CMA, BA7_I, BA7_D). Para cada red se analizaron los siguientes índices: número de conexiones, eficiencia (la eficiencia es inversamente proporcional a la distancia de conexión entre nodos), divisibilidad y modularidad (qué tanto la red puede ser dividida en dos series de nodos, correspondientes a los cerebros de los dos jugadores) (De Vico Fallani et al., 2010). ACC: Corteza Cingulada Anterior; CMA: Área Motora Cingulada (por sus siglas en inglés).

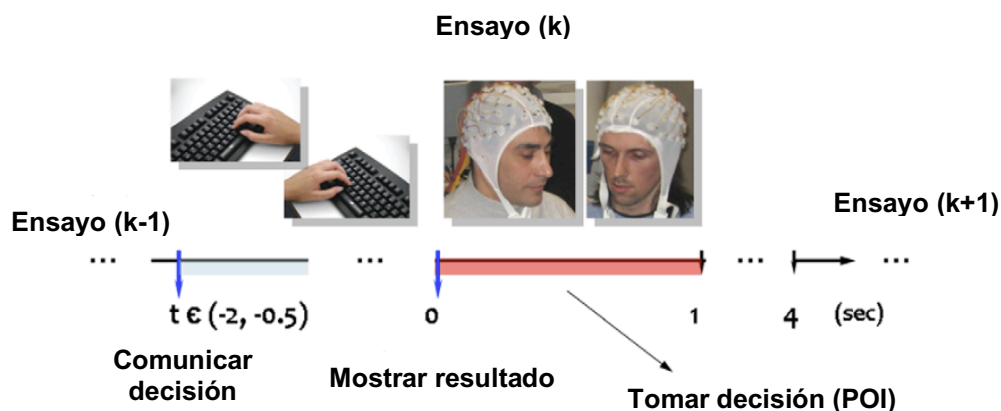


Figura 3.8 Diseño experimental de estudio con Dilema del Prisionero iterado. En cada ronda los jugadores debían decidir entre cooperar (C) o desertar (D) con el uso de un teclado. Todos los jugadores completaron al menos 200 ensayos. Un ensayo (k) estaba conformado por dos intervalos de tiempo distintos. Durante el primer intervalo, los jugadores debían comunicar sus estrategias con base en el resultado del ensayo anterior (k-1). Este intervalo duró entre 0.5 y 2 segundos. Después de comunicar su decisión, se les presentó el resultado de ambas estrategias y el puntaje obtenido en ese ensayo (k) durante 4 segundos. Al inicio del segundo intervalo, ambos sujetos debían tomar nuevamente la decisión de cooperar o competir que sería comunicada en el ensayo siguiente (k+1). El primer segundo entre la muestra del resultado y la decisión del siguiente ensayo (k+1) fue tomado como periodo de interés (POI) en el EEG; la actividad neuronal durante este POI fue considerada como relacionada con la toma de decisiones. Modificado de De Vico Fallani et al. (2010).

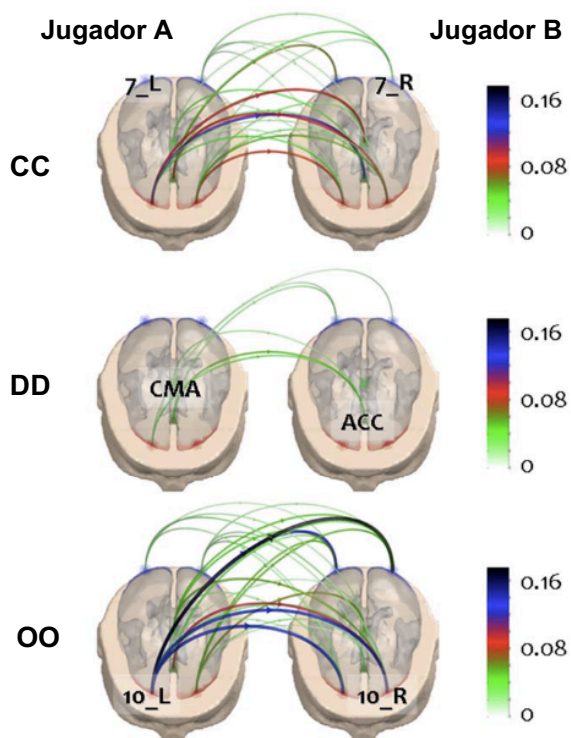


Figura 3.9 Conectividad intercerebral en la banda alfa (8-13 Hz) entre parejas cuando ambos cooperan (CC), desertan (DD) u optan por una estrategia de “ojo por ojo” (OO). Las conexiones evaluadas incluyeron seis regiones de interés: corteza somatosensorial secundaria (BA7_I y BA7_D), área motora cingulada (CMA), corteza cingulada anterior (ACC), corteza prefrontal anterior (BA10_I y BA10_D). El tamaño y color de cada conexión representa el valor de Coherencia Parcial Dirigida (PDC) obtenido entre regiones (promediado entre todos los sujetos), donde un valor cercano a cero (representado en verde) implica menor fuerza de conexión. $p < 0.001$. Modificado de De Vico Fallani et al. (2010).

En un experimento utilizando un juego computarizado de Ping Pong, doce parejas de participantes compitieron entre sí o cooperaron como equipo para ganarle a una computadora. Adicionalmente, los investigadores evaluaron las diferencias en sincronización intercerebral cuando los participantes jugaban dentro del mismo cuarto (condición 'juntos') vs. en cuartos separados (condición 'separados'). Encontraron significativamente mayor sincronización intercerebral (estimada con Correlación de Pearson) en las bandas alfa y beta en regiones centrales y parietales en las condiciones de cooperación vs. competencia cuando los participantes estaban juntos (Fig. 3.10 A, B). Otro hallazgo fue que, únicamente en el caso de la cooperación, la sincronización intercerebral entre los participantes era mayor al estar separados que juntos, en las bandas theta, alfa, beta y gamma (Fig. 3.10 C, D). Sin embargo, los investigadores no ofrecen una explicación para este hallazgo, y se limitan a sugerir que la cooperación virtual puede propiciar mejor desempeño debido a la relación entre el desempeño y la sincronización intercerebral (Sinha et al., 2016).

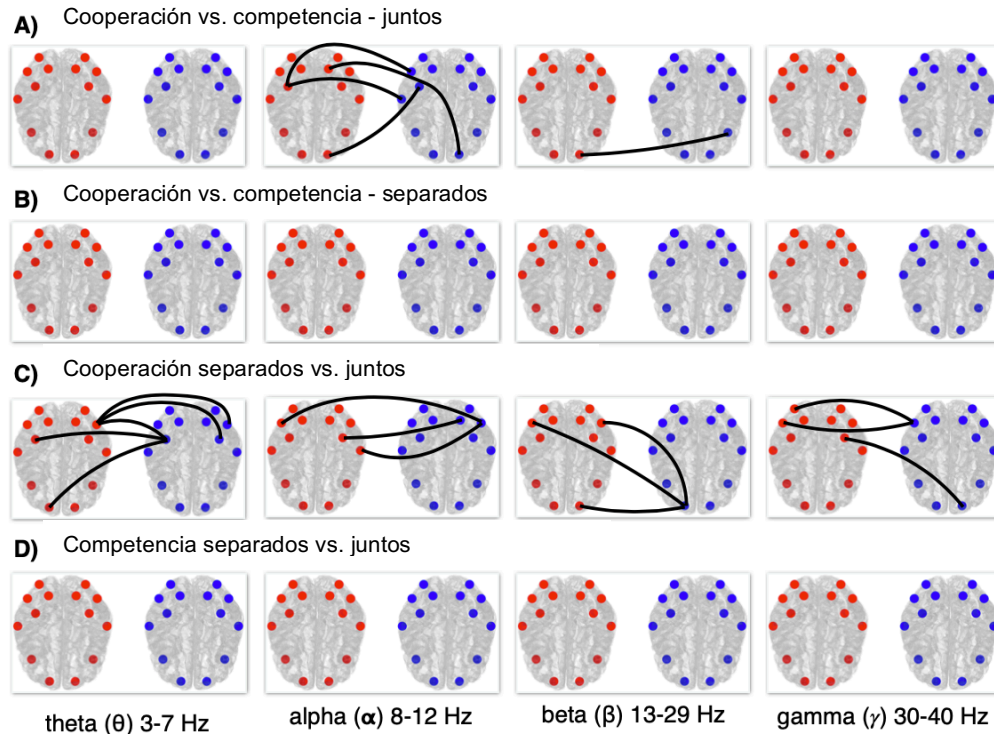


Figura 3.10 Conectividad intercerebral en juego de ping pong. Conectividad intercerebral estadísticamente significativa para cada condición y banda de frecuencia. (A, B) Se encuentra significativamente mayor sincronización intercerebral durante cooperación vs competencia cuando los sujetos están juntos. (C, D) La cooperación estando separados resulta en significativamente mayor sincronización intercerebral vs estando juntos. $p < 0.01$. Modificado de Sinha et al. (2016).

En un estudio de hiperescaneo durante una tarea de búsqueda visual -individual o en parejas (cooperativa)- se encontró que la sincronización de fase intercerebral en la banda delta fue generalmente mayor en regiones frontales, centrales y parietales cuando los sujetos cooperaron vs. cuando realizaron la misma tarea en forma individual. Mientras que algunas parejas fueron más eficientes que otras y tomaron decisiones más rápidamente como equipo que como individuos, otras no parecieron haberse beneficiado de trabajar en conjunto. Estas diferencias en el desempeño conductual de los equipos están asociadas con diferencias en la sincronización intercerebral. Dicho de otro modo, las parejas con mayor sincronización intercerebral mostraron mayor eficiencia y menores tiempos de reacción al trabajar como equipo que las parejas con menor sincronización

intercerebral (Szymanski, Pesquita, et al., 2017). En forma similar, en otro estudio de atención conjunta, a parejas de sujetos se les pidió que cooperaran para sincronizar sus respuestas. Cada pareja recibía retroalimentación de acuerdo con su desempeño en la tarea. Sin embargo, la retroalimentación en realidad no tenía nada que ver con el desempeño real, sino que se administró retroalimentación positiva a todas las parejas en el 70% de los ensayos, y retroalimentación neutral o negativa en el otro 30%. Este estudio reveló que este reforzador inducido afectó tanto el desempeño conductual como la conectividad intercerebral en las bandas delta y theta en regiones prefrontales, incrementando la sincronización conductual y cerebral cuando se les daba retroalimentación positiva a los participantes (Balconi & Vanutelli, 2018a).

De manera similar, Balconi & Vanutelli (2018b) evaluaron hiperconectividad utilizando una tarea competitiva en computadora. En este estudio distintas parejas de participantes, con cada sujeto sentado uno junto a otro y separado por un monitor, debían completar una tarea atencional bajo dos condiciones: competencia y control (completar la tarea en forma individual, sin competir). Si bien la competencia produjo mejor desempeño conductual en los individuos (mejor tiempo de reacción y menor tasa de error), se observó una reducción en la sincronización intercerebral en las bandas delta y theta en áreas prefrontales en esta condición (comparada con la tarea control). A pesar de que los participantes estuvieran realizando la misma tarea, la intención de competir hizo que los sujetos se enfocaran en sí mismos y no generaran estrategias colaborativas, donde se requiere que ambos tengan un objetivo en común (Balconi & Vanutelli, 2018b).

Se ha sugerido que, en dinámicas competitivas, donde hay mucho menor inclusión del otro en la acción, existe una clara separación *yo-otro* (Decety et al., 2004). La cooperación, por otra parte, puede generar un vínculo, un entrelazamiento de interagentes, lo cual conduce a un incremento en los patrones de conectividad (Balconi & Vanutelli, 2018b). Adicionalmente, la cooperación parece no ser lo único que promueve la sincronización intercerebral; la creencia de ser “parte del mismo equipo” también tiene un efecto en la hiperconectividad durante la interacción social.

3.2 Sincronización intercerebral al ser parte de un mismo equipo

En el 2010, Astolfi y colaboradores replicaron el estudio del juego de cartas de Babiloni et al. (2006). En este estudio, cinco grupos de cuatro personas jugaron diez juegos de diez rondas por juego. Midieron la conectividad funcional (con PDC) entre las señales corticales de los sujetos de un mismo equipo vs. el equipo contrario. Asimismo, para controlar movimientos e interacción verbal, los participantes no podían mover sus cartas ni comunicarse entre sí, sino que debían indicar (verbalmente) a los experimentadores qué carta deseaban mover durante su turno. Los investigadores reportaron una fuerte conectividad funcional en las bandas alfa, beta y gamma en regiones prefrontales y parietales entre sujetos del mismo equipo (promediado a lo largo de toda la sesión de juego), pero no entre sujetos de equipos opuestos (o entre parejas “formales”). Asimismo, la actividad neuronal del segundo jugador de cada equipo (el que debía apoyar la estrategia del primero) se vio causalmente dirigida por la actividad del primer jugador (Fig. 3.11) (Astolfi et al., 2010).

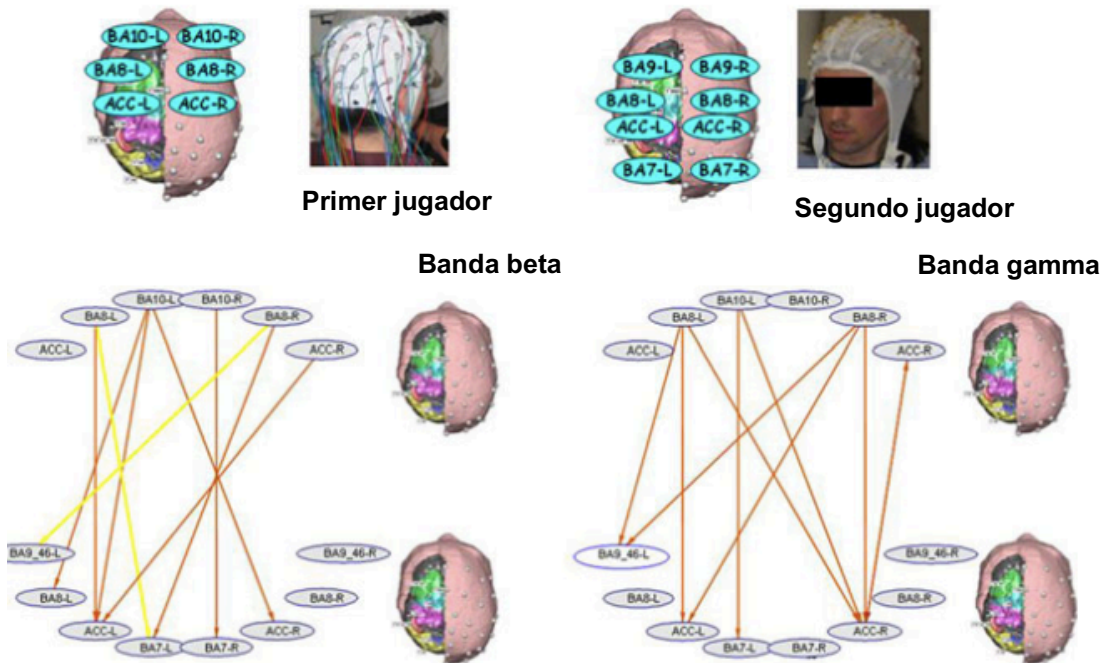


Figura 3.11 Conectividad funcional entre equipos durante un juego de cartas. Representación de la conectividad funcional obtenida de todos los equipos analizados en el experimento en las bandas beta (13-29 Hz) y gamma (30-40 Hz). Las flechas muestran conectividad entre distintas regiones corticales de los dos jugadores de cada equipo. Las flechas amarillas muestran conexiones estadísticamente significativas en todos los pares de sujetos analizados, mientras que las flechas naranjas muestran conexiones estadísticamente significativas en todas las parejas excepto una. Esta conectividad estuvo presente entre la corteza cingulada anterior junto con BA 8 y 10 (campo frontal de los ojos y corteza prefrontal anterior, respectivamente) del primer jugador, y la corteza cingulada anterior junto con BA 7, 8 y 9 (corteza somatosensorial secundaria, campo frontal de los ojos y corteza prefrontal dorsolateral, respectivamente) del segundo jugador. Modificado de Astolfi et al. (2010).

En forma similar, parejas de sujetos que fueron expuestos a un contexto que representaba una amenaza común, presentaron mayor sincronización intercerebral durante una tarea de coordinación que parejas expuestas a amenazas externas, o a situaciones que no representaban ninguna amenaza (Mu et al., 2017). En este experimento, 90 sujetos fueron pareados y asignados aleatoriamente a una de tres condiciones: amenaza intragrupal, amenaza extragrupal y control intragrupal³³ (15

³³ En la condición amenaza intragrupal, los participantes leían un reporte de que su propio país (China) estaba bajo seria amenaza de un país vecino (Japón). En la condición de amenaza extragrupal, los participantes leían un reporte en el que otro país (Etiopía) estaba bajo seria amenaza de un país vecino

parejas por condición). Después de que cada pareja leyera una noticia correspondiente con la condición a la que pertenecían, participaban en un juego de coordinación, con el objetivo de evaluar el efecto de la amenaza sobre la coordinación social. Durante el juego, los sujetos eran sentados uno frente a otro, separados por monitores de computadora. Cada sujeto debía contar mentalmente hasta un número presentado en la pantalla y presionar un botón una vez que hubiera terminado de contar; se les pedía que buscaran sincronizarse con su pareja (tarea de coordinación) o con una computadora (tarea control) durante el juego³⁴ (Fig. 3.12).

Los investigadores encontraron que había mayor sincronización de fase intercerebral (estimada con PLV) en la banda gamma en regiones frontales, centrales y parietales durante la tarea de coordinación en las parejas de la condición de amenaza intragrupal que en las parejas de las condiciones de amenaza extragrupal y control intragrupal (Fig. 3.13).

(Eritrea). En la condición control intragrupal, los participantes leían un artículo que describía eventos sucediendo dentro de su propio país, pero que no representaban ninguna amenaza interna (e.g. “Se predice que los vehículos eléctricos entrarán al mercado chino dentro de los próximos cinco años”).

³⁴ Esta tarea fue introducida como un control para descartar la posibilidad de que los efectos de la condición de amenaza no se debieran a otros factores psicológicos (e.g. nivel de alerta, preparación motora, aprendizaje).

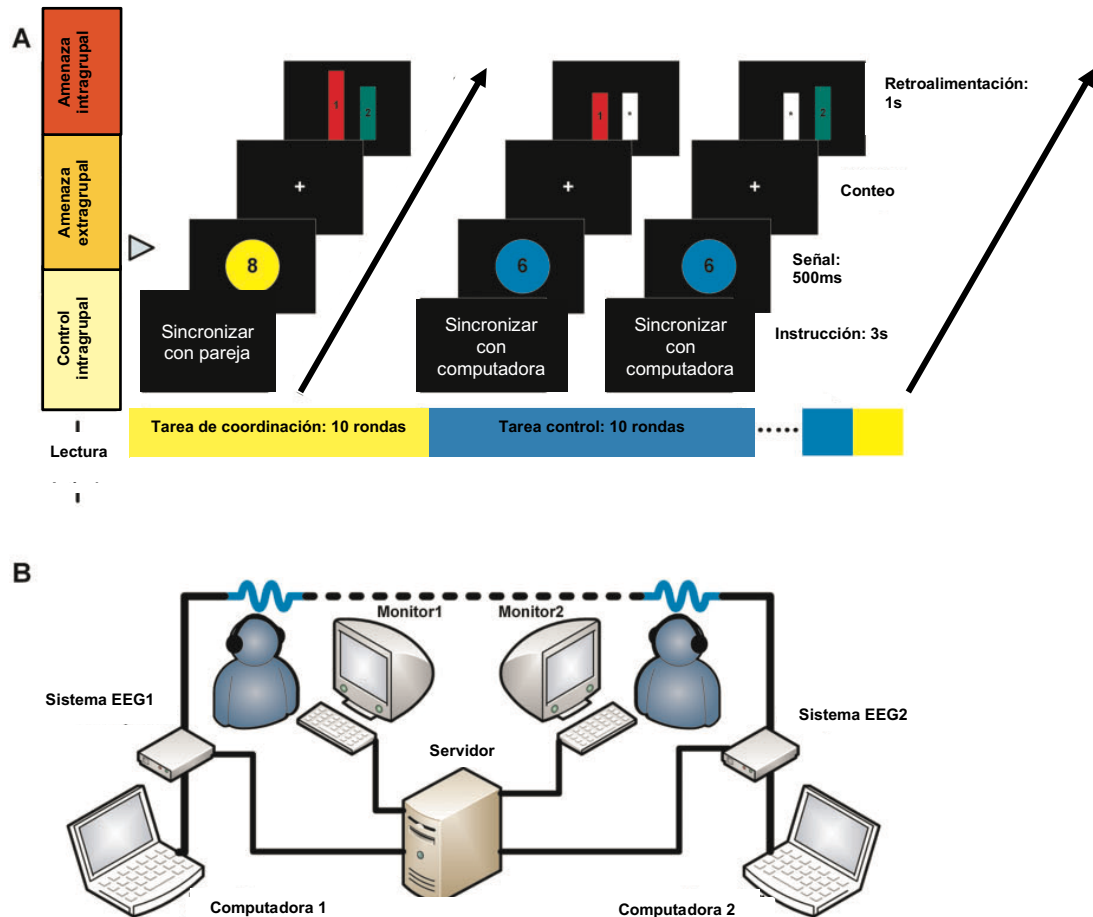


Figura 3.12 Diseño experimental de juego de coordinación mental. (A) Paradigma de coordinación: cada pareja fue asignada aleatoriamente a una de tres condiciones de amenaza: amenaza intragrupal, amenaza extragrupal y control intragrupal. Después de esto, cada pareja jugó un juego de coordinación interpersonal mientras se registraba su actividad EEG (B). La tarea consistía en cuatro sesiones, cada una con dos bloques de diez ensayos. En los distintos bloques los individuos debían sincronizarse con su pareja (tarea de coordinación) o con la computadora (tarea control). El orden de los bloques fue asignado aleatoriamente a cada pareja. En cada ensayo se presentó un número (del 6 al 10) dentro de un círculo por 500ms, indicando el tiempo en segundos al que cada pareja debía contar mentalmente. El color del círculo (amarillo o azul) indicaba si los participantes debían intentar sincronizarse con su compañero o con el reloj interno de la computadora. La presentación de una cruz fija al centro de la pantalla indicaba a los participantes que debían empezar a contar; después presionaban una tecla para indicar que habían terminado. Después de 1.5-2.5 s, se presentaron barras de retroalimentación por 1 s, las cuales indicaban el desfase temporal (entre sujetos o entre el sujeto y la computadora). Las barras de color (verde y rojo) representaban el tiempo de conteo de cada sujeto (1 y 2) relativo al conteo de su pareja; la barra blanca representaba el tiempo de conteo de la computadora. Modificado de Mu et al. (2017).

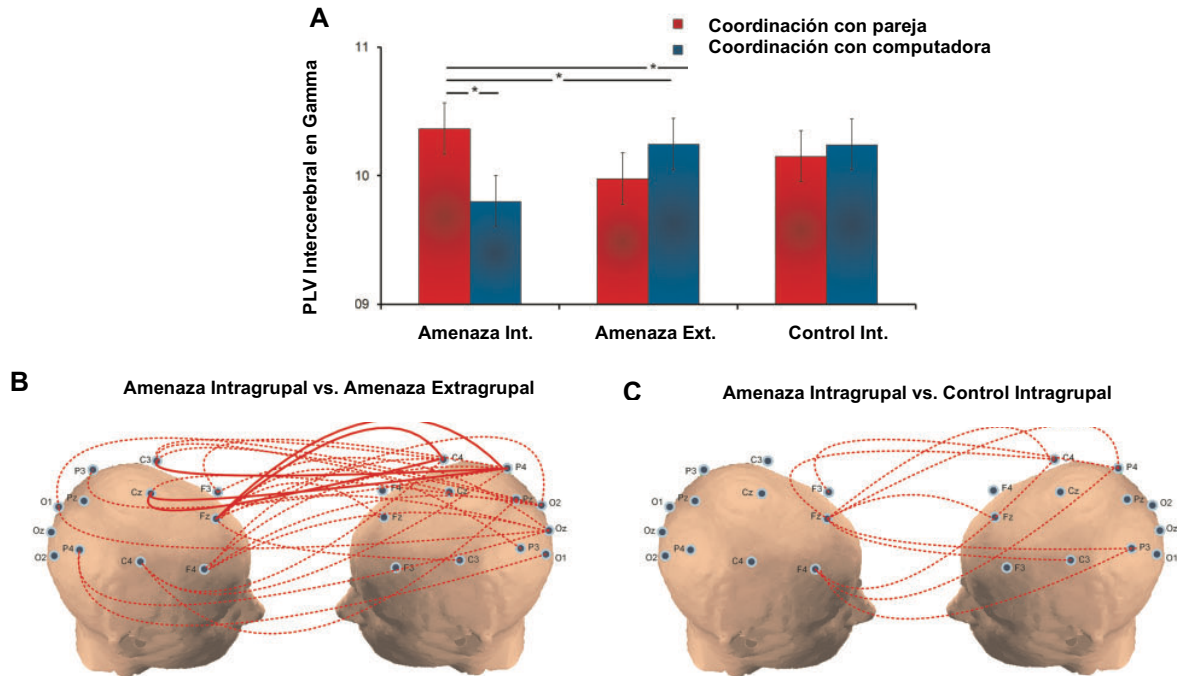


Figura 3.13 Sincronización intercerebral en la banda gamma (28-40 Hz) bajo condiciones de amenaza intragrupal. (A) Mayor sincronización intercerebral durante la coordinación con una pareja humana (vs una computadora) bajo la condición de amenaza intragrupal que bajo las condiciones de amenaza extragrupal o control intragrupal. (B) Mayor sincronización intercerebral en regiones distribuidas de la corteza durante la coordinación con una pareja humana (vs una computadora) en la condición de amenaza intragrupal que en la condición de amenaza extragrupal. (C) Mayor sincronización intercerebral en regiones frontales y posteriores de la corteza durante la coordinación con una pareja humana (vs una computadora) en la condición de amenaza intragrupal que en la condición de control intragrupal. (* $p < 0.05$; línea roja punteada $p < 0.05$; línea roja sólida $p < 0.01$). Modificado de Mu et al. (2017).

En todas las condiciones existió una correlación entre sincronización neuronal intercerebral y coordinación en la tarea (a mayor sincronización neuronal, menor desfase temporal en el conteo mental). La sincronización intercerebral no se presentó en los ensayos en los que cada individuo debía coordinar el conteo mental con una computadora. A través de un análisis de mediación³⁵, se confirmó que la sincronización

³⁵ El análisis de mediación busca identificar el mecanismo o proceso que está detrás de la relación entre una variable independiente y una variable dependiente. Esto se hace introduciendo una tercera variable hipotética, denominada variable mediadora. Un modelo de mediación propone que la variable independiente tiene influencia sobre la variable mediadora, la cual a su vez tiene influencia sobre la variable dependiente.

intercerebral en la banda gamma mediaba el efecto de la amenaza intragrupal sobre la coordinación interpersonal, lo cual apoya la hipótesis de que esta amenaza –la cual puede favorecer un mayor sentido de unión dentro del grupo– facilita la coordinación interpersonal mediante el *énfasis* de las oscilaciones neuronales de los individuos (Mu et al., 2017).

Alterando también la percepción de estar interactuando con otro humano o con una computadora, un estudio conducido por Hu y colaboradores (2018) evaluó la sincronización intercerebral con el juego del Dilema del Prisionero, manipulando dos variables: contexto cooperativo y presunta interacción. El contexto cooperativo fue calculado con un índice de cooperación. Cada ensayo podía tener un índice de cooperación alto (ICA) o bajo (ICB), dependiendo de las ganancias posibles por cooperar o desertar, y calculado con la siguiente fórmula: $IC = (CC - DD)/(DC - CD)$. Las ganancias en los ensayos con un ICA eran:

$$P = \begin{pmatrix} P^{CC} & P^{CD} \\ P^{DC} & P^{DD} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 & 0 \\ 6 & 1 \end{pmatrix}$$

por lo que el IC fue $0.67 = (5-1)/(6-0)$; las ganancias para ensayos con un ICB eran:

$$P = \begin{pmatrix} P^{CC} & P^{CD} \\ P^{DC} & P^{DD} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 7 & 1 \end{pmatrix}$$

por lo que el IC fue $0.38 = (4-1)/(7-(-1))$. Por otro lado, la presunta interacción se refiere a con quién cree un participante que está interactuando, i.e. con otra persona (condición humano-humano; H-H) o con una computadora (condición humano-máquina; H-M). Distintas instrucciones (“tu pareja es un humano” o “tu pareja es una computadora”)

aparecían en la pantalla semialeatoriamente antes del inicio de cada ensayo. Sin embargo, aún en las condiciones H-M, las personas en realidad seguían interactuando con la pareja humana, a pesar de tener la creencia de que era con una computadora (con un cuestionario posterior se confirmó que todos los participantes creyeron jugar con una computadora en las condiciones H-M).

Participaron 30 personas (pareadas aleatoriamente) que completaron 240 ensayos del juego mientras se registraba simultáneamente su actividad EEG. En cada condición (H-H o H-M), las parejas completaban 120 ensayos donde debían decidir cooperar o desertar con el fin de conseguir el mayor puntaje individual posible. La mitad de estos ensayos (60) tenían un índice de cooperación alto (ICA) y la otra mitad un índice de cooperación bajo (ICB). Adicionalmente, se evaluó la percepción de cooperación (“¿qué tan cooperativos crees que fueron tú y tu pareja?”) en forma separada para los contextos con un ICA y un ICB.

Tras calcular el *Phase-Locking Value* (PLV) entre parejas, se encontró significativamente mayor sincronización intercerebral en las bandas theta (en regiones fronto-centrales) y alfa (en regiones centroparietales) cuando los participantes creían jugar entre sí que cuando creían jugar con una computadora. Comparado con la condición H-M, hubo mayores efectos del índice de cooperación sobre la sincronización intercerebral en la condición H-H (un índice de cooperación alto incrementó el *énfasamiento* intercerebral en la condición H-H) (Fig. 3.14). Este *énfasamiento* no se presentó entre parejas “formales”. Adicionalmente, la sincronización intercerebral covarió con el índice de

cooperación (ICA o ICB) a lo largo de los ensayos. Un análisis de mediación reveló que la percepción subjetiva de cooperación entre los participantes medió la relación entre el contexto cooperativo y la sincronización intercerebral (Hu et al., 2018).

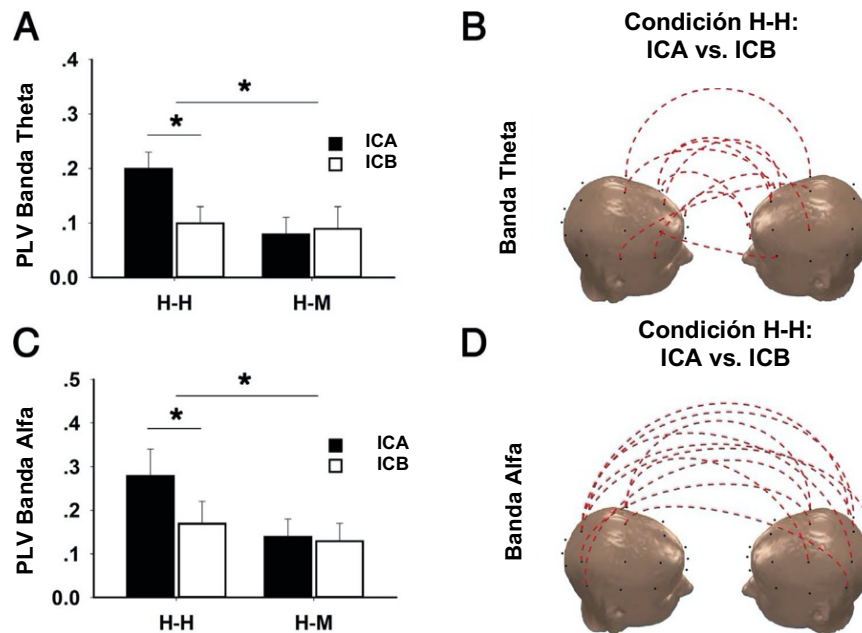


Figura 3.14 Sincronización intercerebral humano-humano vs humano-computadora. (A) PLV intercerebral promedio en la banda theta (4-7 Hz) entre electrodos frontocentrales. Hubo efectos significativos del índice de cooperación en las condiciones humano-humano (H-H), pero no en las condiciones humano-máquina (H-M). (B) Electrodo con un incremento en el PLV intercerebral en la banda theta por un contexto con un índice de cooperación alto (ICA) (vs un índice de cooperación bajo (ICB)) en la condición H-H. (C) PLV intercerebral promedio en la banda alfa (8-12 Hz) entre electrodos centroparietales. Hubo efectos significativos del índice de cooperación en las condiciones H-H, pero no las condiciones H-M. (D) Electrodo con un incremento en el PLV intercerebral en la banda alfa por un contexto con un ICA (vs un ICB) en la condición H-H. * $p < 0.05$; líneas punteadas: $p < 0.05$. Modificado de Hu et al. (2018).

Si bajo estos paradigmas experimentales, donde se busca controlar que no exista una sincronización inducida por los estímulos externos y se comparan parejas “reales” contra parejas “formales”, los estudios de hiperescaneo EEG consecutivamente revelan marcadores de sincronización oscilatoria intercerebral, podría ser entonces que, así como en un cerebro individual, la dinámica de actividad neuronal durante la interacción podría generar integración funcional entre cerebros (Kelso & Engstrom, 2006; Stevens

et al., 2017; Stevens & Galloway, 2016, 2017) y tener un efecto sobre la consciencia fenomenológica. Esto es respaldado por uno de los aspectos de los estudios de hiperescaneo EEG más interesantes y menos explorados: una asociación entre la sincronización neuronal intercerebral y las experiencias conscientes relacionadas con cercanía social.

3.3 Sincronización intercerebral y consciencia: experiencias subjetivas de cercanía social

A pesar de que la mayoría de los paradigmas experimentales no toman en cuenta la experiencia de los participantes (Balconi & Vanutelli, 2017), aquellos que sí lo hacen han producido resultados verdaderamente interesantes. Como lo ilustra el último estudio descrito en la sección anterior, la percepción de cooperación entre integrantes de una pareja funciona como mediadora del nivel de sincronización neuronal intercerebral durante la cooperación (Hu et al., 2018). Adicionalmente, los sentimientos de *engagement*³⁶, afinidad, empatía y cercanía social entre sujetos pueden predecirse por el nivel de sincronización intercerebral (Bevilacqua et al., 2019; Dikker et al., 2017).

En un estudio longitudinal de hiperescaneo EEG, Dikker y colaboradores registraron la actividad neuronal de una generación de 12 estudiantes de preparatoria a lo largo de un semestre (11 sesiones) durante sus actividades normales de clase (Fig. 3.15), con la hipótesis de que la actividad neuronal sincronizada en un grupo de estudiantes predice (y posiblemente sostiene) el *engagement* y las dinámicas sociales.

³⁶ Este término, proveniente del inglés, es difícil de traducir, pero significa algo similar a una sensación de compromiso o involucramiento emocional.

Primero examinaron la relación entre la sincronización intercerebral (estimada con Interdependencia Total (IT)) y las evaluaciones de los estudiantes acerca de distintos métodos de enseñanza (video, cátedra y discusión grupal) a lo largo del tiempo. Los estudiantes evaluaron cada estilo de enseñanza después de cada sesión de registro y al final del semestre. Se encontró un efecto del estilo de enseñanza sobre las evaluaciones de los estudiantes y una similitud entre esto y la sincronización grupal, así como la sincronización de cada estudiante con el grupo. Asimismo, vieron una correlación positiva entre la sincronización y las evaluaciones: a mejor evaluación por parte de los estudiantes al final del semestre, más fuerte la sincronización promedio de cada estudiante con el grupo.

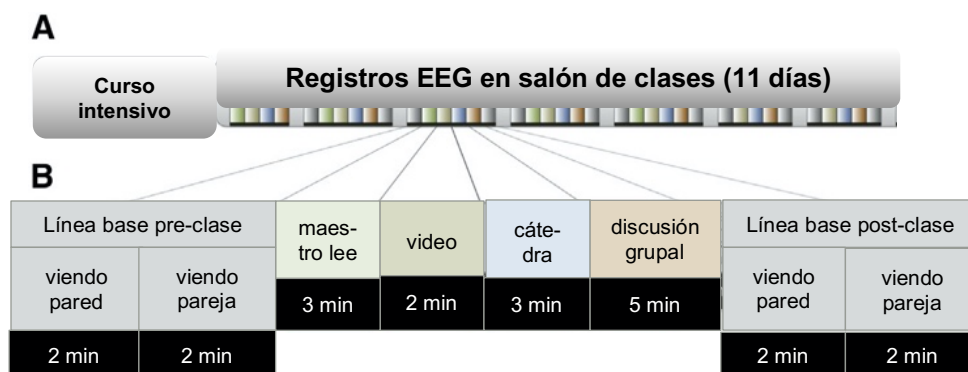


Figura 3.15.1 Diseño experimental y procedimiento de hiperescaneo en un salón de clases. (A) Cronología del experimento. El semestre comenzó con un curso intensivo de neurociencias, seguido por 11 días de registro, distribuidos en un periodo de 3 meses. (B) Muestra de procedimiento durante un día de registro típico: la actividad EEG fue registrada bajo distintos métodos de enseñanza (video, cátedra y discusión) durante un mismo día de clase. Modificado de Dikker et al. (2017).

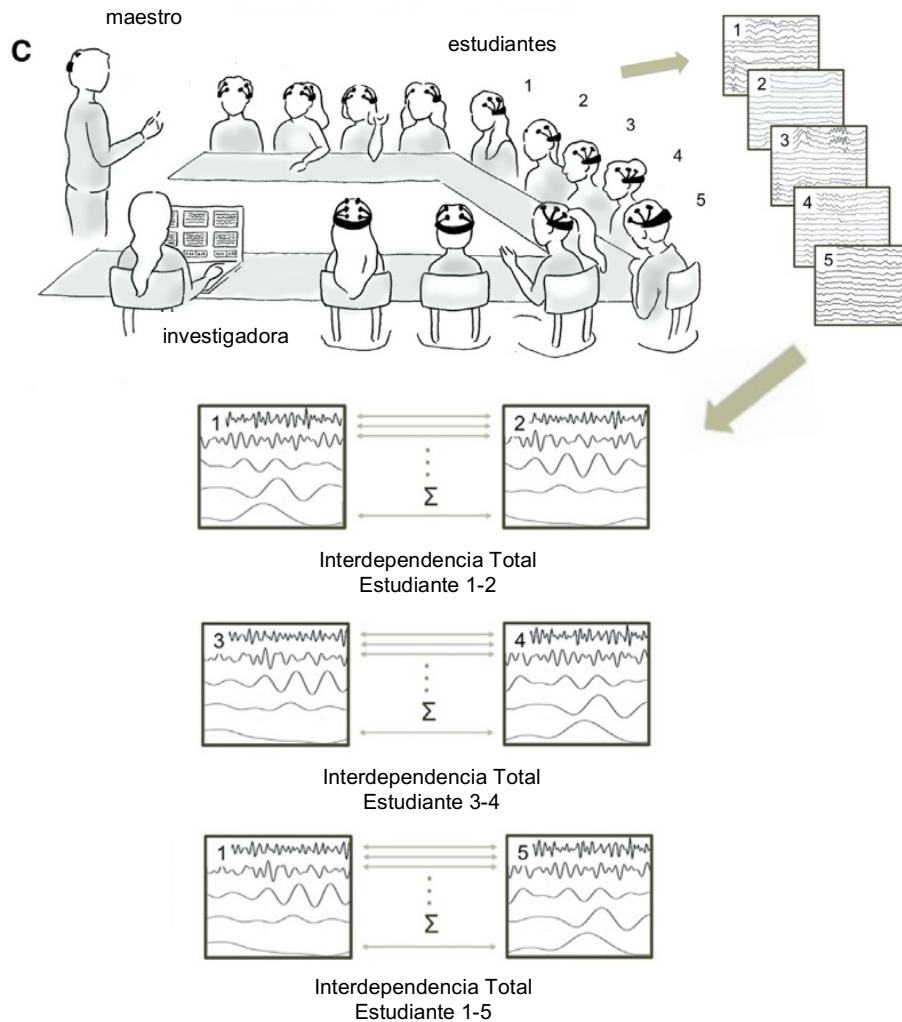


Figura 3.15.2 Diseño experimental y procedimiento de hiperescaneo en un salón de clases. (C) Montaje experimental: tanto el maestro como los estudiantes fueron instrumentados con dispositivos de registro EEG inalámbrico (EMOTIV EPOC). (D) La sincronización intercerebral fue calculada con el estimador de Interdependencia Total (IT), el cual toma la señal EEG de cada estudiante, la descompone en bloques de frecuencia (1-20 Hz, con 0.25 Hz de resolución) y calcula la suma de la coherencia intercerebral de pares de estudiantes para cada bloque. Por lo tanto, la IT cuantifica la coherencia intercerebral a lo largo del espectro de frecuencia, permitiendo la identificación de señales cerebrales de interés. Modificado de Dikker et al. (2017).

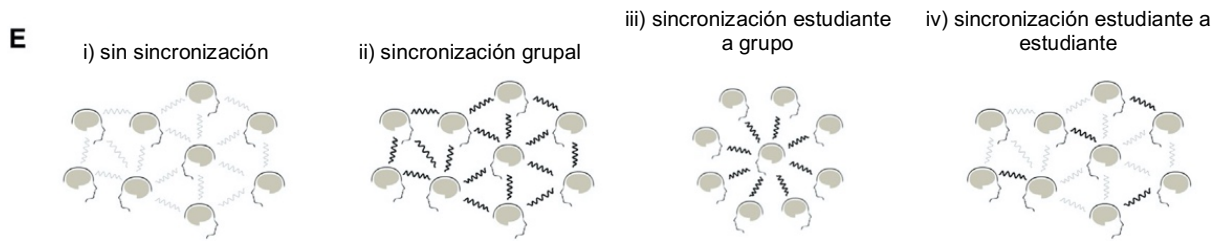


Figura 3.15.3 Diseño experimental y procedimiento de hiperescaneo en un salón de clases. (E) La Interdependencia Total (IT) permite analizar la sincronización cerebro a cerebro en múltiples niveles de investigación: sincronización grupal (promediando los valores IT de todos los pares posibles de un grupo) (ii); sincronización estudiante a grupo (promediando los valores IT de un estudiante en específico con cada uno de sus compañeros) (iii); y sincronización estudiante a estudiante (valores IT entre pares de estudiantes) (iv). Modificado de Dikker et al. (2017).

Los estudiantes que se sentían más concentrados durante una clase mostraron mayor sincronización intercerebral en la banda alfa con el resto del grupo (Fig. 3.16 A). Asimismo, la afinidad al grupo y disposición empática predijo la sincronización del estudiante con el grupo, más allá del estilo de enseñanza (Fig. 3.16 B, C). Esto demuestra que factores subjetivos (como la concentración, empatía y afinidad) contribuyen a la sincronización más allá de la naturaleza del estímulo.

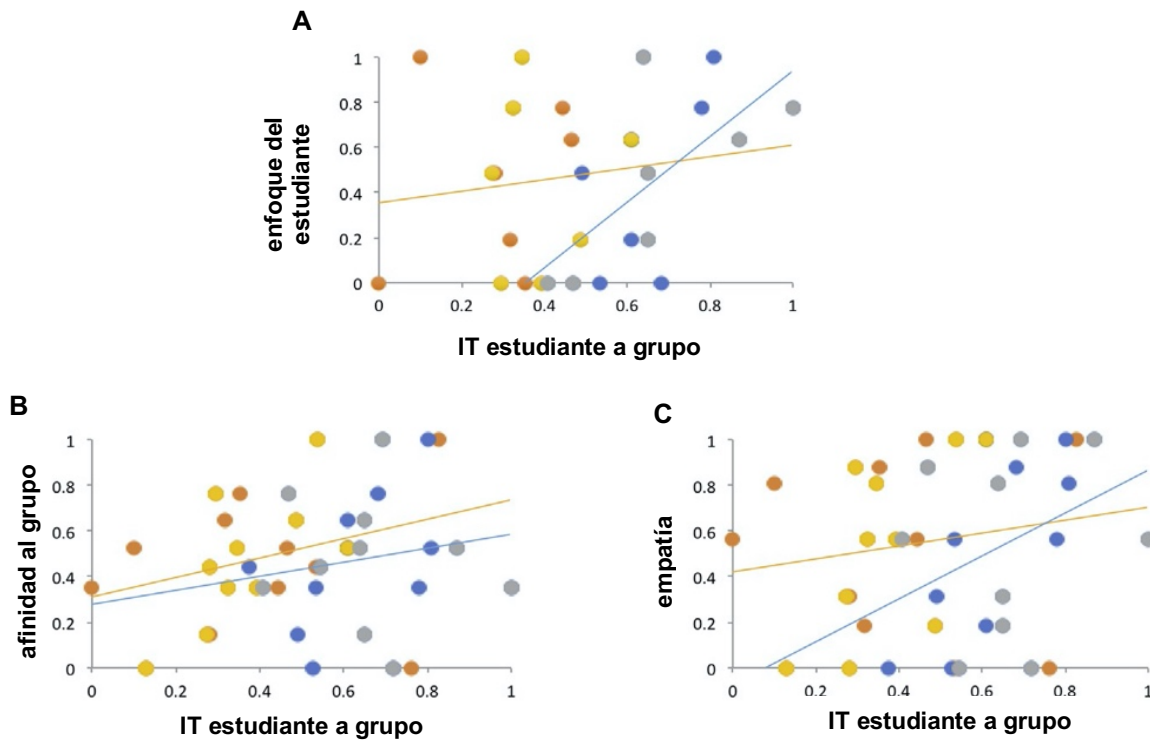


Figura 3.16 Relación del estilo de enseñanza y rasgos individuales con la sincronización intercerebral. Adicional al estilo de enseñanza, la concentración del estudiante (A), afinidad al grupo (B) y empatía (C) predijeron, cada una por separado, la Interdependencia Total (IT) de estudiante a grupo. Los colores de los puntos representan los distintos estilos de enseñanza: video (azul), discusión (gris), lectura en voz alta (naranja), cátedra (amarillo). (Las líneas de tendencia son mostradas por estilo de enseñanza (azul: discusión y video, amarillo: lectura en voz alta y cátedra). Todos los valores están normalizados en una escala del 0 al 1 (max-min), cada punto refleja la IT de un par de estudiantes en uno de los cuatro estilos de enseñanza. $p < 0.05$ (autores no reportan la r^2). Modificado de Dikker et al. (2017).

También se investigaron las evaluaciones de cercanía social de los estudiantes hacia su maestro y hacia sus compañeros y se introdujeron manipulaciones que involucraban o no interacción social directa (Fig. 3.17). Además, para investigar el efecto del maestro sobre la sincronización de cada estudiante con el grupo, se compararon los dos estilos de enseñanza donde el maestro estaba menor o mayormente involucrado (video o cátedra, respectivamente). A pesar de que la sincronización cerebral fue mayor durante el video que durante la cátedra en todos los estudiantes (lo cual pudo deberse a

sincronización inducida por exposición al video), la diferencia correlacionó con la evaluación al maestro: mientras más positiva era la evaluación de un estudiante sobre el maestro, menor era la diferencia en sincronización cerebral entre los momentos de enseñanza con video y cátedra.

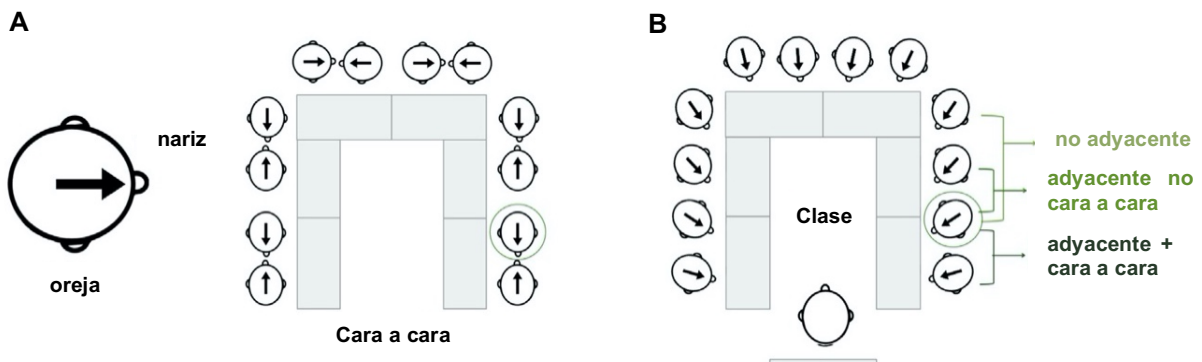


Figura 3.17 Tipos de parejas de estudiantes. (A) Antes de cada clase, parejas de estudiantes (asignadas por los experimentadores) se sentaban cara a cara y se veían a los ojos durante 2 minutos. (B) Ilustración de un estudiante (circulado) de cómo la línea base de cara a cara permitió la comparación de la IT entre pares para tres tipos de parejas de estudiantes: estudiantes sentados juntos con contacto visual previo a la clase (adyacentes + cara a cara), estudiantes sentados juntos sin contacto visual previo (adyacentes, no cara a cara) y estudiantes no sentados juntos (no-adyacentes). Modificado de Dikker et al. (2017).

Posteriormente, evaluaron si la sincronización entre parejas de estudiantes variaba en función de la configuración del salón (en cada clase, a los estudiantes les fueron asignados lugares aleatoriamente por los experimentadores) y de la interacción. Como se puede ver en Fig. 3.15.1(B) y Fig. 3.17(A), los estudiantes se veían a los ojos (cara a cara) con un compañero durante 2 minutos antes de comenzar la clase. Así, pudieron comparar la relación entre la sincronización entre pares y los reportes subjetivos de cercanía social de los estudiantes en tres tipos de parejas: estudiantes sentados juntos que habían tenido contacto visual antes de la clase (adyacentes + cara a cara), estudiantes sentados juntos que no habían tenido contacto visual (adyacentes, no cara a cara) y estudiantes que no estaban sentados juntos (no adyacentes) (Fig. 3.17).

Encontraron que los estudiantes mostraron los niveles más altos de sincronización intercerebral en alfa a lo largo de la clase con quienes habían tenido contacto visual previo. Adicionalmente, dentro de los pares adyacentes + cara a cara, aquellos que reportaron mayor cercanía social entre sí exhibieron también mayor sincronización neuronal en alfa durante las actividades de la clase. En conclusión, su análisis demostró que el grado de sincronización de la actividad cerebral entre estudiantes predijo en forma consistente tanto el *engagement* durante la clase como dinámicas sociales tales como la afinidad al grupo, la empatía y la cercanía social (Dikker et al., 2017).

De manera similar, Bevilacqua y colaboradores utilizaron un paradigma experimental muy similar y evaluaron la sincronización intercerebral en 12 estudiantes durante un semestre (6 sesiones). Se enfocaron en analizar la sincronización neuronal con respecto a estilos de enseñanza (video y cátedra), retención de conocimiento (medido con un examen de opción múltiple después de cada clase) y evaluaciones subjetivas de cercanía estudiante-maestro. La sincronización intercerebral entre maestro y estudiantes varió en función del *engagement* del estudiante, así como del nivel de agrado hacia el maestro. Los estudiantes que reportaron mayor cercanía social con el maestro mostraron mayor sincronización intercerebral con él. Este resultado sólo fue observado durante las cátedras (vs. videos) (i.e. cuando el maestro era una parte integral de la situación). Además, hubo una correlación significativa entre las evaluaciones de cercanía estudiante-maestro y la retención de contenido; sin embargo, la sincronización intercerebral estudiante-maestro no predijo la retención de contenido en ningún estilo de enseñanza (Fig. 3.18) (Bevilacqua et al., 2019).

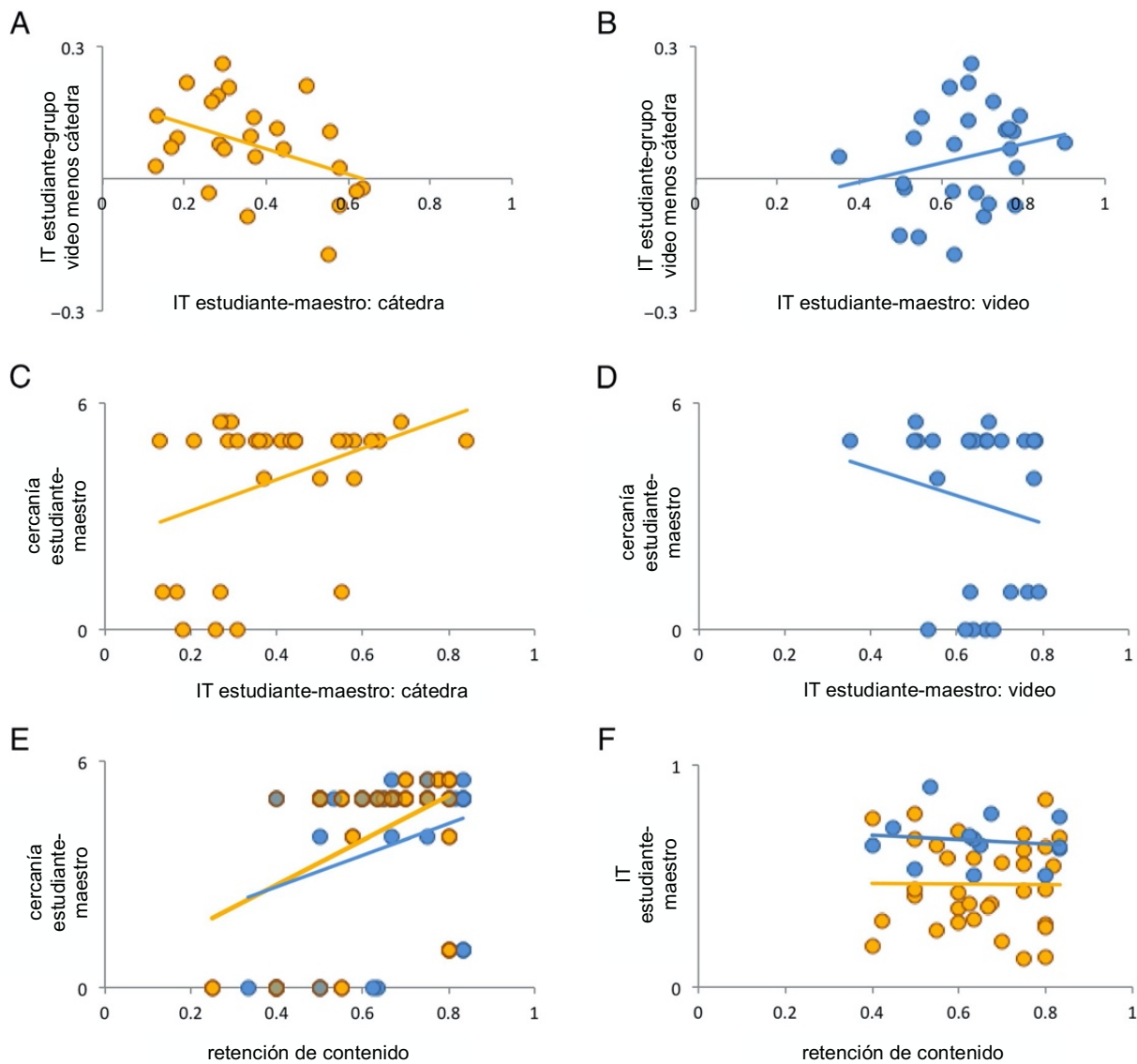


Figura 3.18 Dinámica social, retención y sincronización estudiante maestro. (A) La diferencia entre la Interdependencia Total (IT) (estudiante-grupo durante videos menos IT durante cátedras) en el rango de frecuencia de 1 a 20 Hz predijo mayor sincronización con el maestro durante las cátedras, pero no durante los videos (B). (C) La cercanía estudiante-maestro predijo la sincronización estudiante-maestro durante las cátedras, pero no durante los videos (D). La cercanía estudiante-maestro predijo mayor retención del contenido de la clase ($r = .352$, $p = .003$) (E), pero la sincronización estudiante-maestro no lo hizo (F). $p < 0.05$ (autores no reportan la r^2). Modificado de Bevilacqua et al. (2019).

Otro experimento estudió la sincronización intercerebral (estimado con Correlación Circular) en parejas románticas y su relación con la sensación de dolor y la empatía (Goldstein et al., 2018). Los investigadores reclutaron a 22 parejas (heterosexuales) y

les asignaron los roles de receptor a las mujeres y de observador a los hombres bajo condiciones cruzadas de dolor/no-dolor y tacto/no-tacto, en compañía o no de su pareja (sola/no-sola) mientras su actividad EEG era registrada (Fig. 3.19). En total, cada pareja pasó por seis condiciones contrabalanceadas, con una duración de 120 segundos cada una: no-dolor/sola, dolor/sola, tacto/no-dolor, no-tacto/no-dolor, tacto/dolor y no-tacto/dolor (donde “tacto” consistía en que la pareja se tomara de la mano dominante). La condición dolor/sola incluía estimulación dolorosa (calor) aplicada al antebrazo izquierdo de la receptora mientras su pareja se encontraba en un cuarto adyacente; en la condición no-dolor/sola la receptora no recibía el estímulo doloroso y su pareja estaba sentada en el mismo cuarto pero separado por una cortina. Durante la condición tacto/no-dolor, los participantes (receptora y observador) se sentaban uno frente al otro y se tomaban de la mano, mientras que durante la condición no-tacto/no-dolor el observador estaba presente sin establecer ningún tipo de contacto físico. Durante la condición tacto/dolor, el estímulo doloroso era administrado a la receptora mientras su pareja la tomaba de la mano. En la condición no-tacto/dolor, la receptora recibía el mismo estímulo doloroso, pero su pareja sólo estaba presente sin establecer contacto físico. En las condiciones de no-tacto se dio la instrucción a los participantes de tomarse del descansabrazo de sus sillas. En todas las condiciones los participantes escuchaban un sonido que señalizaba el inicio del ensayo. Para las condiciones de no-dolor, el aparato estaba conectado al antebrazo de la receptora pero no se administraba ningún estímulo.

Las receptoras calificaban la intensidad con la que percibieron el estímulo doloroso dos segundos antes del final de cada condición con una escala de dolor numérica³⁷; los observadores calificaban el nivel de dolor que creían que su pareja había experimentado.

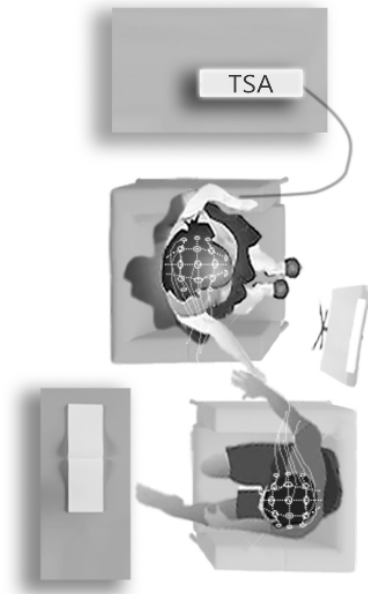


Figura 3.19 Configuración experimental de estudio de hiperescaneo durante la administración de un estímulo doloroso. Los estímulos dolorosos fueron administrados en el antebrazo izquierdo de las receptoras con un Estimulador Termosensorial (TSA, por sus siglas en inglés) (Goldstein et al., 2018).

A partir de las evaluaciones subjetivas de las parejas, los investigadores estudiaron la “precisión empática”, definida como la diferencia entre las calificaciones de dolor de cada individuo de la pareja (calificación del observador menos calificación de la receptora) dividida entre la suma de ambas calificaciones. Una diferencia pequeña entre las evaluaciones de cada sujeto correspondía, entonces, a una alta “precisión empática”. Asimismo, calcularon una medida de analgesia, definida como el porcentaje de diferencia

³⁷ Antes de comenzar el experimento, todas las participantes receptoras pasaron por una etapa de familiarización y calibración, donde se les aplicaban tres estímulos dolorosos de distinta intensidad (utilizando un termodo), que posteriormente debían evaluar en una escala numérica del 0 (sin dolor) al 100 (peor dolor imaginable). La intensidad de los estímulos administrados durante el experimento fue ajustada individualmente para evocar una sensación de 60/100 en todas las receptoras.

entre la evaluación de dolor en las condiciones de tacto-dolor y no-tacto-dolor con la evaluación de dolor en la condición de dolor-sola.

El hallazgo principal de este estudio fue que el contacto físico durante la administración de un estímulo doloroso (condición tacto/dolor) no sólo tuvo un efecto analgésico³⁸, sino que incrementó la sincronización intercerebral en la banda alfa-mu (entre regiones centrales de las receptoras y el hemisferio derecho de los observadores), comparado con el resto de las condiciones (Fig. 3.20). Adicionalmente, la sincronización intercerebral correlacionó positivamente con la medida de analgesia en las receptoras y con la “precisión empática” del observador (Goldstein et al., 2018) (Fig. 3.21).

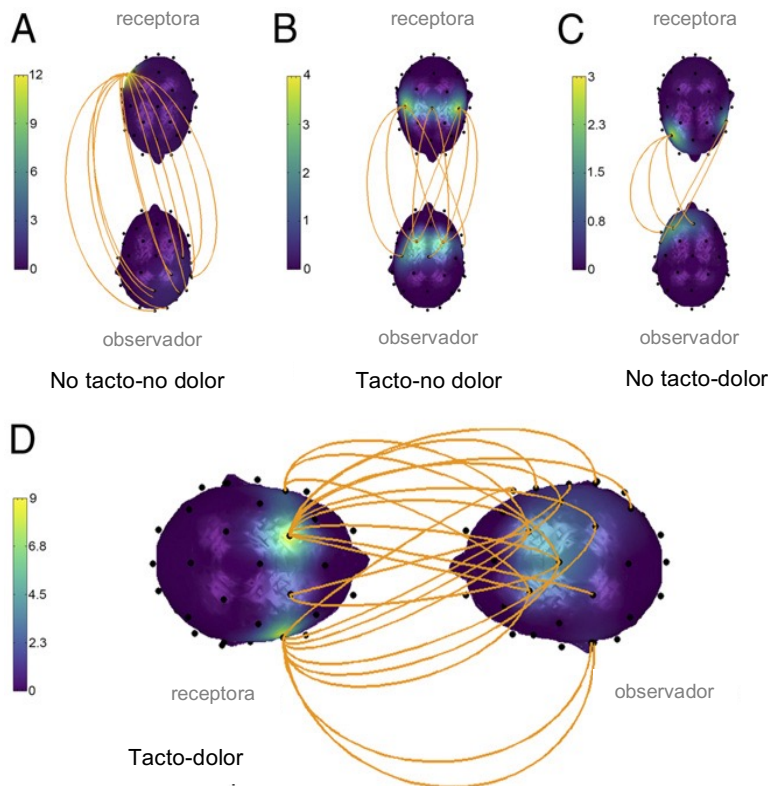


Figura 3.20 Sincronización intercerebral durante tacto-dolor. Conexiones intercerebrales en la banda alfa-mu (8-12 Hz) durante (A) no-tacto-no dolor vs dolor-sola (12 conexiones); (B) tacto-no dolor vs dolor-sola (10 conexiones); (C) no-tacto-dolor vs dolor-sola (5 conexiones); (D) tacto-dolor vs todas las otras condiciones (22 conexiones). La cabeza superior representa a la mujer (receptora de estímulo doloroso) y la inferior al hombre (observador) de cada pareja. Las líneas naranjas representan las conexiones estadísticamente significativas entre áreas correspondientes de ambos cerebros ($p < 0.01$). El color de las cabezas refleja el número de conexiones. Modificado de Goldstein et al. (2018).

³⁸ La analgesia fue calculada como la diferencia porcentual entre la evaluación final de dolor de las receptoras en las condiciones no-tacto/dolor y tacto/dolor y la evaluación final de dolor en la condición dolor/sola.

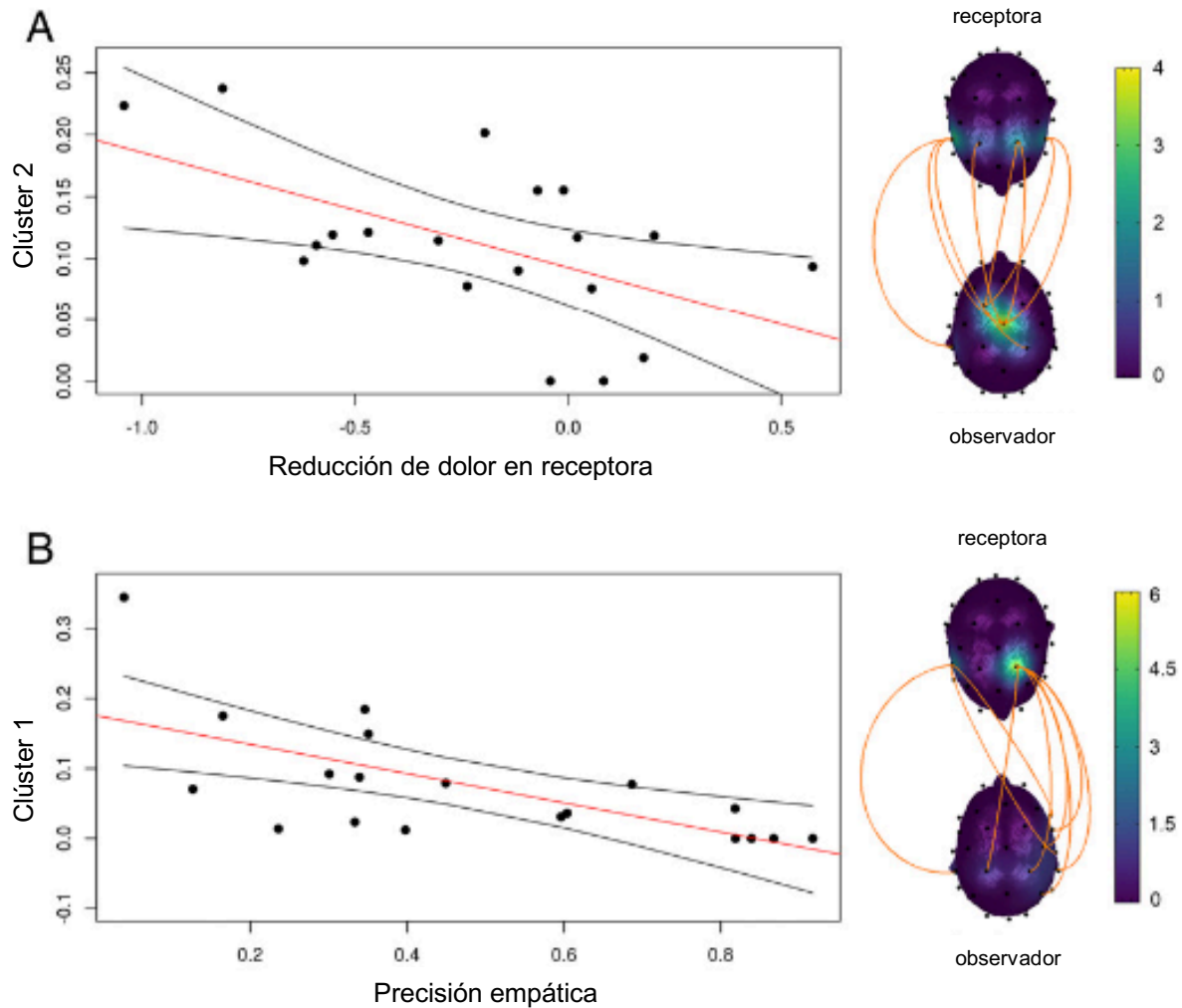


Figura 3.21 Sincronización intercerebral, efecto de analgesia y precisión empática. La sincronización intercerebral predice el efecto de analgesia en la receptora (A) y la precisión empática del observador (B). Previo a este análisis, los investigadores realizaron un análisis clúster (con factorización matricial no negativa) de las conexiones intercerebrales entre sujetos. Las conexiones intercerebrales en la banda alfa-mu (8-12 Hz) en los cuadros de la derecha muestran el patrón de acoplamiento en los clústers 2(A) y 1(B). Las figuras incluyen una línea de regresión con un intervalo de confianza del 95%. El eje de la y representa las conexiones intersujetos del clúster 2(A) y el clúster 1(B). La precisión empática fue definida como la diferencia entre las calificaciones de dolor (experimentadas o estimadas) dividido entre la suma de las calificaciones de dolor de ambos sujetos. Una discrepancia pequeña entre las calificaciones de cada sujeto corresponde a una precisión empática alta. La analgesia fue calculada como la diferencia porcentual entre la calificación final de cada receptora en las condiciones no-tacto/dolor y tacto/dolor y su calificación en la condición dolor/sola. Modificado de Goldstein et al. (2018).

La sensación de experimentar el tacto o dolor de otra persona se ha reportado repetidamente en estudios intracerebrales, donde la respuesta de dolor afectivo es

desatada al ver que otra persona recibe un estímulo doloroso (Hari & Kujala, 2009). Más importante aún, la experiencia de dolor compartido también se ha relacionado con una “fusión” *yo-otro* (Derbyshire et al., 2013) y parece estar ausente en personas dentro del trastorno del espectro autista (Minio-Paluello et al., 2009), lo cual apoya la teoría de la sincronización intercerebral como un mecanismo para compartir el mundo social (Hasson et al., 2012).

Adicionalmente, parece que la naturaleza de la relación entre participantes tiene un efecto en la sincronización neuronal (Pan et al., 2017) (ver Cuadro 1) y el contexto bajo el cual aparece. Comparando parejas románticas con parejas de extraños, Kinreich y colaboradores realizaron un estudio de interacción social no-verbal (intercambio de mirada y muestras positivas de afecto) en relación con la sincronización neuronal intercerebral en un grupo de 104 personas, compuesto por parejas (hombre-mujer) románticas (en cohabitación) versus extraños (Kinreich et al., 2017). Las parejas fueron grabadas con video y su actividad neuronal EEG fue simultáneamente registrada mientras estaban sentados uno frente al otro y tenían una conversación libre sobre un tema positivo (planear un “día divertido”). Antes de comenzar la interacción, las parejas pasaron por una línea base de 3 minutos con los ojos abiertos, pero con un biombo en medio de los dos. Posteriormente, las interacciones fueron codificadas para identificar intercambios de mirada y demostraciones de afecto positivo (sonrisa, risa, entusiasmo) entre los individuos.

Cuadro 1. Más allá del EEG

El tipo de resultados descritos aquí no se limitan al método de hiperescaneo con EEG; estudios de hiperescaneo con MEG, RMf y fNIRS reportan hallazgos similares. Revisarlos va más allá del propósito de este trabajo, sin embargo, debo recalcar la importancia de estas técnicas para obtener una imagen más completa de la actividad cerebral durante la interacción social; el registro y análisis multimodal son cada vez más necesarios.

De particular relevancia para la dinámica oscilatoria cerebral, los estudios de hiperescaneo fNIRS -que, a pesar de no registrar la dinámica eléctrica directamente, puede develar actividad neuronal *enfasada* en forma local-, muestran que existe mayor sincronización intercerebral cuando, por ejemplo, los participantes –sentados uno junto al otro- juegan un juego en computadora y se requiere que cooperen, pero no cuando se requiere que compitan (Cui et al., 2012)

El estudio pionero de Funane y colaboradores reveló que la coherencia espaciotemporal de señales intercerebrales en parejas de participantes estaba asociada con el desempeño cooperativo. Se les pidió a los participantes que contaran mentalmente hasta diez después de escuchar un tono auditivo y, posteriormente, presionar un botón con la intención de coordinarse con su compañero. Cuando los patrones de actividad durante el conteo estaban más sincronizados, el intervalo de tiempo entre la presión del botón de cada uno fue menor; este resultado no pudo ser explicado en términos de un artefacto por movimiento (Funane et al., 2011).

Mayor sincronización neuronal también aparece entre sujetos cuando completan un rompecabezas juntos, comparada con situaciones en donde los mismos sujetos completan rompecabezas idénticos pero en forma individual, o cuando ven a otros completar un rompecabezas (en persona o en una grabación de video) (Fishburn et al., 2018). Un estudio similar reveló asimismo sincronización intercerebral entre dos individuos al cantar o tararear juntos, pero no al cantar individualmente (a pesar de estar físicamente juntos); este efecto desapareció entre parejas “formales” (Osaka et al., 2015).

La naturaleza de la relación entre los sujetos también tiene un efecto en la sincronización. Comparando cooperación en parejas románticas vs parejas de amigos y de extraños, se encontró que los tiempos de reacción entre parejas románticas es menor y menos variable que entre las otras parejas. Asimismo, la sincronización cerebral interpersonal se presentó únicamente entre parejas románticas, la cual covarió con el desempeño en la tarea. Las parejas románticas presentaron una mayor sensación de cooperación entre sí que las parejas de amigos o extraños (Pan et al., 2017).

Encontraron sincronización neuronal intercerebral significativa entre parejas románticas durante la interacción, pero no entre parejas de extraños. Dicha sincronización se presentó en regiones temporo-parietales en la banda gamma (Fig. 3.21). En las parejas románticas, la sincronización estaba anclada a episodios de mirada mutua y muestras de afecto positivo³⁹ (Fig. 3.22). A pesar de que este efecto no se encontró entre extraños, un análisis de la duración total de las conductas sociales durante la interacción entre extraños demostró que a mayor duración (porcentaje) de mirada mutua y afecto positivo durante la sesión, mayor sincronización neuronal (Fig. 3.23). La sincronización intercerebral no estuvo relacionada con episodios de habla o no-habla, ni con el contenido general de las conversaciones (Kinreich et al., 2017).

Adicionalmente, antes del inicio del experimento cada participante completó un cuestionario⁴⁰ que mide el apego romántico en dos dimensiones: ansiedad sobre la relación y evitación de intimidad, un puntaje alto en este cuestionario refleja apego inseguro (Sibley & Liu, 2004 en Kinreich et al., 2017). Al finalizar respondieron, utilizando una escala Likert, cuatro preguntas relacionadas con la sensación de colaboración de la pareja durante la interacción⁴¹. Conforme a estos reportes subjetivos, los investigadores encontraron una correlación negativa significativa entre ansiedad de apego en los hombres y correlación intercerebral gamma con su pareja; o sea, a mayor ansiedad de

³⁹ Como muestras de afecto positivo se consideraron expresiones claras de emoción o energía positiva, como el reír, hablar de manera emocionada o mostrar entusiasmo.

⁴⁰ Experiencias en Relaciones Cercanas – Revisado (ECR-R, por sus siglas en inglés).

⁴¹ Preguntas: 1) ¿Cuál fue el nivel de colaboración entre tu pareja y tú durante la interacción? 2) ¿Qué tan placentera fue la interacción entre tu pareja y tú durante la interacción? 3) ¿Qué tanto la contribución de tu pareja fue central a la interacción? 4) ¿Qué tanto tu contribución fue central a la interacción? (Kinreich et al., 2017, traducción propia).

apego romántico, menor correlación intercerebral en gamma con su pareja durante la interacción social. Entre extraños, pero no entre parejas románticas, la sincronización intercerebral correlacionó con la sensación de colaboración promedio (Fig. 3.23).

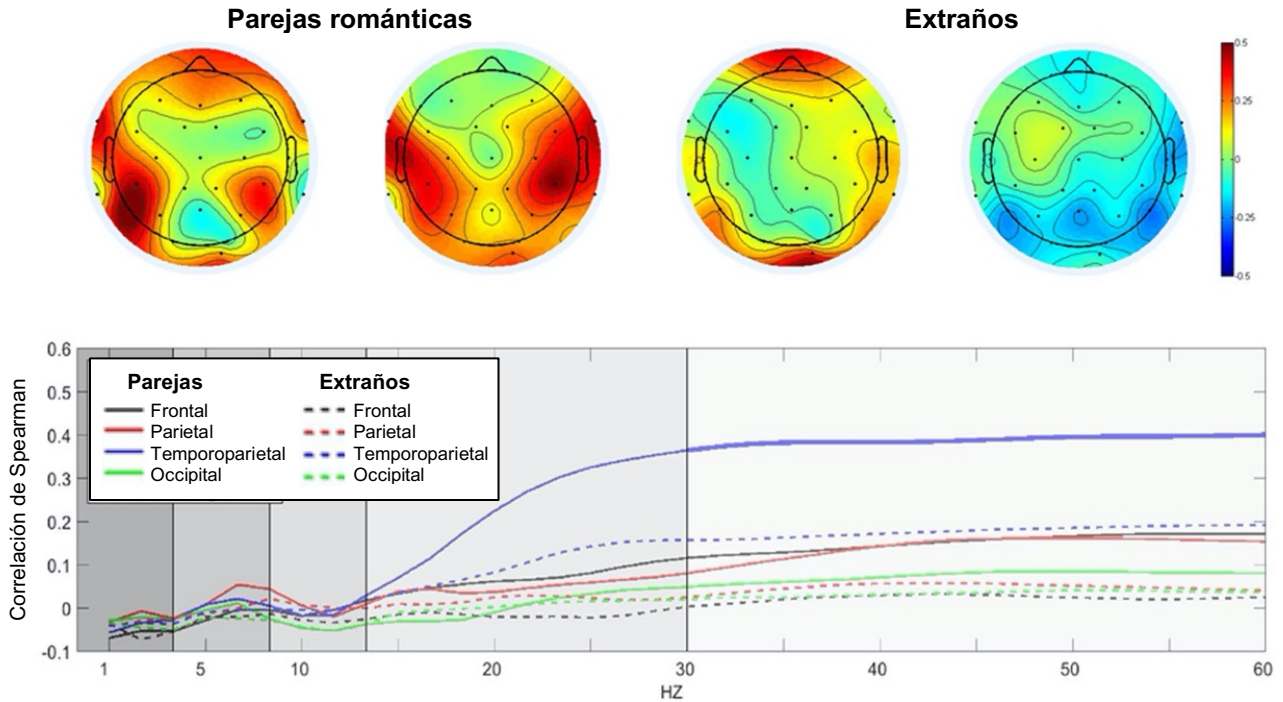


Figura 3.21 Sincronización intercerebral entre parejas románticas durante una interacción social natural. Panel superior: ejemplo de la distribución espacial de las correlaciones en gamma (30-60 Hz) en una pareja romántica y una pareja de extraños. Se realizó Correlación de Spearman en la banda gamma de canales similares para el hombre y mujer de cada pareja. Las correlaciones se muestran por separado para parejas románticas y extraños y reflejan mayor correlación en las áreas temporo-parietales en parejas románticas. Panel inferior: análisis espectral de correlación por diadas. La transformada continua de Fourier de cada electrodo EEG fue promediada por regiones de interés (occipital, frontal, parietal y temporo-parietal) y correlacionada con la de la pareja. La gráfica muestra los valores de correlación para cada banda de frecuencia promediada por grupos (parejas románticas y extraños). Se encontraron valores de correlación significativos en la banda gamma (30-60 Hz) sobre regiones temporo-parietales en parejas románticas (línea gruesa azul) ($p < 0.01$). Modificado de Kinreich et al. (2017).

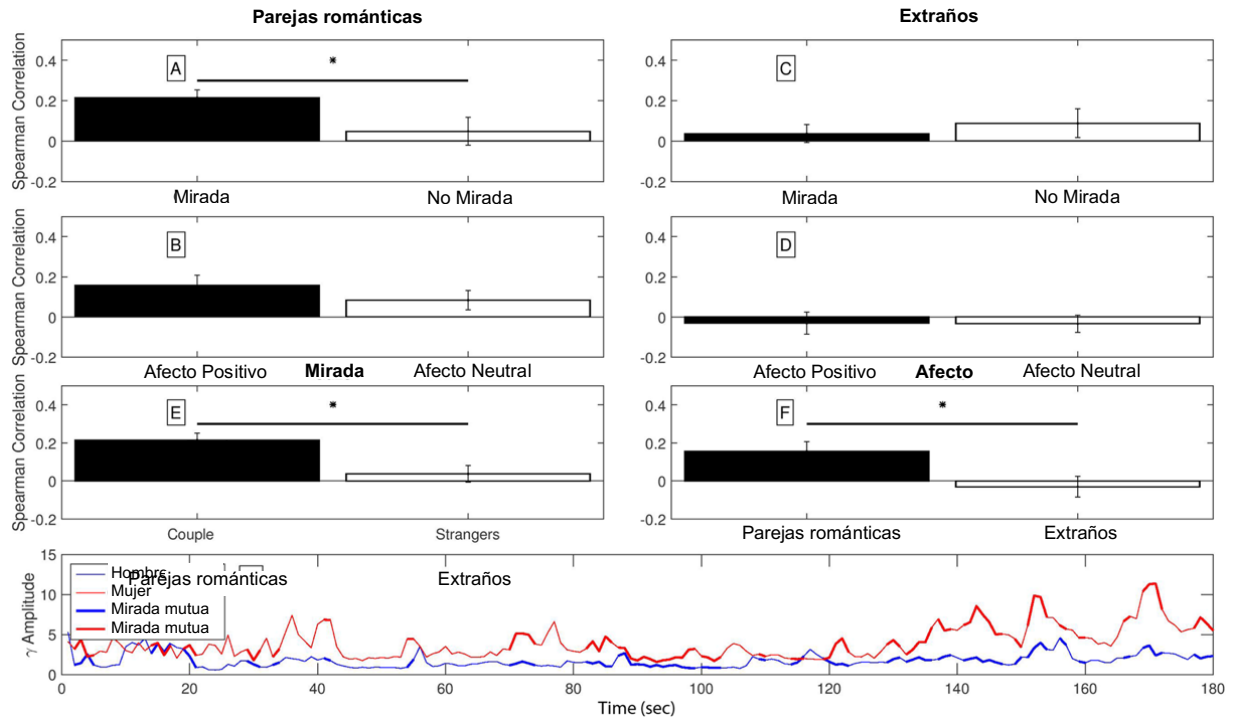


Figura 3.22 Medidas conductuales y sincronización intercerebral. Panel superior: valores de correlación diádica en gamma (30-60 Hz) durante episodios de mirada mutua y afecto positivo. Comparación entre la correlación promedio entre la fluctuación gamma temporo-parietal durante episodios de mirada mutua vs no-mirada y episodios de afecto positivo vs afecto neutral en parejas románticas (A, B) y extraños (C, D). Hubo valores de correlación neuronal más altos entre parejas románticas durante episodios de mirada mutua (A, $p = 0.05$). La comparación directa entre correlaciones temporo-parietales en gamma (30-60 Hz) en parejas románticas y extraños durante episodios de mirada mutua y afecto positivo demostró diferencias significativas entre grupos (E, F, $p = 0.01$). Las barras representan promedios y errores estándar. Panel inferior: ejemplo de covariación de oscilaciones gamma (30-60 Hz) en una pareja romántica. Las oscilaciones gamma registradas en los mismos electrodos en hombre y mujer fluctúan en conjunto durante la interacción. Los momentos de mirada mutua (ambos se miran a los ojos), son representados con líneas de color azul (hombre) y rojo (mujer). Durante los episodios de mirada mutua, la actividad gamma de ambos participantes oscila de manera sincronizada. Modificado de Kinreich et al., (2017).

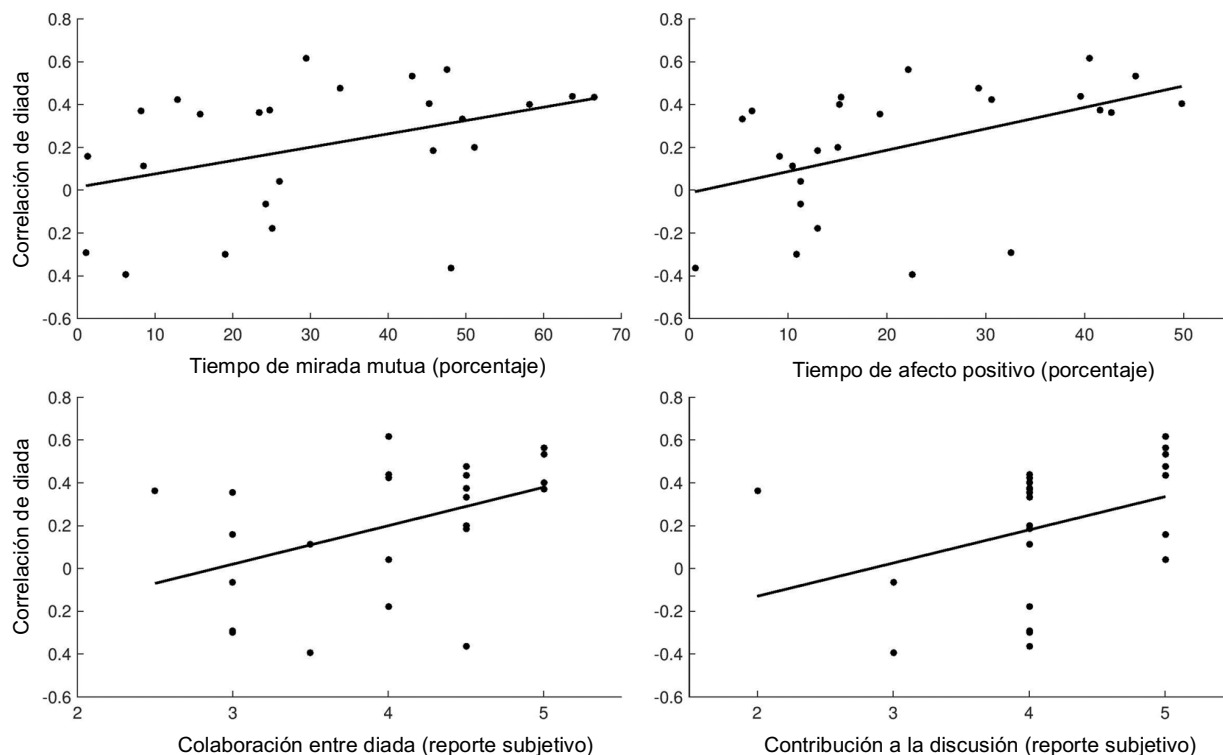


Figura 3.23 Análisis de correlación neuronal y conductual en parejas de extraños. (A) Correlación de sincronización gamma y duración de la mirada mutua. (B) Correlación de sincronización gamma y duración de afecto positivo. (C) Correlación de sincronización en gamma y reportes de sensación de colaboración (post interacción). Modificado de Kinreich et al., (2017).

Todos estos hallazgos, resumidos en la Tabla 1 y Tabla 2, son consistentes con estudios conductuales en psicología que revelan que la sincronización de movimiento y la cooperación juegan un papel importante en la cohesión social (McNeill, 1997; Valdesolo et al., 2010; Valdesolo & DeSteno, 2011), y están asociadas con mayores niveles de empatía (Goldstein et al., 2017), mayor afinidad (Bernieri, 1988; Goldman et al., 1977) y menor sensibilidad a la percepción del dolor (E. Cohen et al., 2010), así como con experiencias de “fusión” *yo-otro*⁴² (Galbusera et al., 2019; Novembre et al., 2016;

⁴² *Self-other merging*, en inglés. Este término se refiere a la experiencia compartida donde la distinción *yo-otro* se vuelve difusa. Se ha vinculado con la empatía y el altruismo, además de ser propuesto como un proceso psicológico mediador de la cooperación (De Cremer et al., 2005).

Rabinowitch & Knafo-Noam, 2015), de agencia compartida⁴³ (Dumas et al., 2010) y con el sentimiento de estar “en el mismo canal”, o “en sintonía” con el otro (Byrne, 2005; Hari & Kujala, 2009), y de “formar parte de un todo” (Balconi & Vanutelli, 2018a; Lakens, 2010).

Resulta importante resaltar que los hallazgos de los estudios revisados aquí no se limitan a una sola región cerebral⁴⁴ o banda de frecuencia⁴⁵ de actividad oscilatoria neuronal (ver Tabla 1 y Tabla 2). El *enfasamiento* intercerebral es reportado en todos los ritmos; no está delimitado topográficamente ni dirigido por una sola frecuencia⁴⁶ (Czeszumski et al., 2020; Pérez et al., 2017). Incluso dentro de un mismo estudio, existen diferencias en la distribución de conexiones intercerebrales en distintas bandas de frecuencia (De Vico Fallani et al., 2010; Dumas et al., 2010; Hu et al., 2018; Mu et al., 2017; Pérez et al., 2017; Toppi et al., 2016). Aún si sólo nos fijamos en los estudios que tomaron en cuenta la experiencia subjetiva de los participantes o la naturaleza de su relación (marcados con un asterisco en Tabla 1 y Tabla 2) (Bevilacqua et al., 2019; Dikker et al., 2017; Goldstein

⁴³ La agencia es la sensación de ser el origen de una acción. En la agencia compartida y la sensación de “fusión” *yo-otro*, los individuos reportan no sentirse capaces de establecer quién fue el responsable de originar una acción.

⁴⁴ Por supuesto que no se puede negar la participación de ciertas regiones que han sido vinculadas anteriormente con la interacción social como, por ejemplo, la de la corteza cingulada anterior, la cual ha sido relacionada con cognición social y toma de decisiones (Astolfi et al., 2010; Czeszumski et al., 2020). Lo interesante es que no parece haber una sola región responsable de la sincronización intercerebral, e incluso que las interpretaciones que los autores le otorgan a las mismas frecuencias varían entre estudios (ver Tabla 2).

⁴⁵ Una limitación es que, como puede verse en la Tabla 1, muchos estudios delimitaron las bandas de frecuencia registradas *a priori* (debido principalmente a reportes en la literatura previa sobre el involucramiento de esas bandas con ciertos procesos, así como para simplificar el registro y análisis de datos), por lo que no es posible concluir que una banda, por ejemplo alfa, sea la única involucrada en la sincronización intercerebral si ésta fue la única considerada en el estudio.

⁴⁶ A nivel intracerebral, las regiones - e incluso las neuronas individuales - no oscilan en una sino en múltiples frecuencias, y varios ritmos oscilatorios pueden coexistir en la misma región o interactuar entre distintas estructuras a través de la sincronización de fase (Buzsáki, 2006; Buzsáki & Draguhn, 2004; Dumas et al., 2012; Kopell et al., 2010).

et al., 2018; Hu et al., 2018; Kinreich et al., 2017), las regiones y frecuencias sincronizadas, de nuevo, no son las mismas. Por lo tanto, parece ser que son las características específicas de la tarea y del contexto las que afectan ciertos aspectos de la sincronización intercerebral (e.g. banda, región, direccionalidad) (Mu et al., 2017), pero que el *enfasamiento* neuronal interpersonal es un mecanismo por sí mismo (Czeszumski et al., 2020), íntimamente relacionado con la interacción social significativa.

Más importante aún, los cambios individuales en la experiencia consciente de cercanía social que acompañan a la sincronización intercerebral resultan relevantes para entender la naturaleza interactiva de la cognición humana dentro de una 'neurociencia en segunda persona' (Schilbach et al., 2013; Varela et al., 2016). Esto puede tener implicaciones importantes para nuestro entendimiento de la dimensión social de la consciencia humana, así como para tratar más efectivamente sus desórdenes (Redcay & Schilbach, 2019; Schilbach, 2016).

| Autores, año | Método | Paradigma | Tarea | N | Frecuencias registradas | Frecuencias sincronizadas | Regiones | Análisis | Hallazgos principales |
|-------------------------------------|--------|-------------|---|----|---|---|--|----------|--|
| Hu, Y. <i>et al.</i> (2018)* | EEG | Cooperación | Juego del dilema del prisionero, con índices de alta o baja cooperación y condiciones de supuesta interacción humano-humano o humano-computadora. | 30 | Theta (4-7 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (13-30 Hz), gamma (31-48 Hz) | Theta (4-7 Hz), alfa (8-12 Hz) | Theta: fronto-central Alfa: centro-parietal. | PLVn | Mayor tasa de cooperación y sincronización inter-cerebral entre participantes cuando creyeron estar interactuando con un humano (vs una computadora). En condiciones humano-humano, la sincronía neuronal fue mayor en contextos con un índice alto de cooperación. La percepción de cooperación entre participantes fue mediadora de la relación entre el contexto (cooperación alta o baja) y la sincronización inter-cerebral en la banda alfa. |
| Bezerianos, A. <i>et al.</i> (2015) | EEG | Cooperación | Tarea de pilotaje computarizada. | 8 | Delta, theta, alfa, beta, gamma (1-30 Hz) | No evaluado (no se hizo distinción entre bandas en el análisis) | Centro-parietal y frontal. | PDC | Incremento de sincronización inter-cerebral a la par con un incremento en la dificultad de la tarea. |
| Sinha, N. <i>et al.</i> (2016) | EEG | Cooperación | Juego en computadora de cooperación-competencia. | 24 | Theta (3-7 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (13-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Alfa (8-12 Hz), beta (13-29 Hz) | Central y parietal. | CCP | La sincronización inter-cerebral entre sujetos fue significativamente más alta en periodos cooperativos, en comparación con periodos competitivos. |
| Toppi, J. <i>et al.</i> (2016) | EEG | Cooperación | Simulación de vuelo (despegue, crucero y aterrizaje). | 12 | Theta (3-7 Hz), alfa (8-13 Hz) | Theta (3-7 Hz), alfa (8-13 Hz) | Alfa & theta: Fronto-parietal y centro-parietal. Theta: parieto-parietal. | PDC | Mayor densidad en el patrón de interconexiones de la actividad cerebral de los sujetos durante las fases cooperativas (despegue y aterrizaje) con respecto a la fase no cooperativa (crucero). Esta densidad fue modulada por el grado de cooperación entre la pareja. Las interconexiones entre parejas establecidas aleatoriamente no resultaron significativas. |
| Astolfi, L. <i>et al.</i> (2010) | EEG | Cooperación | Juego de cartas (tressette). | 14 | Theta (4-7 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (13-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Alfa (8-12 Hz), beta (13-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Corteza prefrontal, cíngulada anterior y parietal. | PDC | Fuerte conectividad funcional entre sujetos del mismo equipo, pero no entre sujetos de equipos opuestos. La conectividad funcional fue direccional (i.e. las señales del segundo jugador mostraron una causalidad de Granger estadísticamente significativa con las señales del primer jugador del mismo equipo). |

| | | | | | | | | | |
|--|-----|-------------------|---|----|---|---|---|------------|---|
| Astolfi, L. <i>et al.</i> (2011) | EEG | Cooperación | Dilema del Prisionero Iterado (diadas con la opción de cooperar, desertar o utilizar una estrategia de "ojo por ojo" en cada ensayo). | 52 | Theta (3-6 Hz), alfa (7-12 Hz), beta (13-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Theta (3-6 Hz), alfa (7-12 Hz), beta (13-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Corteza frontal, prefrontal, cingulada anterior, motora suplementaria y parietal. | PDC | Patrones de interconectividad significativamente mayores cuando ambos sujetos cooperan que cuando ambos desertan. |
| De Vico Fallani, F. <i>et al.</i> (2010) | EEG | Cooperación | Dilema del Prisionero Iterado (diadas con la opción de cooperar, desertar o utilizar una estrategia de "ojo por ojo" en cada ensayo). | 58 | Theta (4-7 Hz), alfa (8-13 Hz), beta (14-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Theta (4-7 Hz), alfa (8-13 Hz), beta (14-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Corteza frontal, prefrontal, cingulada anterior, motora suplementaria y parietal. | PDC | Las interacciones no cooperativas pudieron ser predichas durante la fase de toma de decisiones, previo a ejecutar la acción de cooperar, desertar o castigar ("ojo por ojo"). Antes de tomar la decisión, las parejas donde ambos desertan mostraron significativamente menor conectividad inter-cerebral que las parejas que utilizaron estrategias cooperativas o de "ojo por ojo". |
| Balconi, M. & Vanutelli, M. E. (2018) | EEG | Competencia | Tarea competitiva en computadora. | 30 | Delta (0.5-3.5 Hz), theta (4-7.5 Hz), alfa (8-12.5 Hz), beta (13-30 Hz) | Delta (0.5-3.5 Hz), theta (4-7.5 Hz) | Prefrontal. | CCP, ANOVA | Mejor desempeño conductual (tiempo de reacción y tasa de error) en tareas competitivas con respecto a la condición control. La conectividad funcional inter-cerebral se redujo durante tareas competitivas. |
| Mu, Y., Han, S., & Gelfand, M. J. (2017) | EEG | Coordinación | Conteo mental (con pareja o con computadora) después de leer un texto que representa una amenaza social intragrupal o extragrupal (con un control intragrupal sin amenaza). | 90 | Delta (2-4 Hz), theta (5-7 Hz), alfa (8-13 Hz), beta (14-28 Hz), gamma (28-40 Hz) | Gamma (28-40 Hz) | Frontal, central y parietal. | PLVn | Mayor sincronización inter-cerebral entre parejas bajo una amenaza intra-grupal, lo cual correlacionó con mayor coordinación en la tarea. No hubo sincronización cuando cada individuo debía coordinar el conteo mental con una computadora. La sincronización inter-cerebral fue mediadora del efecto de la amenaza intra-grupal sobre la coordinación interpersonal. |
| Szymanski, C. <i>et al.</i> (2017) | EEG | Atención conjunta | Tarea de búsqueda visual y enumeración. | 52 | Delta (2 Hz), theta (4, 6 Hz), alfa (8, 10, 12 Hz), beta (14, 16, 18, 20 Hz) | Delta (2 Hz) | Frontal, central y parietal. | PLVn, IPC | Mayor sincronía de fase al realizar la tarea en pareja (atención conjunta) que al realizar la misma tarea de forma individual (atención individual). La eficiencia de cada equipo pudo ser predicha por medidas de sincronización neuronal durante la tarea. |

| | | | | | | | | | |
|---|-----|-------------------|---|----|--|---|---|------------|--|
| Balconi, M. & Vanutelli, M. E. (2018) | EEG | Atención conjunta | Tarea de atención selectiva sostenida (a cada pareja se le pidió cooperación en velocidad y precisión). | 32 | Delta (0.5-4 Hz), theta (4-8 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (14-20 Hz) | Delta (0.5-4 Hz), theta 84-8 Hz) | Prefrontal izquierdo. | CCP, ANOVA | Correlación positiva entre cooperación y sincronización inter-cerebral. La retroalimentación positiva incrementó tanto la sincronización conductual (mejor tiempo de reacción y menor tasa de errores) como neuronal. |
| Dikker, S. <i>et al.</i> (2017)* | EEG | Atención conjunta | Actividades dentro del salón de clases durante un semestre. | 12 | Alfa (8-12 Hz) | Alfa (8-12 Hz) | No reportado. | TI | La sincronización cerebro-a-cerebro fue un predictor del <i>engagement</i> durante la clase y las dinámicas sociales (afinidad grupal, empatía y cercanía). La atención conjunta, y no la co-presencia, predijo la sincronización. |
| Bevilacqua, D. <i>et al.</i> (2019)* | EEG | Atención conjunta | Estudiantes en un salón de clases, bajo distintos estilos de enseñanza (videos y cátedra). | 12 | Alfa (8-12 Hz) | Alfa (8-12 Hz) | No reportado. | TI | La sincronización inter-cerebral entre maestros y estudiantes varió en función del <i>engagement</i> del estudiante, así como del nivel de agrado hacia el maestro. Los estudiantes que reportaron mayor cercanía social con el maestro mostraron mayor sincronización inter-cerebral con él. Este resultado sólo fue observado en las ponencias (vs videos) (i.e. cuando el maestro era una parte integral de la presentación del contenido). |
| Sänger, J., Müller, V. & Lindenberg, U. (2012) | EEG | Acción conjunta | Dueto de guitarra (líder y seguidor). | 24 | Delta (1-4 Hz), theta (4-8 Hz) | Delta (1-4 Hz), theta (4-8 Hz) | Frontal y central. | PLVn, IPC | Mayor <i>énfasis</i> y coherencia de fase (intra e inter-cerebral) durante periodos donde la necesidad de coordinación es mayor. El <i>énfasis</i> fue modulado en relación con los roles asignados de líder y seguidor. |
| Dumas, G. <i>et al.</i> (2010) | EEG | Acción conjunta | Imitación espontánea de movimientos de las manos. | 18 | Theta (4-7 Hz), alfa-mu (8-12 Hz), beta (13-30 Hz), gamma (31-48 Hz) | Alfa-mu (8-12 Hz), beta (13-30 Hz), gamma (31-48 Hz) | Alfa-mu: parietal derecho, Beta: central y parieto-occipital, Gamma: fronto-central y parietal. | PLVn | La sincronización inter-cerebral correspondió con la sincronización conductual. |
| Pérez, A., Carreiras, M. & Duñabeitia, J. A. (2017) | EEG | Comunicación | Hablar y escuchar (opiniones y preferencias de temas comunes: deportes, música, viajes, animales, películas). | 30 | Delta (1-3 Hz), theta (4-8 Hz), alfa (9-12 Hz), beta (15-20 Hz) | Delta (1-3 Hz), theta (4-8 Hz), alfa (9-12 Hz), beta (15-20 Hz) | Alfa: fronto-central. Beta: fronto-temporal. | PLVt | Mayor sincronización inter-cerebral entre participantes al hablar y escuchar (comparado con datos sustitutos). La actividad cerebral del escucha se <i>énfásó</i> con la del hablante. Estos efectos no fueron explicables por actividad relacionada con procesamiento auditivo. |

| | | | | | | | | | |
|---|-------|----------------------|--|-----|---|-------------------|---|-------|---|
| Kinreich, S. <i>et al.</i> (2017)* | EEG | Afecto positivo | Conducta social no-verbal (mirada y afecto) entre parejas románticas (viviendo juntas) y extraños. | 104 | Theta (4-8 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (12-30 Hz), gamma (30-60 Hz) | Gamma (30-60 Hz) | Temporo-parietal. | CSP | Se observó sincronización inter-cerebral entre parejas románticas, pero no entre extraños. Entre parejas, la sincronización estaba anclada a episodios de mirada y afecto positivo (eg. sonrisa, risa). A pesar de que entre extraños no se encontraron diferencias significativas entre los episodios de mirada-no mirada y afecto-no afecto, hubo una correlación positiva entre el tiempo que pasaron mirándose o mostrando afecto y su sincronización en gamma. En las parejas la sincronización se relacionó negativamente con reportes de ansiedad de apego (i.e. mayor ansiedad, menor sincronía). Para ambos grupos de sujetos, la sincronización inter-cerebral no estuvo relacionada con episodios de habla, duración del habla o contenido general de la conversación. |
| Goldstein, P. <i>et al.</i> (2018)* | EEG | Percepción del dolor | Parejas (receptora y observador) bajo condiciones de dolor-no dolor y tacto-no tacto. | 44 | Alfa-mu (8-12 Hz), beta (Hz no reportados) | Alfa-mu (8-12 Hz) | Receptor: central. Observador: hemisferio derecho. | Ccorr | En contacto físico (tomarse de la mano) durante la administración de un estímulo doloroso incrementó la sincronización inter-cerebral, lo cual correlacionó negativamente con la percepción del dolor de la receptora y positivamente con la precisión empática del observador. |
| Pan, Y. <i>et al.</i> (2017)* | fNIRS | Cooperación | Juego cooperativo en computadora. | 98 | N/A | N/A | Corteza frontal superior derecha. | WTC | La conducta cooperativa fue mayor entre parejas románticas que entre amigos o extraños. Las parejas románticas mostraron mayor coherencia inter-cerebral, la cual co-varió con su desempeño en la tarea. |
| Cui, X., Bryant, D. M & Reiss, A. L. (2012) | fNIRS | Cooperación | Juego en computadora de cooperación-competencia. | 22 | N/A | N/A | Corteza frontal superior. | WTC | La coherencia entre los patrones de activación cerebral de cada individuo incrementó significativamente durante la cooperación, mas no durante la competencia. Este incremento fue acompañado por un incremento en el desempeño cooperativo en el juego. |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------------------|--|----|-----|-----|-------------------------------------|----------|---|
| Funane, T. <i>et al.</i> (2011) | fNIRS | Cooperación | Conteo mental y presión de botón. | 12 | N/A | N/A | Corteza prefrontal. | Co-var | Coherencia espaciotemporal de señales inter-cerebrales entre parejas de participantes asociada con desempeño cooperativo. Cuando los patrones de actividad neuronal durante el periodo de conteo estaban más sincronizados, el intervalo entre sus presiones del botón fue más corto, resultado no explicado por artefactos por movimiento. |
| Pan, Y. <i>et al.</i> (2017)* | fNIRS | Cooperación | Presión de tecla simultáneo ante señal en computadora (parejas románticas, amigos o extraños). | 49 | N/A | N/A | Corteza frontal superior derecha | IBS | Tiempos de reacción entre parejas románticas fueron menores y menos variables que entre parejas de amigos o de extraños. Se encontró sincronización cerebral interpersonal únicamente entre parejas románticas, la cual co-varió con el desempeño en la tarea. Las parejas románticas presentaron una mayor sensación de cooperación entre sí que las parejas de amigos o extraños. |
| Osaka, N. <i>et al.</i> (2015) | fNIRS | Coordinación | Cantar/tararear. | 58 | N/A | N/A | Corteza frontal inferior izquierda. | WTC | Incremento significativo en la sincronización neuronal de cada pareja al cantar o tararear de forma cooperativa (sin importar si los sujetos se encontraban cara-a-cara o viendo a la pared), en comparación con el cantar o tararear de forma individual o escuchar al otro cantar o tararear. |
| Fishburn, F. A. <i>et al.</i> (2018) | fNIRS | Atención conjunta | Rompecabezas (equipos de tres completando el rompecabezas en conjunto o de forma individual). | 57 | N/A | N/A | Corteza prefrontal. | CCP, WTC | La sincronización neuronal interpersonal fue mayor al completar el rompecabezas en conjunto que al completar el mismo rompecabezas de forma individual, observar a dos miembros del equipo completar el rompecabezas u observar un video donde tres personas (desconocidas) lo completan. |

Tabla 1. Lista de estudios revisados. Incluye metodologías de hiperescaneo EEG y fNIRS. El asterisco indica los estudios que tomaron en cuenta la experiencia subjetiva de los participantes, o la naturaleza de su relación (eg. parejas románticas vs extraños). *Notas:* PLVn = Phase Locking Value (promediado por ensayos); PLVt = Phase Locking Value (promediado por tiempo); IPC = Coherencia de Fase Intercerebral; CCP = Coeficiente de Correlación de Pearson; ANOVA = Análisis de Varianza; PDC = Coherencia Parcial Dirigida; IT = Interdependencia Total; CSP = Coeficiente de Correlación de Spearman; CCorr = Correlación Circular; WTC = Coherencia de la Transformada de Ondeletas; IBS= Coherencia Cerebral Interpersonal; N/A = No aplica.

| Autores, año | Paradigma | Frecuencias sincronizadas | Regiones | Interpretación de bandas y regiones sincronizadas |
|--|-------------------|---|---|--|
| Hu, Y. <i>et al.</i> (2018)* | Cooperación | Theta (4-7 Hz), alfa (8-12 Hz) | Theta: fronto-central Alfa: centro-parietal. | Theta y alfa: Muestra de un procesamiento social de alto orden y toma de decisiones interactiva. Memoria de trabajo. Mentalización (predecir las acciones del otro). |
| Bezerianos, A. <i>et al.</i> (2015) | Cooperación | No evaluado | Centro-parietal y frontal. | N/A |
| Sinha, N. <i>et al.</i> (2016) | Cooperación | Alfa (8-12 Hz), beta (13-29 Hz) | Central y parietal. | Beta: Pensamiento activo y concentración. |
| Toppi, J. <i>et al.</i> (2016) | Cooperación | Theta (3-7 Hz), alfa (8-13 Hz) | Alfa & theta: Fronto-parietal y centro-parietal. Theta: parieto-parietal. | Theta: procesamiento de inputs visuales, alta demanda de la tarea. Alfa: atención y memoria de trabajo. |
| Astolfi, L. <i>et al.</i> (2010) | Cooperación | Alfa (8-12 Hz), beta (13-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Corteza prefrontal, cingulada anterior y parietal. | (Actividad en corteza cingulada anterior indica esfuerzo mental y la "representación" de las intenciones del otro dentro del cerebro individual). |
| Astolfi, L. <i>et al.</i> (2011) | Cooperación | Theta (3-6 Hz), alfa (7-12 Hz), beta (13-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Corteza frontal, prefrontal, cingulada anterior, motora suplementaria y parietal. | No reportado. |
| De Vico Fallani, F. <i>et al.</i> (2010) | Cooperación | Theta (4-7 Hz), alfa (8-13 Hz), beta (14-29 Hz), gamma (30-40 Hz) | Corteza frontal, prefrontal, cingulada anterior, motora suplementaria y parietal. | (Selección de tareas, formación de intenciones y <i>multitasking</i> . Actividad en corteza cingulada anterior refleja representación de las intenciones del otro (teoría de la mente) y esfuerzo mental). |
| Balconi, M. & Vanutelli, M. E. (2018) | Competencia | Delta (0.5-3.5 Hz), theta (4-7.5 Hz) | Prefrontal. | Delta y theta: procesos de regulación social y <i>engagement</i> emocional. Valor emocional y motivacional de dinámicas sociales en curso y procesamiento de señales socioafectivas. |
| Mu, Y., Han, S., & Gelfand, M. J. (2017) | Coordinación | Gamma (28-40 Hz) | Frontal, central y parietal. | Gamma: habilidad para fomentar acción colectiva a través de una "representación" emocional compartida. |
| Szymanski, C. <i>et al.</i> (2017) | Atención conjunta | Delta (2 Hz) | Frontal, central y parietal. | Delta: Incremento en atención. Base neuronal de facilitación social. |

| | | | | |
|---|----------------------|---|---|--|
| Balconi, M. & Vanutelli, M. E. (2018) | Atención conjunta | Delta (0.5-4 Hz), theta 84-8 Hz) | Prefrontal izquierdo. | Delta y theta: competencias sociales, empatía y <i>engagement</i> emocional. (Áreas prefrontales relacionadas con regulación de estatus social y en acción conjunta). |
| Dikker, S. <i>et al.</i> (2017)* | Atención conjunta | Alfa (8-12 Hz) | No reportado. | Alfa: índice de atención. La atención compartida modula el <i>entrainment</i> , ajustando las oscilaciones a la estructura temporal de los estímulos del ambiente. |
| Bevilacqua, D. <i>et al.</i> (2019)* | Atención conjunta | Alfa (8-12 Hz) | No reportado. | Alfa: índice de atención. La atención compartida modula el <i>entrainment</i> , ajustando las oscilaciones a la estructura temporal de los estímulos del ambiente. |
| Sänger, J., Müller, V. & Lindenberger, U. (2012) | Acción conjunta | Delta (1-4 Hz), theta (4-8 Hz) | Frontal y central. | Delta: toma de decisión de ejecutar la acción. Theta: reflejo del incremento en tempo musical. |
| Dumas, G. <i>et al.</i> (2010) | Acción conjunta | Alfa-mu (8-12 Hz), beta (13-30 Hz), gamma (31-48 Hz) | Alfa-mu: parietal derecho, Beta: central y parieto-occipital, Gamma: fronto-central y parietal. | Alfa-mu: correlato neuronal del sistema de neuronas espejo. Neuromarcador de coordinación social. Beta: actividades motoras transitivas. Gamma: procesos atencionales, consciencia perceptual y control cognitivo. (Patrón asimétrico en beta y gamma indica una modulación <i>top-down</i> entre cerebros, que refleja los roles diferenciales de modelador e imitador). |
| Pérez, A., Carreiras, M. & Duñabeitia, J. A. (2017) | Comunicación | Delta (1-3 Hz), theta (4-8 Hz), alfa (9-12 Hz), beta (15-20 Hz) | Alfa: fronto-central. Beta: fronto-temporal. | Alfa: procesos mediados por la atención. Beta: relación entre comprensión del lenguaje y funciones motoras. (Sincronización intercerebral en alfa-beta es una propiedad emergente de sistemas acoplados que son mutuamente dependientes debido a procesos de predicción interactiva). |
| Kinreich, S. <i>et al.</i> (2017)* | Afecto positivo | Gamma (30-60 Hz) | Temporo-parietal. | Coordinación en áreas temporo-parietales se expresa específicamente a través de la banda gamma. (Actividad en áreas temporo-parietales refleja simulación encarnada y funciones de mentalización: procesos socio-interactivos como la mirada social, comprensión social y diferenciación <i>yo-otro</i>). |
| Goldstein, P. <i>et al.</i> (2018)* | Percepción del dolor | Alfa-mu (8-12 Hz) | Receptor: central. Observador: hemisferio derecho. | Alfa-mu: sistema de neuronas espejo; neuromarcador de coordinación social; dolor vicario; empatía al dolor. |

Tabla 2. Lista de estudios EEG revisados, con interpretación de autores sobre las frecuencias y/o regiones sincronizadas (el texto entre paréntesis en la última columna indica la interpretación que dan los autores a las regiones sincronizadas). N/A = No aplica.

Capítulo 4. ¿Consciencia individual? Debates en torno a la extensión de la consciencia

Pasar de estudiar un cerebro a dos –o más– de manera simultánea ha abierto un espacio dentro de las neurociencias no sólo para nuevas aproximaciones teóricas y metodológicas, sino para hacernos preguntas completamente novedosas en torno a las bases de la experiencia humana, e incluso para reformar, potencialmente, nuestras actuales definiciones de consciencia (Dumas, 2011).

Interpretar lo que la sincronización neuronal intercerebral significa para la consciencia humana puede resultar problemático si sólo consideramos teorías internalistas de la consciencia, las cuales la conciben como localizada exclusivamente dentro del cerebro. Utilizar una aproximación desde el enactivismo, que mira más allá de los procesos internos y considera la profunda co-implicación y co-determinación entre el organismo y su ambiente para la emergencia de la mente, podría, en este caso, brindar una explicación más natural para estos hallazgos, ya que el aspecto interpersonal de los estudios revisados hasta ahora encaja particularmente bien con una concepción de la mente como un proceso interactivo (Díaz Gómez, 2015; Froese & Ikegami, 2013; Kelso, 1995; Thompson, 2007; Varela et al., 2016). Además de considerar las bases neuronales de la consciencia a nivel de patrones de actividad oscilatoria emergente, transitoria y a gran escala, el enactivismo sugiere que los procesos cruciales para la consciencia también trascienden las divisiones cerebro-cuerpo-ambiente (Thompson & Varela, 2001).

Adicionalmente, la aproximación enactiva puede ser una herramienta útil para la interpretación de los estudios revisados en este trabajo, debido a que uno de sus objetivos es unificar explicaciones dinámicas de la mente con explicaciones fenomenológicas de la experiencia humana (Thompson, 2007)⁴⁷, pues considera que la experiencia no es un epifenómeno del cual se puede prescindir en el estudio de la mente, sino una característica central de la interacción de un agente con su medio y que, por lo tanto, debe ser estudiada con rigurosidad.

4.1 Enactivismo

El enactivismo⁴⁸ fue formalmente introducido por Varela, Thompson y Rosch en 1991, en su libro *The Embodied Mind*, con el objetivo de dejar atrás al cognitivismo (el cual adopta una postura internalista y considera a la mente como algo que ocurre únicamente dentro del cerebro y que representa al mundo exterior utilizando símbolos y un lenguaje computacional de pensamiento -anclado en la metáfora del cerebro como computadora) y moverse hacia una ciencia cognitiva que considerara a los procesos mentales como *encarnados*⁴⁹ en la actividad de un organismo y embebidos en su medio ambiente (Thompson, 2001; Varela, 2000). Dicho de otro modo, el enactivismo considera que, aunque el cerebro es necesario para la cognición, el cerebro está dentro de un cuerpo y

⁴⁷ Del enactivismo se desprendió el campo de la neurofenomenología, una propuesta metodológica para la neurociencia de la consciencia que se centra en el estudio riguroso de la experiencia subjetiva como herramienta para describir y cuantificar los procesos cerebrales relevantes para la consciencia (Lutz & Thompson, 2003).

⁴⁸ *Enactivism*, en inglés. La palabra *enactive* se deriva del verbo *enact* (*enactuar*, en español) y quiere decir que se actúa, se lleva a cabo. Varela toma prestadas las palabras del poeta español Antonio Machado para describir a la *enacción* como el “hacer el camino al andar”.

⁴⁹ *Embodied*, en inglés.

ese cuerpo está situado en un ambiente específico (Beer, 2000; Chiel & Beer, 1997; Clark, 1999).

Referirse a la cognición como encarnada es decir que ésta “depende del tipo de experiencias que provienen de tener un cuerpo con capacidades perceptuales y motrices particulares, las cuales son inseparables y que juntas conforman la malla sobre la cual memoria, emoción, lenguaje y todos los otros aspectos de la vida se entretajan” (Thelen et al., 2001, p. 1, traducción propia). Considerarla de esta forma no sólo se contrapone a la postura cognitivista, sino que da pie a una visión mucho más radical que cuestiona la visión reduccionista de la identidad mente-cerebro. “Si hemos de entender la mente (...) no podemos, siguiendo a Descartes, concebirla como separable, en principio, del cuerpo y del mundo. (...) Aproximaciones más amplias, libres de este compromiso prejuicioso, pueden tomar a la percepción y la acción, al uso de herramientas y a la organización social, y no ver una separación fundamental entre ellas, sino el acoplamiento estrecho de una unidad funcional. (...) La mente, por lo tanto, no está incidental sino íntimamente encarnada e íntimamente embebida en su mundo” (Haugeland, 1998, p. 236-237, traducción propia).

De manera similar, Varela explica: “tendemos a creer que la mente está en el cerebro, en la cabeza, pero el hecho es que el ambiente también incluye al resto del organismo: incluye el hecho de que el cerebro está íntimamente conectado con todos los músculos, con el esqueleto, los intestinos, y el sistema inmunitario, los flujos hormonales y así sucesivamente. Hace de todo el conjunto una unidad sumamente apretada. En otras

palabras, el organismo, como una red de elementos totalmente co-determinados, determina que nuestra mente sea, literalmente, inseparable, no sólo del ambiente externo, sino también de aquello que Claude Bernard denominó el *milieu intérieur*, el hecho de que no sólo estamos dotados de un cerebro sino de todo un cuerpo” (Varela, 2000, p. 242).

Adicionalmente, la cognición no sólo está encarnada, es *enactuada*⁵⁰: surge a partir de la dinámica de un organismo actuando en y con su medio ambiente (Varela et al., 2016). Bajo este esquema, el ambiente de un individuo (*Umwelt*) no es un dominio externo preestablecido, representado internamente por su cerebro, sino un dominio relacional suscitado tanto por su agencia como por su modo de acoplamiento sensoriomotriz con el ambiente (incluso se propone que los procesos cognitivos están *anclados* a los sistemas sensoriomotrices del cuerpo⁵¹) (Newen et al., 2018; Thompson, 2007; Varela et al., 2016). De este modo, el enactivismo está íntimamente relacionado con la aproximación de sistemas dinámicos en las neurociencias (Kelso, 1995).

Como vimos en el Capítulo 1, la aproximación de sistemas dinámicos estudia, entre otras cosas, a los sistemas complejos, como el cerebro. Los sistemas complejos tienen la característica de ser abiertos, multifuncionales, autoorganizativos, estables y con la habilidad de cambiar de manera flexible de acuerdo con las demandas internas y medioambientales (Kelso, 1995). De esta autoorganización emergen patrones dinámicos

⁵⁰ *Enacted*, en inglés.

⁵¹ Pensemos en el hallazgo de que personas con la enfermedad de Parkinson, caracterizada por temblores musculares, rigidez y enlentecimiento del movimiento (bradicinesia), muestran rigidez y enlentecimiento cognitivo (bradifrenia) (Johnson et al., 2016).

que pueden interactuar entre sí, dando pie a características o comportamientos no reducibles a la suma de las partes. En el enactivismo, la cognición, e incluso la consciencia⁵², son concebidas como constituidas por procesos emergentes y autoorganizados que interconectan a los sistemas cerebro, cuerpo y ambiente en un solo sistema (cerebro-cuerpo-ambiente) a través de un acoplamiento dinámico (Beer, 2000; Chiel & Beer, 1997; Kiverstein, 2018) (Fig. 4).

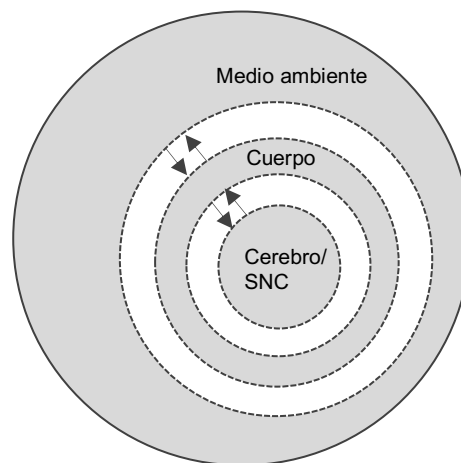


Figura 4. Perspectiva dinámica de un agente situado en su medio ambiente. El sistema nervioso, el cuerpo y el medio ambiente son conceptualizados como sistemas dinámicos que se mantienen en interacción constante (modificado de Beer, 2000).

Al considerar a la cognición como un proceso interactivo, el enactivismo cuestiona la noción individualista de la mente humana (Clark & Chalmers, 1998; de Jaegher & di Paolo, 2007; Froese, 2018; Kirchhoff, 2014; Kirchhoff & Kiverstein, 2019; Torrance, 2009; Varela et al., 2016), pues establece una asociación entre el individuo, el mundo y otros

⁵² Recordemos que en este trabajo, se entiende por consciencia a la *experiencia* de un organismo sintiente, en este caso un ser humano; es la *calidad fenomenológica* de estar vivo y situado en el mundo. El aspecto fenomenológico de un estado es *lo que se siente* estar en ese estado (“*what it is like*”, en inglés); también referido como *qualia*, y a lo que se hace referencia cuando se habla del “problema difícil” del estudio de la consciencia. En pocas palabras, la consciencia fenomenológica puede entenderse como todos los aspectos subjetivos, cualitativos o experienciales (Allen & Bekoff, 2007).

individuos en términos de dinámicas interactivas no lineales (Beer, 2000; Froese & Ikegami, 2013). Los límites que distinguen al *yo* del *otro*, en vez de ser fijos, están bajo negociación constante (Clark & Chalmers, 1998; Kirchhoff, 2014; Kirchhoff & Kiverstein, 2019), pues los procesos de autoorganización pueden ocurrir también a nivel social dependiendo de la naturaleza de la interacción (De Jaegher & di Paolo, 2007; Galbusera et al., 2019).

Si las bases neuronales de la consciencia se encuentran a nivel de las interacciones a gran escala de actividad oscilatoria neuronal (Crick & Koch, 1990; Engel & Fries, 2016; Thompson & Varela, 2001; Varela et al., 2001; L. Ward, 2003) (ver Capítulo 1), las modificaciones de las oscilaciones que aparecen durante la interacción social significativa (no explicables por sincronización inducida) -y su relación con las experiencias de cercanía social- pueden resultar en un cambio en nuestro entendimiento de la consciencia humana. A pesar de ser una propuesta debatida (Clark, 2009, 2012; Kirchhoff, 2014; Kirchhoff & Kiverstein, 2019; D. Ward, 2012), una “extensión” de la consciencia podría considerarse posible a la luz de estos hallazgos.

Como vimos, la sincronización intercerebral reportada en los estudios revisados (ver Tabla 1 y Tabla 2) no parece tener una especificidad general por frecuencia, región o tarea. Esto potencialmente coloca a la interacción interpersonal encarnada como fundamental en la conformación de la experiencia compartida (cohesión, cooperatividad, *fusión yo-otro*, etc.), moviendo a la cognición social fuera de la cabeza (Froese & Ikegami, 2013; Thompson & Varela, 2001). Considerando esto, el impacto de la interacción social

sobre los procesos individuales de autoorganización (i.e., oscilaciones neuronales en curso) y, más importante aún, la presencia de sincronización de fase entre cerebros (una variable de coordinación clave entre sistemas dinámicos en interacción (Kelso & Engstrom, 2006)) apoyan la propuesta de que, cuando varios agentes interactúan, un tipo de autoorganización social podría suceder, con propiedades irreducibles a un nivel individual (De Jaegher & Di Paolo, 2007; Froese et al., 2014; Galbusera et al., 2019). Por consiguiente, los límites de la consciencia también podrían estar bajo negociación durante la interacción social significativa.

Antes de adentrarme en el debate en torno a la consciencia extendida, primero explicaré un poco acerca de la tesis de la cognición extendida, pues de esta última deriva la primera.

4.2 Cognición extendida

Dentro de la filosofía de la mente contemporánea, la tesis de la cognición extendida sostiene que los procesos y sistemas cognitivos pueden extenderse espaciotemporalmente a lo largo de la interfaz cerebro-cuerpo-ambiente (Kirchhoff, 2014). Es decir, los procesos cognitivos pueden incluir elementos de, e interacciones con, el ambiente en el que un organismo está situado. Por ejemplo, al realizar una operación matemática, podemos hacer uso de la calculadora de nuestro celular, un cuaderno, un ábaco, etc. La propuesta de la cognición extendida es que, en ese momento, parte de nuestra cognición se extiende hacia el mundo e incluye el elemento

del medio ambiente. No calculo en mi cabeza y luego lo anoto en el cuaderno, por usar un ejemplo, sino que calculo *con* el cuaderno.

Un componente clave de la tesis de la cognición extendida, el principio de paridad, indica que, “si una parte del mundo exterior funciona como un proceso que, de ocurrir dentro de la cabeza, no dudaríamos en aceptarlo como parte de un proceso cognitivo, entonces esa parte del mundo es (en ese momento) parte del proceso cognitivo” (Clark & Chalmers, 1998). El uso del cuaderno en el caso del cálculo matemático no sólo es conveniente para el sujeto, “ni es simplemente un tipo de memoria externa, o un medio duradero para almacenar ideas (...). Al contrario, el proceso iterado de externalizar y re-percibir es integral al proceso mismo de la cognición” (Clark, 2001, p. 149, traducción propia).

El mismo tipo de razonamiento podría utilizarse para otras actividades cognitivas, como la navegación espacial con un mapa, ya sea físico o virtual, o la creación artística: de un dibujo, una escultura, o una sonata en el piano. “Al menos en algunos casos, el mundo no es un simple instrumento para la mente. Más bien, partes relevantes del mundo se vuelven partes de mi mente. (Por ejemplo), mi [celular] no es mi herramienta, o al menos no es exclusivamente mi herramienta. Partes del él se han vuelto partes de mí. (...) El [celular] ha tomado control de algunas funciones centrales de mi cerebro. Ha reemplazado parte de mi memoria, (...) lo utilizo para calcular, (...) hago planes con él (...) e incluso forma parte de mi proceso imaginativo, al buscar ociosamente palabras e

imágenes cuando me falla la concentración” (Chalmers, en Clark, 2008, p. ix-x, traducción propia).

Claro está que no todo lo que forma parte del mundo forma parte de la mente. La propuesta radica más bien en sugerir que, cuando partes del medio ambiente se acoplan con el cerebro en forma adecuada, se vuelven partes constitutivas de la mente. Según los proponentes de esta tesis, sería un error rechazar las explicaciones externalistas que otorgan una función constitutiva a factores externos y considerarlos “meramente causales” mientras se asume, sin ningún criterio o argumento independiente, que la distinción causal/constitutivo⁵³ coincide con algún límite externo/interno. Por lo tanto, no deberíamos de asumir previamente dónde establecer el límite causal/constitutivo sino hasta después de estudiar el fenómeno (Hurley, 2008, en Clark, 2008).

Si la cognición puede extenderse hacia el mundo, y elementos del medio ambiente pueden (en ocasiones) conformar al proceso cognitivo, ¿qué sucede con la consciencia?, ¿puede extenderse espaciotemporalmente bajo ciertas condiciones?

4.3 ¿Consciencia extendida?

Similar a la propuesta de la cognición extendida, la consciencia extendida defiende que la maquinaria biológica responsable de generar la experiencia consciente (consciencia fenomenológica) puede, en ciertas ocasiones, rebasar los límites de la cabeza (Kirchhoff

⁵³ En filosofía, la distinción entre un rol causal y un rol constitutivo es una distinción importante. *Rol constitutivo* quiere decir que forma parte, de manera inherente, de la naturaleza del fenómeno; que es un componente del fenómeno en discusión. Por otro lado, el *rol causal* provoca el fenómeno, aunque no necesariamente sea parte de su naturaleza.

& Kiverstein, 2019; Thompson, 2007; D. Ward, 2012). Defensores de esta propuesta apoyan la afirmación enactivista de que el sustrato biológico de la consciencia es el organismo entero, embebido en un medio ambiente (Kirchhoff & Kiverstein, 2019; Noë, 2009; Thompson, 2007; Thompson & Varela, 2001; Varela et al., 2016).

En el libro *Out of Our Heads: Why You Are Not Your Brain, and Other Lessons from the Biology of Consciousness*, el filósofo Nöe argumenta que la consciencia requiere de la “operación conjunta del cerebro, el cuerpo y el ambiente (...) (es) un logro de todo el (sujeto) dentro su contexto medioambiental” (Noë, 2009, p. 10, traducción propia). Adicionalmente, Thompson, filósofo de las ciencias cognitivas y uno de los proponentes principales del enactivismo, agrega que la consciencia no está generada por procesos que suceden dentro de la cabeza más de lo que el vuelo es generado dentro de las alas de un ave (Thompson, 2007). Bajo esta perspectiva, el cerebro, en vez de ser una *caja negra* aislada de su mundo (Froese & Ikegami, 2013), facilita los “ciclos de interacción perceptual con el mundo, así como las alas de un ave facilitan el vuelo” (Kirchhoff & Kiverstein, 2019, p. 27, traducción propia).

De este modo, la consciencia extendida propone que el “locus de la experiencia consciente puede fácilmente transitar desde estar, en algunas ocasiones, dentro de la cabeza de un individuo a formar, en otras ocasiones, un nexo de interacción entre cerebro, cuerpo y ambiente” (Kirchhoff & Kiverstein, 2019, p. 1, traducción propia). Con esto en mente, podemos preguntarnos qué sucede cuando se interactúa con otros sujetos dentro de ese ambiente.

Desde una perspectiva enactivista, la interacción social es un *acoplamiento co-regulado*; a pesar de que los individuos están y permanecen separados, es posible que funcionalmente formen parte de un sistema más grande cerebro-cuerpo-ambiente-cuerpo-cerebro (Froese et al., 2013) mientras exista interacción social significativa (Fig 4.1).

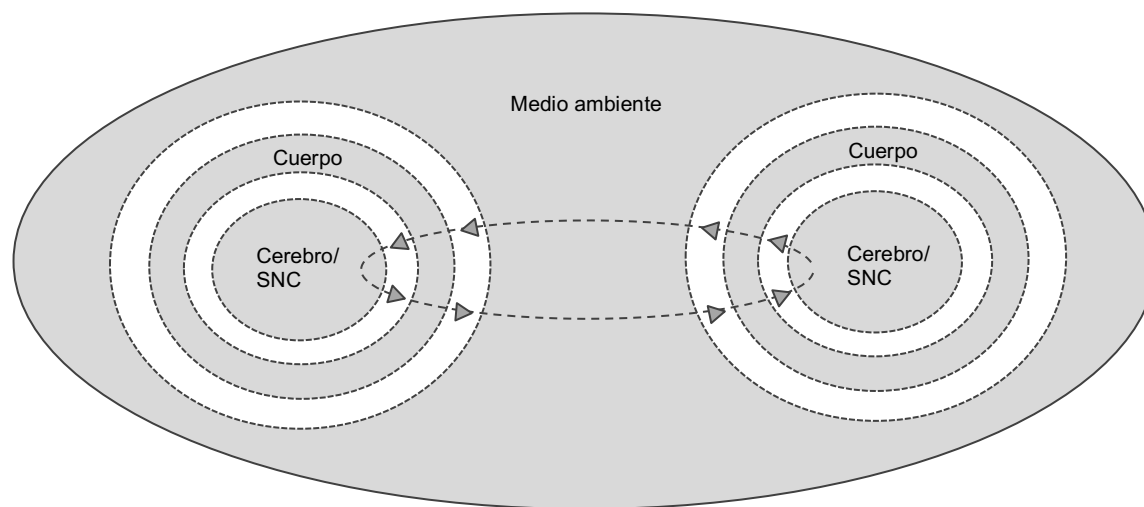


Figura 4.1. Interacción dinámica entre dos agentes situados en su medio ambiente. Cuando dos agentes interactúan, sucede un acoplamiento mutuo y coregulado que constituye a un nuevo sistema cerebro-cuerpo-ambiente-cuerpo-cerebro. La conducta social de un agente individual depende de todos los subsistemas y no es atribuible a un solo componente aislado (modificado de Froese, Iizuka & Ikegami, 2013).

Como vimos en el Capítulo 3, cuando los sujetos cooperan, pero no cuando compiten o llevan a cabo tareas simultáneas, la actividad emergente del cerebro ya no es explicable a nivel individual. Junto con los reportes subjetivos de cohesión social, *fusión yo-otro* y de agencia compartida, pareciera ser que hay una *descentralización* de la agencia individual de cada sujeto⁵⁴ (Di Paolo & De Jaegher, 2017). La *interagencia*, suscitada por

⁵⁴ La experiencia psicótica de la pérdida de este límite en pacientes con esquizofrenia resulta un contraste muy interesante. Existe una fluidez *yo-otro* anormal e inestabilidad afectiva en estos pacientes, donde en un extremo experimentan disocialidad, caracterizada por un desapego extremo del cuerpo y de los otros, y en otro una fluidez inusual del límite *yo-otro*, expresada en experiencias displacenteras de límites corporales ambiguos, intrusiones y la sensación de *fusionarse* con los otros inintencionadamente. En vez

sincronización neuronal intercerebral, podría promover que un agente perciba las acciones del otro hacia una meta compartida como parte de su propia agencia bajo un contexto colaborativo (Fishburn et al., 2018). Dentro de este contexto, la *telaraña cerebral*, tejida cuidadosamente por la sincronización de fase dentro de un cerebro (Varela et al., 2001), podría abarcar una *telaraña inter-individual* más grande (Dumas et al., 2010).

La objeción principal a la consciencia extendida, formulada por Clark (2009), es que la consciencia no puede extenderse fuera de un cerebro individual, pues requiere procesos que ocurren en una escala temporal tan rápida que la actividad neuronal es el único “vehículo” adecuado. Asimismo, argumenta que el cuerpo de una persona actúa como un *filtro pasa bajas*⁵⁵, evitando que elementos corporales y medioambientales *no neurales* formen parte de los realizadores materiales de la experiencia consciente. Por lo tanto, las señales entrantes sólo pueden jugar un rol causal, mas no constitutivo (Clark, 2009).

de tener acceso a una mente socialmente extendida, se pierden en ella (Froese & Krueger, 2020). Esto encaja con la evidencia de *enfasamiento* anormal de oscilaciones neuronales con estímulos medioambientales en estos pacientes, presentada en el Capítulo 1, y con el uso terapéutico de la estimulación transcraneal por corriente alterna para disminuir sus síntomas positivos (Ahn et al., 2019; Mellin et al., 2018). Sin embargo, no existen estudios de hiperescaneo en este sector poblacional, por lo que no sabemos si muestran una sincronización intercerebral adecuada durante la interacción social. Otro ejemplo de una reducción percibida del límite entre el yo y el medio ambiente es el uso de drogas psicodélicas, como la mescalina, el LSD, el DMT y la psilocibina. El consumo de estas sustancias es tradicionalmente acompañado por reportes de una sensación de *disolución del yo* - una pérdida de los límites entre uno mismo y el mundo (e.g. “sentí como si me estuviera *fusionando* con mi entorno”, “experimenté una pérdida de la separación con mi ambiente”) (Swanson, 2018; Vollenweider & Kometer, 2010)). No es de sorprenderse que el consumo de estas sustancias altera la dinámica neuronal en curso y que, por lo tanto, modifica el patrón oscilatorio neuronal. De hecho, la sensación de *disolución del yo* se ha relacionado con cambios en distintas frecuencias de oscilación neuronal y cambios en la sincronización intracerebral (Kometer et al., 2015; Swanson, 2018). Aún no existen estudios que revisen estas alteraciones en relación con el *enfasamiento* con el medio ambiente y con otros sujetos.

⁵⁵ Un filtro pasa bajas es cualquier medio físico que permite pasar señales de baja frecuencia mientras reduce o bloquea el paso de señales de alta frecuencia (Clark, 2009).

Primero que nada, debo aclarar que al referirme a una “extensión de consciencia” no estoy sugiriendo que la consciencia no tenga una base neuronal. La consciencia humana requiere mecanismos que ocurren dentro del cerebro (Engel & Fries, 2016; Thompson & Varela, 2001); sin embargo, la actividad neuronal también está encarnada en la interacción de un individuo en y con el mundo (Buzsáki, 2006; Noë, 2009; Varela, 2000), y este mundo incluye a otros individuos (Buzsáki, 2006; Hari & Kujala, 2009). Más importante aún, la sincronización intercerebral, revelada mediante estudios de hiperescaneo EEG, aparece en todas las bandas de frecuencia de actividad oscilatoria neuronal, incluyendo las frecuencias rápidas en la banda gamma (Astolfi et al., 2010; Dumas et al., 2010; Kinreich et al., 2017; Mu et al., 2017). Por lo tanto, no hay una razón empírica para limitar las bases de la experiencia consciente a actividad neuronal rápida o a un cerebro individual.

Adicionalmente, la comunicación dentro de un solo cerebro utiliza el anidamiento jerárquico de oscilaciones, donde frecuencias más rápidas están embebidas dentro, y moduladas por, ritmos más lentos (Bonfond et al., 2017; Buzsáki, 2006; Buzsáki & Draguhn, 2004) (ver Capítulo 1). Esta línea de razonamiento puede extenderse a escalas aún más lentas de acción encarnada dentro del mundo (Haken, 1980, 2013; Kelso, 2009; van Orden et al., 2012). En este sentido, aún si el cuerpo actuara como un *filtro pasa bajas*, continúa siendo posible que la interacción social encarnada actúe como un ritmo más lento dentro del cual las oscilaciones neuronales se anidan entre dos o más personas (Hasson et al., 2012) y, por lo tanto, promueva *sinergias interpersonales* (Hasson et al., 2012; Riley et al., 2011).

Con la posibilidad de eliminar la objeción de Clark basada en las frecuencias, propongo que los límites de la consciencia fenomenológica también pueden estar sujetos a constante negociación durante la interacción de un individuo con su medio ambiente y con otros individuos, apuntando a un mecanismo que nos une en forma neuronal y nos dispone a una mente consciente extendida en la interacción social (Kelso & Engstrom, 2006), una unidad fenomenológica global constituida por más de un cerebro.

La posibilidad de una experiencia fenomenológica compartida se opone directamente al concepto de consciencia fenomenológica prevalente en la ciencia hoy en día, detrás del cual se encuentra la suposición de que es esencialmente interna y singular. A continuación, cuestiono dicha suposición, sin pretender redefinir el concepto de manera concluyente, sino por el valor intrínseco que encierra esta discusión.

4.4 Cuestionando preconcepciones en torno a la consciencia

Según Torrance, filósofo de las ciencias cognitivas, la visión dominante en torno al concepto de consciencia ha resultado restrictiva y puede desafiarse. En su trabajo *Contesting the Concept of Consciousness*, señala tres mitos en torno a este concepto: el mito de lo interno, el mito de lo oculto y el mito de lo singular (Torrance, 2009)⁵⁶.

El mito de lo interno se refiere a que la consciencia es concebida esencialmente como *experiencia interna*. Esta visión es fácilmente identificable en teorías internalistas

⁵⁶ Si estos verdaderamente son mitos o no, no es el enfoque central de la discusión, pero sí parece que son nociones dadas por sentado, cinceladas al concepto de consciencia y que promueven una visión restringida.

prominentes en la neurociencia de la consciencia contemporánea: “sé que soy consciente: estoy viendo, escuchando y sintiendo algo *aquí, dentro de mi cabeza*” (Tononi & Koch, 2015). Sin embargo, a pesar de que mucho de lo que es la consciencia puede ser descrito como una *vida interna*, la disputa de Torrance es que ésta sea necesariamente una caracterización de la consciencia como tal.

Podría decir que la experiencia de un pintor impresionista, sentado frente a un lago y pintando el entorno en el que se encuentra, incluiría el lienzo, sus manos y el pincel que se mueve con ellas, la sensación de la silla, el olor del óleo, el paisaje que percibe y que, a su vez, altera y crea de nuevo al pintarlo. Lo que experimenta, principalmente, es el mundo, no su *vida interna* (aunque piense y sienta muchas cosas *dentro*, también experimenta lo que está *fuera* en forma unitaria). Incluso el referirse al mundo como *fuera de* o *externo a* resulta un poco confuso, pues lo que experimenta realmente es su *ser en el mundo*⁵⁷, no al mundo como algo aparte y externo a él⁵⁸. La experiencia consciente de sí mismo mientras pinta es la consciencia de algo que parece provenir parcialmente de *dentro* de él, pero también, parcialmente, una experiencia consciente de lo que aparece en su lienzo mientras pinta⁵⁹. Entonces, buscar una respuesta singular a la pregunta

⁵⁷ Este concepto (*ser en el mundo*) es introducido por Heidegger. Heidegger describe a la existencia como *ser en el mundo*. El *ser en el mundo* es un fenómeno unitario y no una combinación aditiva y contingente de *ser, estar en y el mundo*. “No es una propiedad que la existencia a veces tiene y a veces no tiene” (Heidegger, 1962, p.84, traducción propia desde la versión inglesa). El concepto de *ser en el mundo* es una parte fundamental de la propuesta enactiva (Varela et al., 2016): “el *ser* un ser humano, de hecho el *ser* un ser vivo, es *estar* siempre en una situación, un contexto, un mundo” (Varela et al., 2016, p. 59, traducción propia).

⁵⁸ ¿Ser en el mundo ó ser *con* el mundo? “Yo soy yo y mi circunstancia”, afirma Ortega y Gasset, de modo que el medio ambiente no es ajeno y accidental al sujeto, sino propio y específico a él (Díaz Gómez, 2015).

⁵⁹ “–La pintura es otra cosa que un producto visual – dijo Etienne–. Yo pinto con todo el cuerpo” (Cortázar, 1963, p. 164).

¿dónde se experimenta la experiencia? no tiene sentido, pues es más bien una cualidad relacional de un sistema conformado por varias partes (cerebro-cuerpo-ambiente).

De manera similar, Torrance apunta: “supongamos que hablamos de tener la experiencia de, digamos, formar parte de un juego de fútbol, o caminar sobre la cuerda floja en un circo, o la experiencia de estar en la audiencia de un concierto de los Rolling Stones - donde lo último que uno quiere es concentrarse en la *experiencia interna* (porque, al hacerlo, uno perdería inmediatamente la concentración sobre el asunto en cuestión: la portería, balancearse sobre la cuerda, la música)-, parece decididamente inapropiado hablar de esas experiencias como procesos (únicamente) *internos*. (...) A pesar de siglos de discusión filosófica acerca de la consciencia y la mente, quienes estudiamos la consciencia seguimos en pañales en términos de poder dilucidar qué es y qué no es lo *interno* de la experiencia” (2009, p. 118, traducción propia).

El segundo mito, el de lo oculto, va de la mano del primero. De acuerdo con la noción actual, yo sólo puedo obtener un conocimiento indirecto de tu experiencia (tus *estados internos*) tras: a) percibir tus *estados externos* (visibles) y luego b) inferir lo interno (no visible) mediante un proceso de teorización o simulación, o ambos. Esto también es conocido como el problema de las *otras mentes* en filosofía (el cual puede ser trazable hasta los *Principios de Filosofía*, de Descartes, de 1644) (Avramides, 1996). Autores enactivistas critican esta idea, argumentando que conocemos el dolor, enojo o emoción del otro directamente, a través de la interacción y no de la mediación de un procedimiento cognitivo específico (Gallagher, 2004; Gallagher & Zahavi, 2008). “Podemos sentirnos

directamente familiarizados con la alegría del otro en su risa, con el sufrimiento y dolor en sus lágrimas, con la pena en su rubor, con la súplica en sus manos extendidas” (Scheler, 1954, en Torrance, 2009).

¿Qué se gana de separar artificialmente la alegría de cada jugador de un equipo de fútbol durante la victoria como un evento *dentro* de la cabeza de cada persona, ontológicamente distinto de la alegría de la persona de junto? Torrance asegura que es al menos tan razonable hablar de todo el equipo sintiendo una alegría compartida (*la* alegría) como lo es hablar de una sola alegría privada e individual por jugador. La indagatoria no es si cada jugador tiene una experiencia individual, sino cuál es su experiencia en tanto miembro de una colectividad.

Ahora, puede ser que la consciencia no sea tan frecuentemente compartible y compartida, pero el hecho de que casos como los revisados aquí existan requiere un espacio de consideración dentro del debate en torno al concepto de la consciencia.

De acuerdo con el tercer y último mito, el mito de lo singular, la experiencia de una persona no sólo está *dentro* del sujeto y oculta del otro, sino que también es un evento *esencialmente singular*. Cada experiencia individual es un elemento extraíble en cualquier situación colectiva de acción conjunta. La experiencia compartida del equipo de fútbol es, según esta visión, nada más que el agregado de experiencias individuales de cada jugador presente. Esta visión atomista de *experiencia agrupada* puede ser engañosa. Primero porque, al interactuar, parte de la fenomenología de mi experiencia

es palpablemente experimentada como compartida, es *nuestra*. Yo experimento mi experiencia, tu experiencia, tu experiencia de mi experiencia y mi experiencia de tu experiencia, como en una Galería de los Espejos. El *yo* que *yo* soy se vuelve parte de una primera persona del plural⁶⁰ (Torrance, 2009); entonces ya no somos *tú* y *yo*, sino *nosotros*.

Una intersubjetividad genuina no es nada misterioso, simplemente quiere decir que la interacción social hace una diferencia en la experiencia vivida; cómo nos relacionamos con el mundo en cada momento de nuestra experiencia no es independiente de cómo interactuamos con otros en ese momento (Froese & Krueger, 2020).

Adicionalmente, las actividades conjuntas tienen su propia dinámica emergente. La interacción social de dos o más personas, como las asambleas celulares dentro del cerebro, es más que la suma de las partes; el sentido que adquiere la situación está constituido por más que el agregado de sentidos individuales dentro del cerebro de los agentes -a pesar de ser un sentido en el cual todos participan, la creación de sentido se genera de manera participativa (De Jaegher & Di Paolo, 2007)-. Por lo tanto, no sólo es cuestión de fenomenología, sino también de las múltiples interacciones entre agentes cuya coevolución puede ser descrita, en principio, mediante la aproximación de sistemas dinámicos⁶¹ (Kelso, 1995; Port & van Gelder, 1995).

⁶⁰ Los pronombres de la primera persona del singular son: yo, mí, me, conmigo. Los de la segunda persona del singular son: tú, ti, te, contigo, usted. Los de la primera persona del plural son: nosotros, nosotras, nos.

⁶¹ El modelamiento sintético, una aproximación al estudio de sistemas complejos, demuestra que los sistemas compuestos por sujetos acoplados en forma unidireccional (i.e. sujeto 1 es un observador del sujeto 2) y aquellos acoplados mutuamente (i.e. el sujeto 1 y 2 interactúan entre sí) son fundamentalmente distintos (Froese et al., 2013).

Por todas estas razones, puede resultar inapropiado concebir a la experiencia como esencialmente individual y mucho más fructífero ver a la consciencia fenomenológica como (constitutivamente) capaz de ser compartida (Torrance, 2009). Si esta propuesta va por buen camino, entonces podría genuinamente existir una base neuronal para la intencionalidad colectiva (Searle, 1990), por ende, superando las dificultades que surgen a raíz de la presuposición individualista de teorías tradicionales en filosofía. También existen consecuencias a nivel experimental: presuntamente, a mayor integración neuronal intercerebral, mayor sensación cualitativa de compartir una sola experiencia.

Capítulo 5. Propuesta experimental: evaluando la extensión de la consciencia

A lo largo de este trabajo he propuesto que la sincronización de fase intercerebral de actividad oscilatoria neuronal es un posible mecanismo para la consciencia (fenomenológica) extendida, que potencialmente explica la asociación entre la sincronización neuronal y la sensación de ‘estar conectado’ con otra persona. A pesar de que es notablemente difícil estudiar la consciencia con herramientas experimentales, sugiero que mi propuesta podría ser evaluada mediante el hiperescaneo EEG.

5.1 Planteamiento del problema

Como expongo al inicio de este trabajo, la asociación entre las oscilaciones neuronales y la integración funcional en el cerebro es altamente reconocida en el estudio de la cognición humana. Adicionalmente, la sincronización oscilatoria a gran escala también se ha propuesto como la base neuronal de la consciencia. Resulta interesante, entonces, que un creciente número de estudios en neurociencia social cognitiva muestren consecutivamente que la sincronización neuronal emerge entre cerebros durante una interacción social significativa.

Similar a la propuesta de la cognición extendida dentro de las ciencias cognitivas (Clark & Chalmers, 1998; Kirchhoff, 2014), la tesis de la consciencia extendida defiende que la maquinaria biológica responsable de generar la experiencia consciente (consciencia fenomenológica) puede, en ciertas ocasiones, rebasar los límites de la cabeza (Kirchhoff & Kiverstein, 2019; Thompson, 2007; D. Ward, 2012).

A través de la técnica de hiperescaneo, se ha observado sincronización neuronal intercerebral entre sujetos bajo distintas condiciones de interacción social –coordinación, cooperación, acción y atención conjunta, comunicación, entre otros (ver Tabla 1)–, la cual se incrementa y disminuye en tiempo real, dependiendo de la naturaleza de la interacción (De Vico Fallani et al., 2010; Dumas et al., 2010; Fishburn et al., 2018; Goldstein et al., 2017; Hu et al., 2018; Sängner et al., 2012; Toppi et al., 2016). Esta sincronización muestra propiedades que son irreducibles a un nivel individual; esto quiere decir que el fenómeno no es el efecto general de un ambiente compartido, sino una propiedad emergente de dinámicas sociales en específico.

Podría ser que, así como en un cerebro individual, la dinámica de actividad neuronal durante la interacción entre personas podría generar integración funcional entre sus cerebros (Kelso & Engstrom, 2006; Stevens et al., 2017; Stevens & Galloway, 2016, 2017) y tener un efecto sobre la consciencia fenomenológica.

Si bien la mayoría de los paradigmas experimentales de hiperescaneo EEG no toman en cuenta la experiencia de los participantes (Balconi & Vanutelli, 2017), aquellos que sí lo hacen muestran una asociación entre la sincronización neuronal intercerebral y la experiencia subjetiva de conexión social, cooperación y *engagement*, así como con experiencias de cohesión social y con una menor distinción de la identidad *yo-otro* (Bevilacqua et al., 2019; Dikker et al., 2017; Goldstein, Weissman-Fogel, Dumas, & Shamay-Tsoory, 2018; Hu et al., 2018; Kinreich, Djalovski, Kraus, Louzoun, & Feldman, 2017; Pan, Cheng, Zhang, Li, & Hu, 2017). Sin embargo, dentro de los estudios de

hiperescaneo EEG que evalúan experiencia subjetiva, ninguno, según mi conocimiento, ha tomado a la consciencia fenomenológica como una variable dependiente de la sincronización neuronal intercerebral.

5.2 Justificación

Proponer que la sincronización de fase intercerebral de actividad oscilatoria neuronal es un mecanismo para la consciencia fenomenológica extendida requiere, necesariamente, diseñar un experimento en donde se evalúe la consciencia fenomenológica de los participantes durante un paradigma de interacción social (igual o similar a alguno que previamente haya mostrado sincronización neuronal entre sujetos), mientras se registra su actividad eléctrica cerebral con hiperescaneo EEG.

Partiendo de la definición que propusimos de la consciencia fenomenológica como la perspectiva experiencial, o punto de vista subjetivo, de un sujeto (Van Gulick, 2014), podemos evaluar la consciencia fenomenológica de los participantes a través de un reporte de su experiencia subjetiva durante el paradigma de interacción. Así, podríamos conocer si la experiencia es influenciada por la interacción con el sujeto y si está mediada por el nivel de sincronización neuronal intercerebral.

Una forma de obtener esta medida subjetiva es evaluar la experiencia de la presencia del otro durante la interacción (i.e. qué tan claramente un sujeto experimenta la presencia de su compañero, así como la sensación de realizar la tarea en conjunto, durante distintas condiciones de interacción social) utilizando una escala de consciencia

perceptual (*Perceptual Awareness Scale (PAS)* (Ramsøy & Overgaard, 2004)). La PAS ha sido valorada como una medida directa y confiable de consciencia fenomenológica (Sandberg et al., 2010; Sandberg & Overgaard, 2015) y, en su versión adaptada para percepción social, su calificación ha sido aceptada como una representación categórica de la experiencia subjetiva de la presencia del otro (Froese et al., 2014) pues los participantes reportan la cualidad de su experiencia subjetiva de manera directa (Sandberg & Overgaard, 2015). Asimismo, tiene mayor consistencia interna que otras escalas utilizadas en el estudio de la consciencia (Sandberg & Overgaard, 2015).

La experiencia de cercanía social evaluada con esta escala puede ser un buen primer paso en el estudio la extensión de la consciencia fenomenológica pues, de acuerdo con aproximaciones fenomenológicas de intersubjetividad, la PAS adaptada funciona como una medición de la experiencia subjetiva de un encuentro significativo con el otro (Froese et al., 2014).

Tanto estudios conductuales en psicología como estudios de hiperescaneo EEG muestran cómo, en dinámicas competitivas —donde hay mucho menor inclusión del otro en la acción—, existe una clara separación *yo-otro* (Decety et al., 2004). La cooperación, por otra parte, puede generar un “entrelazamiento de interagentes” que conduce a un incremento en los patrones de conectividad (Balconi & Vanutelli, 2018b), además de la sensación de una experiencia compartida, donde la distinción entre un sujeto y otro se vuelve difusa.

La tesis de la consciencia extendida propone que el “locus de la experiencia consciente puede fácilmente transitar desde estar, en algunas ocasiones, dentro de la cabeza de un individuo a formar, en otras ocasiones, un nexo de interacción entre cerebro, cuerpo y ambiente” (Kirchhoff & Kiverstein, 2019, p. 1, traducción propia). Por otro lado, estudios de hiperescaneo EEG sugieren que la sincronización neuronal intercerebral modula la integración y segregación *yo-otro* (Novembre et al., 2016). Es posible que la PAS adaptada sea un indicador cualitativo de este “locus de la experiencia consciente” durante un paradigma experimental de interacción.

5.3 Preguntas de investigación

Derivado de estas consideraciones, planteo un experimento que responda a la siguiente pregunta general de investigación:

1. ¿Pueden las bases neuronales de la consciencia (entendiendo a estas como la sincronización de fase intercerebral de actividad oscilatoria neuronal) extenderse mediante la interacción?

Para responder a esta pregunta general, debo antes plantear una serie de preguntas específicas:

1. ¿Existen diferencias de sincronización neuronal intercerebral durante distintas condiciones de una tarea de interacción social?
2. ¿Se asocia la condición de interacción social con el grado de sincronización neuronal intercerebral?

3. ¿Se asocia el grado de sincronización neuronal intercerebral con la experiencia subjetiva de cercanía social de los sujetos?

5.4 Objetivos

Objetivo general: evaluar si la experiencia subjetiva de la presencia del otro es influenciada por el tipo de interacción social y si ésta está mediada por el nivel de sincronización neuronal intercerebral.

Objetivos específicos:

1. Comparar el desempeño conductual entre diadas durante una tarea de conteo mental, bajo tres condiciones de interacción social: coordinación, competencia y desempeño individual (control).
2. Comparar el nivel de sincronización neuronal intercerebral entre diadas durante una tarea de conteo mental, bajo tres condiciones de interacción social: coordinación, competencia y desempeño individual (control).
3. Comparar la experiencia subjetiva de la presencia del otro, medida con una escala de consciencia perceptual adaptada para percepción social, que ocurre entre diadas durante una tarea de conteo mental, bajo tres condiciones de interacción social: coordinación, competencia y desempeño individual (control).
4. Explorar la asociación entre la experiencia subjetiva de la presencia del otro y el tipo de interacción social (coordinación, competencia o desempeño individual).
5. Explorar la asociación entre la experiencia subjetiva de la presencia del otro y el nivel de sincronización neuronal intercerebral entre diadas.

5.5 Hipótesis

Con base en los antecedentes presentados en este trabajo, propongo que a mayor integración neuronal intercerebral, mayor sensación cualitativa de compartir una sola experiencia. En el caso de este experimento, la primera aproximación a estudiar la sensación cualitativa de compartir una sola experiencia se evaluará a través de un reporte subjetivo (i.e. un reporte acerca la sensación de la presencia del otro y de realizar la tarea en conjunto, utilizando una escala de consciencia perceptual adaptada para percepción social). Por lo tanto, planteo las siguientes hipótesis:

Hipótesis general: los sujetos que muestren mayor sincronización neuronal intercerebral con su diada reportarán una mayor sensación de la presencia del otro durante la tarea que los sujetos que muestren una menor sincronización neuronal intercerebral —o que muestren una sincronización cerebral baja o nula—, y tanto la sincronización neuronal intercerebral como la experiencia subjetiva de la presencia del otro serán mayores en la condición de coordinación (vs. competencia o desempeño individual).

Hipótesis específicas:

1. La sincronización neuronal intercerebral será significativamente mayor entre sujetos durante la condición de coordinación de la tarea que durante las condiciones de competencia o desempeño individual (control).
2. El desfase temporal interpersonal será menor entre sujetos durante la condición de coordinación de la tarea que durante las condiciones de competencia o desempeño individual.

3. Los sujetos reportarán una mayor percepción de la presencia del otro en la condición de coordinación que durante las condiciones de competencia o desempeño individual.
4. Se observará un efecto de mediación del nivel de sincronización neuronal intercerebral sobre la percepción de la presencia del otro.

5.6 Método

5.6.1 Participantes

La muestra estará conformada por mínimo 30 participantes⁶² sanos, de ambos sexos, con una escolaridad mínima de licenciatura terminada, vista normal o corregida y sin antecedentes psicopatológicos o neurológicos. La muestra se obtendrá de estudiantes e investigadores del Instituto de Ciencia y Tecnología de Okinawa (OIST, por sus siglas en inglés), en Okinawa, Japón. Todos deberán participar voluntariamente y firmar un consentimiento informado de acuerdo con la declaración de Helsinki. Todos los procedimientos experimentales deberán ser aprobados por el comité de ética de dicho Instituto. Como criterios de exclusión se considerará el padecimiento (previo o al momento del estudio) de enfermedades psiquiátricas o neurológicas, así como prácticas antisociales (evaluadas con la escala de prácticas antisociales del *Minnesota Multiphasic Personality Inventory* [MMPI-2-RF]). Como criterios de eliminación se considerará el abandono o interrupción de la tarea y demasiados artefactos en el registro electroencefalográfico.

⁶² *N* propuesta con base en artículos previos. Representa suficiente potencia estadística (0.8) para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (Serdar et al., 2021).

5.6.2 Paradigma experimental

En este experimento, los sujetos serán pareados de manera semialeatoria (para evitar que exista relación previa) y expuestos a tres condiciones de interacción social: coordinación, competencia y desempeño individual (control). Cada pareja realizará una tarea de conteo mental similar a la realizada por Mu et al. (2017) (presentada en el Capítulo 3), bajo tres condiciones distintas (coordinación, competencia, control), donde a cada sujeto se le pedirá contar mentalmente (sin el uso de un reloj) hasta un número presentado en la pantalla y presionar un botón una vez que haya terminado. Cada condición será contrabalanceada para minimizar la influencia de factores como la habituación y la fatiga, además de otros efectos de orden. En todas las condiciones, los individuos de cada pareja estarán sentados uno junto al otro, aunque ingresarán a la habitación de manera individual; estarán separados por una pared para evitar contacto visual y utilizarán auriculares con cancelación de ruido (proporcionados antes de entrar a la habitación) para evitar escuchar el momento en el que el otro sujeto entra a la habitación, hace algún movimiento, o presiona el botón durante la tarea.

Cada condición de la tarea consistirá en una sesión con cuatro bloques de diez ensayos. En cada ensayo se presentará en un monitor de computadora un número (del 6 al 10) dentro de un círculo por 500ms, el número indicará el tiempo en segundos al que cada miembro de la pareja deberá contar mentalmente. Posteriormente, se presentará una cruz fija en el centro de la pantalla que indicará a los participantes que deberán de empezar a contar; los participantes presionarán una tecla para indicar que han terminado el conteo (Fig. 5.1).

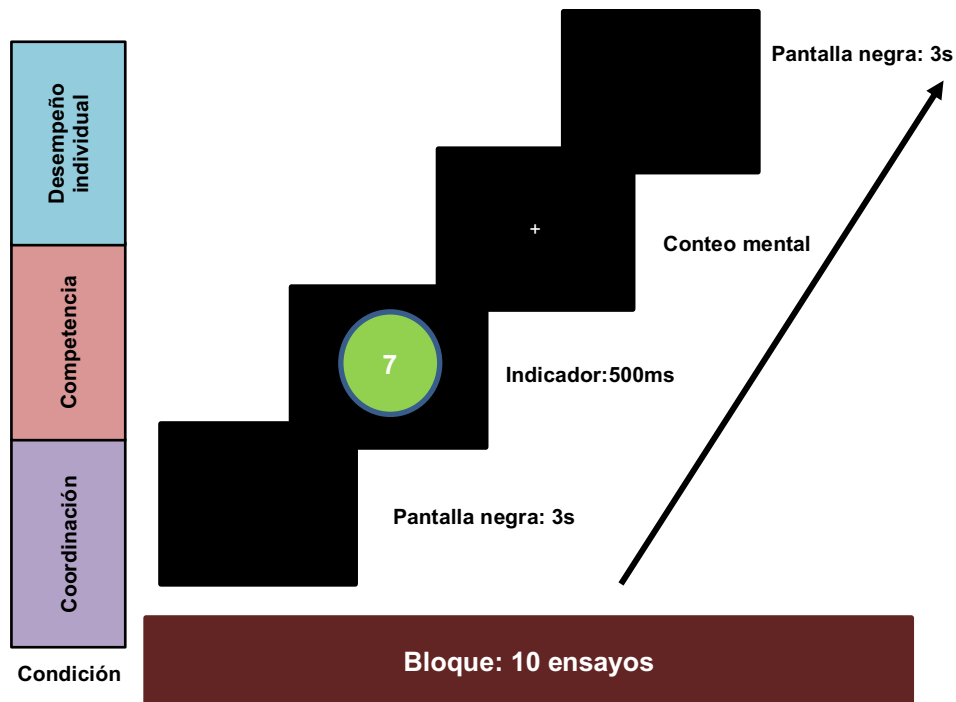


Figura 5.1 Diseño experimental. Cada pareja completará tres condiciones: coordinación, competencia y desempeño individual (el orden de las condiciones será contrabalanceado). Para cada condición, cada pareja completará cuatro bloques de diez ensayos mientras se registra su actividad EEG (40 ensayos por condición, por pareja). Cada ensayo iniciará con la pantalla en negro (3s), después se presentaría un número (ej. 7) en la pantalla por 500ms. Este número representa el tiempo (en segundos) que los participantes deberán contar en silencio. La presentación de una cruz blanca en la pantalla les indicará que comiencen a contar. Una vez terminado el conteo mental, presionarán una tecla para indicar que han terminado. Pevio al inicio del experimento, en la condición de coordinación se les pedirá que sincronicen el conteo mental con su pareja; en la condición de competencia se les pedirá que sincronicen el conteo mental con la computadora y que intenten lograr un mejor desempeño que su pareja; en la condición de desempeño individual se les pedirá que hagan el conteo mental naturalmente (sin buscar sincronizarse con la pareja o con la computadora). Posterior a cada bloque de diez ensayos, los participantes calificarán su experiencia subjetiva con la PAS, cada pareja completará doce reportes de la PAS en total (cuatro por condición).

En cada condición las instrucciones para los participantes serán las siguientes:

- Condición de coordinación: a cada sujeto se le pedirá que intente sincronizar su conteo mental con el de su pareja (i.e. que, una vez presentado el estímulo en la pantalla, hagan el conteo mental simultáneamente sin comunicarse y, por lo tanto, intenten presionar el botón al mismo tiempo).
- Condición de competencia: a cada sujeto se le pedirá que haga el conteo mental intentando sincronizarse con el contador de la computadora y buscando

tener un mejor desempeño que su pareja (es decir, intentando lograr un menor desfase temporal en el conteo humano-computadora).

- Condición de desempeño individual (control): se le pedirá a cada sujeto que haga el conteo mental de manera natural y sin la instrucción de sincronizarse con la pareja o con el contador de la computadora.

Después de cada bloque de ensayos, los participantes calificarán su experiencia subjetiva utilizando la *Perceptual Awareness Scale* (PAS) (Ramsøy & Overgaard, 2004) en su versión adaptada para percepción social (Froese et al., 2014) y modificada para los propósitos de este estudio, para evaluar los efectos fenomenológicos de la interacción social durante la tarea.

Con esta escala, se pedirá a los participantes que elijan una calificación en una escala Likert del 1 al 4: “Por favor selecciona la categoría que describa mejor qué tanto experimentaste la presencia de tu pareja durante la tarea”:

1) No experimenté nada: ninguna experiencia subjetiva de la presencia de mi pareja, ni siquiera la más ligera sensación de que estaba realizando la tarea conmigo.

2) Tuve una impresión vaga de su presencia: llegué a sentir que mi pareja estaba presente, pero la sensación fue mínima. Ninguna sensación de realizar la tarea en conjunto.

3) Tuve una experiencia casi clara de su presencia: una experiencia difusa y no muy clara de la presencia de mi pareja en la habitación. Cierta nivel de confianza de que realizamos la tarea en conjunto, pero no lo experimenté con certeza.

4) Tuve una experiencia clara de su presencia: sentí claramente la presencia de mi pareja en la habitación y que estábamos realizando la tarea en conjunto.

La presentación de la escala iría acompañada de una explicación clara y detallada de cada una de las categorías. Es importante combinar la instrucción de cómo utilizar la PAS con una discusión abierta con los participantes acerca de su interpretación cada categoría (Overgaard & Sandberg, 2021). Más que preguntar si entendieron cada categoría, se pedirá que repitan las definiciones en sus propias palabras. Antes de dar inicio a la sesión experimental, se realizarán una serie de ensayos piloto para asegurar que los participantes entienden el uso de la escala y que las categorías presentadas sean útiles y distinguibles entre sí.

5.6.3 Montaje EEG y adquisición de datos

Tanto la actividad neurofisiológica como las respuestas conductuales de cada pareja de sujetos durante la tarea serán registradas simultánea y continuamente durante cada ensayo mediante un sistema de registro EEG dual de 32 canales (Brain Products GmbH). Un mismo sistema recibirá estímulos sincronizadores desde el puerto paralelo de una computadora (Fig. 5.2). Los estímulos serán presentados a cada individuo simultáneamente en su monitor, con ambos monitores conectados al mismo servidor. Las señales EEG de cada individuo serán registradas con una gorra elástica (EasyCAP) de 32 electrodos activos de Ag/AgCl colocados según el sistema internacional 10/20. El electrodo de referencia se colocará en el mastoideo derecho de cada participante, el electrodo de tierra se colocará en el área centro-parietal (CPz) y la detección de artefactos oculares se hará con dos electrodos localizados en el canto externo y

suborbital del ojo izquierdo, respectivamente. Las impedancias de todos los electrodos se mantendrán debajo de los 5 K Ω . La tasa de muestreo del registro será de 1000Hz, con un ancho de banda de 0.1 a 500Hz. Se aplicará un filtro pasa bajas de 100Hz.



Figura 5.3 Ilustración de los elementos y conexiones en el montaje de hiperescaneo EEG con el equipo de BrainProducts e EasyCAP. Cada participante estaría conectado a un amplificador (BrainAmp DC) mediante cajas de electrodos individuales, esto permite tener una Referencia y una Tierra individuales y, por lo tanto, registros independientes. Los amplificadores estarán conectados a la computadora por un adaptador USB2. Las señales de ambos participantes serán registradas simultáneamente en un espacio de trabajo de 64 canales (BrainVision Recorder) (Barraza et al., 2019).

5.6.4 Delimitación de las variables de estudio

Las variables dependientes de este estudio serán la consciencia fenomenológica, evaluada a través de un reporte de la experiencia subjetiva de la presencia del otro durante la tarea de interacción, la respuesta conductual, evaluada a través del desfase temporal interpersonal en el tiempo de conteo, y el nivel de sincronización neuronal intercerebral, evaluada a través de la medida de Correlación Circular (CCorr).

Como variable independiente se analizarán el tipo de interacción social (coordinación vs. competencia vs. desempeño individual).

5.7 Preprocesamiento EEG y análisis estadístico

El preprocesamiento de datos podrá elaborarse con el programa MATLAB (MathWorks Inc.), utilizando el paquete FieldTrip para análisis de datos electrofisiológicos (Oostenveld et al., 2011). Después de remover los artefactos oculares y de movimiento con un Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés), los datos serán filtrados a las bandas de frecuencia delta (0.1-3 Hz), theta (4-7 Hz), alfa (8-14 Hz), beta (15-30 Hz) y gamma (31-60 Hz) con el filtro de Butterworth y divididos en épocas de 1000ms; la fase instantánea podrá ser estimada utilizando la transformada de Hilbert. Posteriormente, se calculará la medida de Correlación Circular (CCorr) para cada banda de frecuencia en cada ventana de 1,000ms y para cada combinación posible de electrodos entre sujetos, y se aplicará una corrección de *False Discovery Rate* (FDR) para comparaciones múltiples ($q=0.05$)⁶³. La CCorr ha demostrado ser la medida de sincronización intercerebral con menor sensibilidad a correlaciones espurias en datos de hiperescaneo EEG (Burgess, 2013). Las medidas de CCorr posteriormente serán normalizadas con la transformada Z de Fisher⁶⁴.

⁶³ En estadística, la FDR es un método para conceptualizar la tasa de errores Tipo I en las pruebas de hipótesis nulas cuando se realizan comparaciones múltiples. Se utiliza para controlar el número de “descubrimientos falsos” (rechazos incorrectos de la hipótesis nula) (Storey, 2011).

⁶⁴ En estadística, la transformada Z de Fisher es utilizada para normalizar coeficientes de correlación. Esta transformada es la tangente hiperbólica inversa al coeficiente de correlación y se utiliza porque, cuando el coeficiente de correlación r “crudo” es significativo (cercano a 1), su distribución es altamente asimétrica. Esto vuelve muy difícil estimar intervalos de confianza y aplicar pruebas de significancia al coeficiente de correlación poblacional ρ . La transformada de Fisher da solución a este problema al arrojar una variable cuya distribución ha sido normalizada, con una varianza estable sobre distintos valores de r (Fisher, 1921).

Asimismo, se calculará el desempeño conductual (desfase temporal interpersonal promedio del conteo mental) y la calificación promedio de la PAS para cada bloque de ensayos.

Al igual que en el estudio de Mu et al. (2017), para cuantificar el desempeño conductual de cada diada se calculará el desfase temporal interpersonal de cada ensayo con la siguiente fórmula:

$$\delta_{des_i} = |(TR_{i,suj_1} - TR_{i,suj_2})| / (TR_{i,suj_1} + TR_{i,suj_2})$$

donde TR_{i,suj_1} y TR_{i,suj_2} son los tiempos de reacción de dos individuos de una pareja en el i -ésimo ensayo. Un δ_{des_i} bajo refleja mayor sincronización conductual interpersonal. Esto permitirá eliminar las diferencias de tiempo de conteo entre diadas.

Posteriormente, se calculará el desfase temporal interpersonal promedio de todos los ensayos válidos de la tarea (excluyendo respuestas conductuales mayores a tres desviaciones estándar arriba del promedio).

5.7.1 Análisis estadístico

Para evaluar si la interacción social tiene un efecto sobre la experiencia subjetiva de la presencia del otro, se realizará un Análisis de Varianza (ANOVA) mixto para medidas repetidas, con la calificación promedio en la PAS como variable dependiente y el tipo de interacción social (coordinación vs. competencia vs. desempeño individual) como variable intra-sujeto. Se utilizará la prueba Bonferroni como medida post hoc. De igual modo, para evaluar los efectos del tipo de interacción social sobre el desempeño

conductual, se realizará un ANOVA mixto para medidas repetidas, con la medida de desfase temporal interpersonal como variable dependiente y el tipo de interacción social (coordinación vs. competencia vs. desempeño individual) como variable entre sujetos. Se utilizará la prueba Bonferroni como medida post hoc. Se realizará un análisis de parejas aleatorias para ambas evaluaciones, con el objetivo de descartar posible sincronización intercerebral inducida por estímulos externos o espuria.

Para evaluar si la interacción social tiene un efecto sobre el nivel de sincronización neuronal intercerebral, se realizará un ANOVA mixto para medidas repetidas, con la medida CCorr (normalizada) como variable dependiente y el tipo de interacción social (coordinación vs. competencia vs. desempeño individual) como variable intra-sujeto. Se utilizará la prueba Bonferroni como medida post hoc.

Por último, para evaluar si la influencia del tipo de interacción social sobre la experiencia subjetiva de la presencia del otro está mediada por el nivel de sincronización neuronal intercerebral, se conducirá un análisis de mediación (por ejemplo, con PROCESS macro para SPSS (Hayes, 2013)), con la condición (coordinación vs. competencia vs. desempeño individual) como variable independiente, la medida de CCorr (normalizada) como el mediador y la calificación promedio de la PAS como variable dependiente. Adicionalmente, se realizará otro análisis de mediación, con la condición como variable independiente, la medida de desfase temporal interpersonal como mediador y la calificación promedio de la PAS como variable dependiente, esto para evaluar si en

realidad la influencia del tipo de interacción social sobre la experiencia subjetiva de la presencia del otro está mediada por el desempeño conductual.

Este experimento sería el primero en evaluar si la experiencia subjetiva de la presencia del otro es influenciada por el tipo de interacción social (coordinación, competencia o desempeño individual) y si ésta está mediada por el nivel de sincronización neuronal intercerebral. De ser confirmada la hipótesis, este experimento podría ser un primer paso hacia establecer a la sincronización neuronal intercerebral como la base de la consciencia extendida; como un mecanismo que nos une de forma neuronal durante la interacción social significativa y que tiene un rol constitutivo en nuestra experiencia, en nuestra consciencia fenomenológica.

Discusión

La sincronización de fase y frecuencia, el acoplamiento entre procesos oscilatorios es un ejemplo por excelencia de la autoorganización en los sistemas dinámicos, de una coordinación sin coordinador (Buzsáki, 2006; Haken, 2013; Kelso, 2009; Kuramoto, 1984; Strogatz, 2003; Winfree, 2002). Dentro de un cerebro individual, la sincronización de fase de distintas frecuencias de actividad oscilatoria neuronal se ha reconocida como el mecanismo responsable de la integración neuronal funcional necesaria para la cognición (Bonfond et al., 2017; Buzsáki, 2006; Engel & Fries, 2016; Fries, 2015; Rodriguez et al., 1999; Sauseng & Klimesch, 2008; Siegel et al., 2012; Varela et al., 2001; Wang, 2006; L. Ward, 2003), e incluso se ha propuesto como posible base neuronal de la consciencia (Buzsáki, 2006; Crick & Koch, 1990; Engel et al., 1999; Engel & Fries, 2016; Llinás, 2001; Melloni et al., 2007; Revonsuo, 2014; Thompson & Varela, 2001).

En este trabajo se exploró la evidencia creciente de la existencia de sincronización de fase neuronal *intercerebral* durante la interacción social significativa –obtenida con la técnica de hiperescaneo EEG– y se evaluó lo que esta evidencia puede significar para el concepto tradicional de consciencia.

Gracias a la técnica de hiperescaneo y a la invitación dentro de la neurociencia social de pasar de una ‘neurociencia de un solo cerebro’ a una ‘neurociencia en segunda persona’ (Dumas, 2011; Hari et al., 2013; Hari & Kujala, 2009; Hasson et al., 2012; Konvalinka & Roepstorff, 2012; Redcay & Schilbach, 2019; Schilbach et al., 2013), la sincronización neuronal intercerebral ha adquirido un papel indiscutible en la comprensión de procesos

interactivos de coordinación, cooperación, acción y atención conjunta, comunicación, entre otros (ver Tabla 1), pues exhibe propiedades que son irreducibles a un nivel individual.

Esto es respaldado por uno de los aspectos de los estudios de hiperescaneo EEG más interesantes y menos explorados actualmente: una asociación entre la sincronización neuronal intercerebral y la experiencia subjetiva de cohesión social, cooperación y *engagement* (Bevilacqua et al., 2019; Dikker et al., 2017; Goldstein et al., 2018; Hu et al., 2018; Kinreich et al., 2017; Pan et al., 2017). Además de apoyar a la investigación en psicología que demuestra que intenciones, motivaciones y experiencias emocionales compartidas emergen durante la interacción (Balconi & Vanutelli, 2017, 2018a; Bernieri, 1988; Byrne, 2005; E. Cohen et al., 2010; Dumas et al., 2010; Galbusera et al., 2019; Goldman et al., 1977; Goldstein et al., 2017; Hari & Kujala, 2009; Lakens, 2010; McNeill, 1997; Novembre et al., 2016; Rabinowitch & Knafo-Noam, 2015; Schilbach et al., 2013; Valdesolo et al., 2010; Valdesolo & DeSteno, 2011), posiciona a la sincronización neuronal intercerebral como un posible mecanismo para compartir el mundo social (Czeszumski et al., 2020; Hasson et al., 2012) que, más que depender de una sola región o frecuencia cerebral, está determinada por el contexto y las características de la interacción (Mu et al., 2017).

Contraria a la posición cognitivista, la cual adopta una postura internalista y considera a la mente como algo que ocurre únicamente dentro del cerebro individual, la aproximación enactiva nos permite interpretar estos resultados y mirar a este mecanismo de forma más

naturalista. Si bien es cierto que el cerebro es necesario para la realización de la experiencia, la experiencia no es localizable en una red o región del cerebro. Bien apuntaba Damasio en *El Error de Descartes* que “no existe una mente sin cuerpo” (Damasio, 1994; Harris, 2006), pero otro error de Descartes fue separar a la mente del mundo: “la mente no está incidental sino íntimamente encarnada e íntimamente embebida en su mundo” (Haugeland, 1998, p.237, traducción propia). En este sentido, el enactivismo establece una asociación entre el individuo, el mundo y otros individuos en términos de dinámicas interactivas no lineales (Beer, 2000; Froese & Ikegami, 2013) y, por lo tanto, cuestiona la visión individualista de la mente humana (Clark & Chalmers, 1998; De Jaegher & Di Paolo, 2007; Froese, 2018; Kirchhoff, 2014; Kirchhoff & Kiverstein, 2019; Torrance, 2009; Varela et al., 2016).

Los límites que distinguen al *yo* del *otro*, en vez de ser fijos, están bajo negociación constante (Clark & Chalmers, 1998; Kirchhoff, 2014; Kirchhoff & Kiverstein, 2019), pues los procesos de autoorganización del sistema cerebro-cuerpo-ambiente pueden ocurrir también a nivel social dependiendo de la naturaleza de la interacción (De Jaegher & Di Paolo, 2007; Galbusera et al., 2019). Considerando esto, los límites de la consciencia también pueden estar bajo negociación durante la interacción social significativa.

Observando la objeción formulada por Clark dentro del debate en torno a la extensión de la consciencia, basada en la falta de evidencia empírica de la existencia de procesos neuronales rápidos más allá de un cerebro individual (Clark, 2009), y contrastándola con los hallazgos presentados aquí, podríamos replantearnos el concepto prevalente de

consciencia fenomenológica como esencialmente interna, oculta y singular (Torrance, 2009). Al hacerlo, validaríamos una de nuestras experiencias más íntimas: cuando *nosotros* estamos compartiendo un momento juntos, ya no necesariamente estamos separados de manera fundamental por nuestra cabeza; podríamos realmente ser dos individuos distintos compartiendo una y la misma experiencia (Froese, 2018).

La consecuencia del argumento de Clark de que la integración temporal rápida de actividad neuronal delimita a las bases de la consciencia, al ser vista bajo la evidencia presentada en este trabajo, es que estas bases podrían, en efecto, extenderse entre cerebros durante una interacción. Para Clark, y para mí, esta es una afirmación de constitución, no de causalidad. Ahora, esto no necesariamente significa que las perspectivas individuales de cada persona son eliminadas y fusionadas en una sola experiencia *supraindividual* (Stapleton & Froese, 2015). Propongo que las bases de la experiencia de un individuo se pueden ahora entender como integrantes de una parte de la actividad neuronal del cerebro de otra persona, y que este hecho proporciona una explicación adecuada para la transición experiencial cualitativa, desde una perspectiva puramente en primera persona del singular (*yo, me, mí, conmigo*) a una perspectiva del *nosotros* (Zahavi, 2015) de la primera persona del plural.

En el estudio de sistemas dinámicos, esta *unión sin fusión* es posible. Los elementos individuales que componen a una *sinergia*⁶⁵ pueden coordinarse como un todo y, a su

⁶⁵ Agrupación funcional de elementos que actúan como una sola unidad coherente, característica de los sistemas complejos (Haken, 1980, 2013; Kelso, 1995, 2009).

vez, mantener cierto grado de autonomía. Este principio organizativo, llamado *metaestabilidad*, explica la conducta de sistemas complejos y reconcilia contrarios aparentes: individuo vs. colectivo, parte vs. todo, competencia vs. cooperación, segregación vs. integración (Kelso, 2009). La *metaestabilidad* está presente en el cerebro y otros sistemas complejos físicos, biológicos y sociales (Bressler & Kelso, 2016; Kelso, 2009, 2019; Tognoli & Kelso, 2009) y nos demuestra que más sincronización no siempre es mejor. A pesar de que la sincronización interpersonal podría ser un mecanismo evolutivo para facilitar la cohesión social y el *bonding* (Launay et al., 2016), demasiada sincronización puede tener efectos negativos (Mayo & Gordon, 2020).

Durante tareas competitivas, una sensación de ‘interagencia’ e intencionalidad compartida puede ser perjudicial para el desempeño individual necesario (Balconi & Vanutelli, 2018b). Asimismo, la sincronización, a pesar de correlacionar con afecto positivo, está relacionada con menor autorregulación (Galbusera et al., 2019), lo cual podría explicar fenómenos sociales como la conducta de masas y le daría importancia al estudio del papel funcional de la *desincronización* intercerebral en un futuro.

Habiendo dicho esto, debo señalar que varios de los estudios de hiperescaneo revisados aquí muestran cómo la sincronización intercerebral incrementa y disminuye en tiempo real dependiendo de la naturaleza de la interacción (De Vico Fallani et al., 2010; Dumas et al., 2010; Fishburn et al., 2018; Goldstein et al., 2017; Hu et al., 2018; Sängner et al., 2012; Toppi et al., 2016) y parece modular la integración y segregación *yo-otro*

(Novembre et al., 2016). Esta flexibilidad refleja la naturaleza dinámica y cambiante de la socialización humana.

De poder superar el escepticismo teórico de Clark, la sincronización intercerebral, como mecanismo neuronal de la extensión de la consciencia, deberá ser evaluada adicionalmente de manera experimental, posiblemente mediante el experimento que propongo, o con una técnica que permita modificar las oscilaciones neuronales en curso, para *enfasar* o *desenfasar* la actividad eléctrica cerebral de participantes durante un paradigma de interacción social (por ejemplo, mediante estimulación transcraneal por corriente alterna de manera simultánea, o hiper-tACS)⁶⁶.

La propuesta experimental presentada en este trabajo es un primer acercamiento al estudio científico de la extensión de la consciencia y no está libre de limitaciones. La escala de consciencia propuesta, la *Perceptual Awareness Scale* (PAS), fue propuesta originalmente para abordar uno de los problemas metodológicos más fuertes en el estudio científico de la consciencia: lograr calibrar externamente el contenido subjetivo (Overgaard & Sandberg, 2021). Esta escala ha sido valorada como una medida directa y confiable de consciencia fenomenológica (Sandberg et al., 2010; Sandberg & Overgaard, 2015), con mayor consistencia interna que otras escalas utilizadas en el estudio de la consciencia (Sandberg & Overgaard, 2015) y, en su versión adaptada para

⁶⁶ El corregistro de tACS con EEG sigue estando en una etapa muy temprana, pero promete “abrir una nueva frontera en la investigación de ritmos oscilatorios cerebrales” (Feurra et al., 2012). Hasta ahora, ha comprobado ser una forma efectiva de manipular la sincronización de fase intercerebral en curso durante la acción conjunta (Novembre et al., 2017; Szymanski, Müller, et al., 2017), pero los resultados aún no son concluyentes (Valencia & Froese, 2020).

percepción social, su calificación ha sido aceptada como una representación categórica de la experiencia subjetiva de la presencia del otro (Froese et al., 2014). Sin embargo, la versión adaptada para percepción social aún no está estandarizada, y existen autores que cuestionan la validez de la escala original en el estudio de la consciencia, argumentando que no queda claro si la herramienta mide lo que pretende medir (el “problema de coordinación”) y que los reportes subjetivos pueden ser interpretados de distintas maneras, por lo que los resultados experimentales que dependen de esta escala para evaluar la consciencia podrían ser ambiguos (Michel, 2019).

Esta escala, al igual que la propuesta experimental esbozada en este trabajo, no es la única ni necesariamente demostrará ser la mejor medida de consciencia fenomenológica, pero sí representa un punto de partida, al arrancar bajo el supuesto de que una buena medición de consciencia debe estar conectada con la experiencia vivida del sujeto (Overgaard & Sandberg, 2021).

Conclusión

Una postura influyente dentro de filosofía de la mente, articulada por Clark (2009), apelaba a la falta de evidencia empírica en torno a procesos de *binding* en frecuencias altas más allá del sistema nervioso individual. A pesar de apoyar la hipótesis de que integración temporal rápida de actividad neuronal puede delimitar las bases de la consciencia fenomenológica, concluyó que la posibilidad de la consciencia extendida permanecía, en el mejor de los casos, sin comprobarse.

Los hallazgos de estudios de hiperescaneo EEG detallados en este trabajo revelan sincronización cerebro a cerebro durante la interacción social en distintas regiones y frecuencias (incluyendo la frecuencia rápida gamma), y muestran que este fenómeno no es un efecto general de un ambiente compartido, sino una propiedad emergente de dinámicas sociales en específico, por lo que la postura escéptica de Clark puede cuestionarse. Adicionalmente, los reportes subjetivos de conexión social, cohesión y *engagement* que han acompañado dichos hallazgos, los cuales son consistentes con estudios conductuales en psicología que revelan que la sincronización de movimiento y la cooperación se relacionan con experiencias de “fusión” *yo-otro* (Galbusera et al., 2019; Novembre et al., 2016; Rabinowitch & Knafo-Noam, 2015), de agencia compartida (Dumas et al., 2010) y con el sentimiento de estar “en el mismo canal”, de estar “en sintonía” con el otro (Byrne, 2005; Hari & Kujala, 2009) y de “formar parte de un todo” (Balconi & Vanutelli, 2018a; Lakens, 2010), nos dirigen hacia un nuevo panorama en torno a la importancia de la sincronización neuronal intercerebral en el entendimiento de

la naturaleza de la consciencia humana y la colocan como un posible mecanismo para la consciencia extendida.

El experimento propuesto en este trabajo para evaluar la relación de la sincronización neuronal intercerebral con la experiencia cualitativa de compartir una sola vivencia es un posible primer paso para evaluar experimentalmente la tesis de la extensión de la consciencia. Más allá de las limitaciones esbozadas anteriormente –y aquellas que se me escapan–, este trabajo buscó retomar la importancia de la experiencia en el estudio de la mente, y cuestionar la caracterización tradicional de la consciencia humana como necesariamente privada y experimentada, en todo momento, en primera persona.

Es necesario reunir las mejores prácticas de la neurociencia cognitiva contemporánea y superar la suposición prevalente de que *todos* los aspectos de la consciencia son necesariamente privados y singulares. El *punto ciego* de la ciencia hasta ahora ha sido ignorar la experiencia vivida (Frank et al., 2019), pero la experiencia no es un epifenómeno prescindible en el estudio de la mente. Nuestra conducta y experiencia no suceden en forma aislada, emergen en contexto y con una fuerte interconexión con otros seres humanos. Es momento de alinear las ciencias de la mente con la naturaleza social de la experiencia humana y explorar si verdaderamente las bases neuronales de la consciencia pueden extenderse más allá de un cerebro individual mediante la interacción social.

Referencias

- Ahn, S., Mellin, J. M., Alagapan, S., Alexander, M. L., Gilmore, J. H., Jarskog, L. F., & Fröhlich, F. (2019). Targeting reduced neural oscillations in patients with schizophrenia by transcranial alternating current stimulation. *NeuroImage*, *186*, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.056>
- Allen, C., & Bekoff, M. (2007). Animal consciousness. In M. Velmans & S. Schneider (Eds.), *Blackwell Companion to Consciousness* (pp. 58–71). Blackwell Publishing.
- American Psychological Association. (2015). *APA Dictionary of Psychology* (G. VandenBos, Ed.; 2nd ed.). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14646-000>
- Astolfi, L., Toppi, J., de Vico Fallani, F., Vecchiato, G., Cincotti, F., Wilke, C., Yuan, H., Mattia, D., Salinari, S., He, B., & Babiloni, F. (2011). Imaging the social brain by simultaneous hyperscanning during subject interaction. *IEEE Intelligent Systems*, *26*(5), 38–45. <https://doi.org/10.1109/MIS.2011.61>
- Astolfi, L., Toppi, J., de Vico Fallani, F., Vecchiato, G., Salinari, S., Mattia, D., Cincotti, F., & Babiloni, F. (2010). Neuroelectrical hyperscanning measures simultaneous brain activity in humans. *Brain Topography*, *23*(3), 243–256. <https://doi.org/10.1007/s10548-010-0147-9>
- Avramides, A. (1996). Descartes and other minds. *Teorema*, *16*(1), 27–46.
- Baars, B. J. (2005). Global workspace theory of consciousness: toward a cognitive neuroscience of human experience. *Progress in Brain Research*, *150*, 45–53. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(05\)50004-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(05)50004-9)

- Babiloni, F., & Astolfi, L. (2014). Social neuroscience and hyperscanning techniques: Past, present and future. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *44*, 76–93. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.07.006>
- Babiloni, F., Cincotti, F., Mattia, D., de Vico Fallani, F., Tocci, A., Bianchi, L., Salinari, S., Marciani, M. G., Colosimo, A., & Astolfi, L. (2007). High resolution EEG hyperscanning during a card game. *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 4957–4960. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4353453>
- Babiloni, F., Cincotti, F., Mattia, D., Mattiocco, M., de Vico Fallani, F., Tocci, A., Bianchi, L., Marciani, M. G., & Astolfi, L. (2006). Hypermethods for EEG hyperscanning. *2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 3666–3669. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2006.260754>
- Baccalá, L. A., & Sameshima, K. (2001). Partial directed coherence: a new concept in neural structure determination. *Biological Cybernetics*, *84*, 463–474. <https://doi.org/10.1007/PL00007990>
- Balconi, M., & Vanutelli, M. E. (2017). Cooperation and competition with hyperscanning methods: Review and future application to emotion domain. *Frontiers in Computational Neuroscience*, *11*, 86. <https://doi.org/10.3389/fncom.2017.00086>
- Balconi, M., & Vanutelli, M. E. (2018a). EEG hyperscanning and behavioral synchronization during a joint action. *Neuropsychological Trends*, *24*, 23–47. <https://doi.org/10.7358/neur-2018-024-balc>
- Balconi, M., & Vanutelli, M. E. (2018b). Functional EEG connectivity during competition. *BMC Neuroscience*, *19*(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s12868-018-0464-6>

- Barraza, P., Dumas, G., Liu, H., Blanco-Gomez, G., van den Heuvel, M., Baart, M., & Pérez, A. (2019). Implementing EEG hyperscanning setups. *MethodsX*, 6, 428–436. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.02.021>
- Bayne, T. (2014). Unity of consciousness. In T. Bayne, A. Cleeremans, & P. Wilken (Eds.), *The Oxford Companion to Consciousness* (pp. 645–648). Oxford University Press.
- Beer, R. D. (2000). Dynamical approaches to cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(3), 91–99. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01440-0](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01440-0)
- Bernieri, F. J. (1988). Coordinated movement and rapport in teacher-student interactions. *Journal of Nonverbal Behavior*, 12(2), 120–138. <https://doi.org/10.1007/BF00986930>
- Betzel, R. F., Bertolero, M. A., Gordon, E. M., Gratton, C., Dosenbach, N. U. F., & Bassett, D. S. (2019). The community structure of functional brain networks exhibits scale-specific patterns of inter- and intra-subject variability. *NeuroImage*, 202, 115990. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.07.003>
- Bevilacqua, D., Davidesco, I., Wan, L., Chaloner, K., Rowland, J., Ding, M., Poeppel, D., & Dikker, S. (2019). Brain-to-brain synchrony and learning outcomes vary by student–teacher dynamics: Evidence from a real-world classroom electroencephalography study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 31(3), 401–411. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01274
- Bezerianos, A., Sun, Y., Chen, Y., Woong, K. F., Taya, F., Arico, P., Borghini, G., Babiloni, F., & Thakor, N. (2015). Cooperation driven coherence: Brains working hard together. *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in*

Medicine and Biology Society (EMBC), 4696–4699.

<https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7319442>

Bilek, E., Ruf, M., Schäfer, A., Akdeniz, C., Calhoun, V. D., Schmahl, C., Demanuele, C., Tost, H., Kirsch, P., & Meyer-Lindenberg, A. (2015). Information flow between interacting human brains: Identification, validation, and relationship to social expertise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*(16), 5207–5212. <https://doi.org/10.1073/pnas.1421831112>

Block, N. (1994). Qualia. In S. Guttenplan (Ed.), *Blackwell Companion to the Philosophy of Mind* (p. 514). Blackwell.

Block, N. (1995). On a confusion about a function of consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, *18*(2), 227–247.

Bonnefond, M., & Jensen, O. (2012). Alpha oscillations serve to protect working memory maintenance against anticipated distracters. *Current Biology*, *22*(20), 1969–1974. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.08.029>

Bonnefond, M., Kastner, S., & Jensen, O. (2017). Communication between brain areas based on nested oscillations. *Eneuro*, *4*(2), ENEURO.0153-16.2017. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0153-16.2017>

Bressler, S. L., & Kelso, J. A. S. (2016). Coordination dynamics in cognitive neuroscience. *Frontiers in Neuroscience*, *10*, 397. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00397>

Brook, A., & Reymont, P. (2017). The Unity of Consciousness. In *Stanford Encyclopedia of Philosophy*.

- Burgess, A. P. (2013). On the interpretation of synchronization in EEG hyperscanning studies: A cautionary note. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 881. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00881>
- Buzsáki, G. (2006). *Rhythms of the brain*. Oxford University Press.
- Buzsáki, G., & Draguhn, A. (2004). Neuronal Oscillations in Cortical Networks. *Science*, 304(5679), 1926–1929. <https://doi.org/10.1126/science.1099745>
- Byrne, R. W. (2005). Social cognition: Imitation, imitation, imitation. *Current Biology*, 15(13), 498–500. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.06.031>
- Canolty, R. T., & Knight, R. T. (2010). The functional role of cross-frequency coupling. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(11), 506–515. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.001>
- Chalmers, D. (2007). The Hard Problem of Consciousness. In M. Velmans & S. Schneider (Eds.), *The Blackwell Companion to Consciousness*. Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1002/9780470751466>
- Chiel, H. J., & Beer, R. D. (1997). The brain has a body: adaptive behavior emerges from interactions of nervous system, body and environment. *Trends in Neurosciences*, 20(12), 553–557. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(97\)01149-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(97)01149-1)
- Clark, A. (1999). An embodied cognitive science? *Trends in Cognitive Sciences*, 3(9), 345–351.
- Clark, A. (2001). *Mindware: An Introduction to the Philosophy of Cognitive Science*. Oxford University Press.
- Clark, A. (2008). *Supersizing the Mind*. Oxford University Press.

- Clark, A. (2009). Spreading the joy? Why the machinery of consciousness is (probably) still in the head. *Mind*, 118(472), 963–993. <https://doi.org/10.1093/mind/fzp110>
- Clark, A. (2012). Dreaming the whole cat: Generative models, predictive processing, and the enactivist conception of perceptual experience. In *Mind* (Vol. 121, Issue 483, pp. 753–771). <https://doi.org/10.1093/mind/fzs106>
- Clark, A. (2013). Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 181–204. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12000477>
- Clark, A., & Chalmers, D. (1998). The extended mind. *Analysis*, 58(1), 7–19. <https://doi.org/10.1111/1467-8284.00096>
- Cohen, E., Ejsmond-Frey, R., Knight, N., & Dunbar, R. I. M. (2010). Rowers' high: behavioural synchrony is correlated with elevated pain thresholds. *Biology Letters*, 6(1), 106–108. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0670>
- Cohen, M. (2014). *Analyzing Neural Time Series Data: Theory and Practice*. MIT Press.
- Corsi-Cabrera, M. (2012). Neurofisiología y neuropsicología de las ensoñaciones. In E. Matute (Ed.), *Tendencias actuales de las neurociencias cognitivas* (2nd ed., pp. 33–50). Manual Moderno.
- Cortázar, J. (1963). *Rayuela*. Ediciones Cátedra.
- Crick, F., & Koch, C. (1990). Towards a neurobiological theory of consciousness. *Seminars in the Neurosciences*, 2, 263–275.
- Cui, X., Bryant, D. M., & Reiss, A. L. (2012). NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. *NeuroImage*, 59(3), 2430–2437. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.09.003>

- Cummins, F. (2013). Social cognition is not a special case, and the dark matter is more extensive than recognized. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(4), 415–416. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12001859>
- Czeszumski, A., Eustergerling, S., Lang, A., Menrath, D., Gerstenberger, M., Schuberth, S., Schreiber, F., Rendon, Z. Z., & König, P. (2020). Hyperscanning: A valid method to study neural inter-brain underpinnings of social interaction. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 39. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00039>
- Damasio, A. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*. Penguin.
- de Cremer, D., Tyler, T. R., & Ouden, N. den. (2005). Managing cooperation via procedural fairness: The mediating influence of self-other merging. *Journal of Economic Psychology*, 26(3), 393–406. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2004.12.004>
- de Jaegher, H., & di Paolo, E. (2007). Participatory sense-making. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 6(4), 485–507. <https://doi.org/10.1007/s11097-007-9076-9>
- de Vico Fallani, F., Nicosia, V., Sinatra, R., Astolfi, L., Cincotti, F., Mattia, D., Wilke, C., Doud, A., Latora, V., He, B., & Babiloni, F. (2010). Defecting or Not Defecting: How to “Read” Human Behavior during Cooperative Games by EEG Measurements. *PLoS ONE*, 5(12), e14187. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014187>
- Decety, J., Jackson, P. L., Sommerville, J. A., Chaminade, T., & Meltzoff, A. N. (2004). The neural bases of cooperation and competition: an fMRI investigation. *NeuroImage*, 23(2), 744–751. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.05.025>
- Derbyshire, S. W. G., Osborn, J., & Brown, S. (2013). Feeling the pain of others is associated with self-other confusion and prior pain experience. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 470. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00470>

- di Paolo, E., & de Jaegher, H. (2017). Neither Individualistic nor Interactionist. In C. Durt, T. Fuchs, & C. Tewes (Eds.), *Embodiment, Enaction and Culture* (pp. 87–105). MIT Press.
- Díaz Gómez, J. L. (2015). Razón de estar: Cognición situada y cerebro partícipe. *Ludus Vitalis*, 23(44), 85–107.
- Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., Rowland, J., Michalareas, G., van Bavel, J. J., Ding, M., & Poeppel, D. (2017). Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Current Biology*, 27(9), 1375–1380. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.002>
- Duane, T. D., & Behrendt, T. (1965). Extrasensory electroencephalographic induction between identical twins. *Science*, 150(3694), 367–367. <https://doi.org/10.1126/science.150.3694.367>
- Dumas, G. (2011). Towards a two-body neuroscience. *Communicative & Integrative Biology*, 4(3), 349–352. <https://doi.org/10.4161/cib.4.3.15110>
- Dumas, G., Lachat, F., Martinerie, J., Nadel, J., & George, N. (2011). From social behaviour to brain synchronization: Review and perspectives in hyperscanning. *IRBM*, 32(1), 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2011.01.002>
- Dumas, G., Martinerie, J., Soussignan, R., & Nadel, J. (2012). Does the brain know who is at the origin of what in an imitative interaction? *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 128. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00128>
- Dumas, G., Nadel, J., Soussignan, R., Martinerie, J., & Garnero, L. (2010). Inter-brain synchronization during social interaction. *PLoS ONE*, 5(8), e12166. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012166>

- Edelman, G. M., & Tononi, G. (2013). *Consciousness. How Matter Becomes Imagination*. Penguin.
- Engel, A. K., & Fries, P. (2016). Neuronal Oscillations, Coherence, and Consciousness. In S. Laureys, O. Gosseries, & G. Tononi (Eds.), *The Neurology of Consciousness* (pp. 49–60). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800948-2.00003-0>
- Engel, A. K., Fries, P., König, P., Brecht, M., & Singer, W. (1999). Temporal binding, binocular rivalry, and consciousness. *Consciousness and Cognition*, 8, 128–151. <https://doi.org/10.1.1.469.422>
- Feurra, M., Galli, G., & Rossi, S. (2012). Transcranial alternating current stimulation affects decision making. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 6, 39. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2012.00039>
- Fishburn, F. A., Murty, V. P., Hlutkowsky, C. O., MacGillivray, C. E., Bemis, L. M., Murphy, M. E., Huppert, T. J., & Perlman, S. B. (2018). Putting our heads together: interpersonal neural synchronization as a biological mechanism for shared intentionality. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 13(8), 841–849. <https://doi.org/10.1093/scan/nsy060>
- Fisher, R. A. (1921). On the “probable error” of the coefficient of correlation deduced from a small sample. *Metron*, 1, 3–32.
- Frank, A., Gleiser, M., & Thompson, E. (2019). The blind spot. *Aeon*.
- Fries, P. (2005). A mechanism for cognitive dynamics: neuronal communication through neuronal coherence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(10), 474–480. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.08.011>

- Fries, P. (2015). Rhythms for cognition: Communication through coherence. *Neuron*, 88(1), 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.09.034>
- Fries, P., Schröder, J.-H., Roelfsema, P. R., Singer, W., & Engel, A. K. (2002). Oscillatory neuronal synchronization in primary visual cortex as a correlate of stimulus selection. *The Journal of Neuroscience*, 22(9), 3739–3754. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.22-09-03739.2002>
- Froese, T. (2015). Enactive neuroscience, the direct perception hypothesis, and the socially extended mind. *Behavioral and Brain Sciences*, 38, 22–24. <https://doi.org/10.1017/S0140525X14000892>
- Froese, T. (2018). Searching for the conditions of genuine intersubjectivity. In A. Newen, L. de Bruin, & S. Gallagher (Eds.), *The Oxford Handbook of 4E Cognition* (pp. 163–186). Oxford University Press.
- Froese, T., & Fuchs, T. (2012). The extended body: a case study in the neurophenomenology of social interaction. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 11(2), 205–235. <https://doi.org/10.1007/s11097-012-9254-2>
- Froese, T., Iizuka, H., & Ikegami, T. (2013). From synthetic modeling of social interaction to dynamic theories of brain–body–environment–body–brain systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(4), 420–421. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12001902>
- Froese, T., Iizuka, H., & Ikegami, T. (2014). Embodied social interaction constitutes social cognition in pairs of humans: A minimalist virtual reality experiment. *Scientific Reports*, 4, 3672. <https://doi.org/10.1038/srep03672>

- Froese, T., & Ikegami, T. (2013). The brain is not an isolated black box, nor is its goal to become one. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 213–214. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12002348>
- Froese, T., & Krueger, J. (2020). Lost in the socially extended mind: Genuine intersubjectivity and disturbed self-other demarcation in schizophrenia. In C. Tewes & G. Stanghellini (Eds.), *Time and Body: Phenomenological and Psychopathological Approaches* (pp. 318–340). Cambridge University Press.
- Funane, T., Kiguchi, M., Atsumori, H., Sato, H., Kubota, K., & Koizumi, H. (2011). Synchronous activity of two people's prefrontal cortices during a cooperative task measured by simultaneous near-infrared spectroscopy. *Journal of Biomedical Optics*, 16(7), 077011. <https://doi.org/10.1117/1.3602853>
- Galbusera, L., Finn, M. T. M., Tschacher, W., & Kyselo, M. (2019). Interpersonal synchrony feels good but impedes self-regulation of affect. *Scientific Reports*, 9(1), 14691. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50960-0>
- Gallagher, S. (2004). Understanding interpersonal problems in autism: Interaction theory as an alternative to theory of mind. *Philosophy, Psychiatry, & Psychology*, 11(3), 199–217. <https://doi.org/10.1353/ppp.2004.0063>
- Gallagher, S., & Zahavi, D. (2008). *The Phenomenological Mind: An Introduction to Philosophy of Mind and Cognitive Science*. Routledge.
- Girvan, M., & Newman, M. E. J. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), 7821–7826. <https://doi.org/10.1073/pnas.122653799>

- Goldman, M., Stockbauer, J. W., & McAuliffe, T. G. (1977). Intergroup and intragroup competition and cooperation. *Journal of Experimental Social Psychology*, 13(1), 81–88. [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(77\)90015-4](https://doi.org/10.1016/0022-1031(77)90015-4)
- Goldstein, P., Weissman-Fogel, I., Dumas, G., & Shamay-Tsoory, S. G. (2018). Brain-to-brain coupling during handholding is associated with pain reduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(11), E2528–E2537. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703643115>
- Goldstein, P., Weissman-Fogel, I., & Shamay-Tsoory, S. G. (2017). The role of touch in regulating inter-partner physiological coupling during empathy for pain. *Scientific Reports*, 7(1), 3252. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03627-7>
- Grinberg-Zylberbaum, J., Delaflor, M., Sanchez Arellano, M. E., Guevara, M. A., & Perez, M. (1993). Human communication and the electrophysiological activity of the brain. *Subtle Energies and Energy Medicine*, 3(3), 25–43.
- Grinberg-Zylberbaum, J., & Ramos, J. (1987). Patterns of interhemispheric correlation during human communication. *International Journal of Neuroscience*, 36, 41–53.
- Hacker, P. M. S. (2002). Is There Anything it is Like to be a Bat? *Philosophy*, 77(2), 157–174. <https://doi.org/10.1017/S0031819102000220>
- Haken, H. (1980). Synergetics. *Naturwissenschaften*, 67(3), 121–128. <https://doi.org/10.1007/BF01073611>
- Haken, H. (2013). *Principles of Brain Functioning: A Synergetic Approach to Brain Activity, Behavior and Cognition*. Springer Science & Business Media.
- Hallet, M. (2019). Can EEG coherence help solve the binding problem? *Non-Linear Neuro-Oscillology: Towards Integrative Understanding of Human Nature*.

- Hari, R., Himberg, T., Nummenmaa, L., Hämäläinen, M., & Parkkonen, L. (2013). Synchrony of brains and bodies during implicit interpersonal interaction. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(3), 105–106. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.01.003>
- Hari, R., & Kujala, M. v. (2009). Brain basis of human social interaction: from concepts to brain imaging. *Physiology Review*, 89, 453–479. <https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2007>
- Harris, E. E. (2006). *Reflections on the Problem of Consciousness* (Vol. 3). Springer. <https://doi.org/10.1007/1-4020-4310-4>
- Hasson, U., Ghazanfar, A. A., Galantucci, B., Garrod, S., & Keysers, C. (2012). Brain-to-brain coupling: a mechanism for creating and sharing a social world. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.12.007>
- Haugeland, J. (1998). *Having Thought: Essays in the Metaphysics of Mind*. Harvard University Press.
- Hayes, A. F. (2013). *Introduction to Mediation, Moderation and Conditional Process Analysis*. The Guildford Press.
- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior*. Wiley and Sons.
- Heidegger, M. (1962). *Being and Time*. Basil Blackwell.
- Helfrich, R. F., Herrmann, C. S., Engel, A. K., & Schneider, T. R. (2016). Different coupling modes mediate cortical cross-frequency interactions. *NeuroImage*, 140, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.11.035>
- Herrmann, C. S., Strüber, D., Helfrich, R. F., & Engel, A. K. (2016). EEG oscillations: From correlation to causality. *International Journal of Psychophysiology*, 103, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.02.003>

- Hinterberger, T. (2009). Searching for neuronal markers of Psi - A summary of three studies measuring electrophysiology in distant participants. *Utrecht II: Charting the Future of Parapsychology*, 46–62.
- Hipp, J. F., Engel, A. K., & Siegel, M. (2011). Oscillatory synchronization in large-scale cortical networks predicts perception. *Neuron*, 69(2), 387–396. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.12.027>
- Hove, M. J., & Risen, J. L. (2009). It's all in the timing: interpersonal synchrony increases affiliation. *Social Cognition*, 27(6), 949–961.
- Hu, Y., Pan, Y., Shi, X., Cai, Q., Li, X., & Cheng, X. (2018). Inter-brain synchrony and cooperation context in interactive decision making. *Biological Psychology*, 133(March), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.12.005>
- Järvillehto, T. (1998). The theory of the organism-environment system: I. Description of the theory. *Integrative Physiological and Behavioural Science*, 33(4).
- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371–375.
- Johnson, D. K., Langford, Z., Garnier-Villarreal, M., Morris, J. C., & Galvin, J. E. (2016). Onset of mild cognitive impairment in parkinson disease. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, 30(2), 127–133. <https://doi.org/10.1097/WAD.0000000000000088>
- Kaneshiro, B., Nguyen, D. T., Norcia, A. M., Dmochowski, Jacek. P., & Berger, J. (2020). Natural music evokes correlated EEG responses reflecting temporal structure and beat. *NeuroImage*, 214, 116559. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116559>

- Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behaviour*. MIT Press.
- Kelso, J. A. S. (2009). Coordination Dynamics. In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Complexity and System Science* (pp. 1537–1564). Springer.
- Kelso, J. A. S. (2019). Uniting the many and the few: reconciling the Kuramoto and the HKB models of biological coordination. *Non-Linear Neuro-Oscillology: Towards Integrative Understanding of Human Nature*.
- Kelso, J. A. S., & Engstrom, D. A. (2006). *The Complementary Nature*. MIT Press.
- Kinreich, S., Djalovski, A., Kraus, L., Louzoun, Y., & Feldman, R. (2017). Brain-to-brain synchrony during naturalistic social interactions. *Scientific Reports*, 7(1), 17060. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17339-5>
- Kinsbourne, M. (1993). Integrated cortical field model of consciousness. In *Experimental and Theoretical Studies of Consciousness* (pp. 43–50). Wiley and Sons.
- Kirchhoff, M. D. (2014). Extended cognition & constitution: Re-evaluating the constitutive claim of extended cognition. *Philosophical Psychology*, 27(2), 258–283. <https://doi.org/10.1080/09515089.2012.724394>
- Kirchhoff, M. D., & Kiverstein, J. (2019). *Extended Consciousness and Predictive Processing* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315150420>
- Kiverstein, J. (2018). Extended Cognition. In A. Newen, L. de Bruin, & S. Gallagher (Eds.), *The Oxford Handbook of 4E Cognition*. Oxford University Press.
- Koike, T., Tanabe, H. C., & Sadato, N. (2015). Hyperscanning neuroimaging technique to reveal the “two-in-one” system in social interactions. *Neuroscience Research*, 90, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2014.11.006>

- Kometer, M., Pokorny, T., Seifritz, E., & Volleinweider, F. X. (2015). Psilocybin-induced spiritual experiences and insightfulness are associated with synchronization of neuronal oscillations. *Psychopharmacology*, 232(19), 3663–3676. <https://doi.org/10.1007/s00213-015-4026-7>
- Konvalinka, I., & Roepstorff, A. (2012). The two-brain approach: how can mutually interacting brains teach us something about social interaction? *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00215>
- Kopell, N., Kramer, M. A., Malerba, P., & Whittington, M. A. (2010). Are different rhythms good for different functions? *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 187. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00187>
- Kuramoto, Y. (1984). *Chemical Oscillations, Waves, and Turbulences*. Springer.
- Lachaux, J.-P., Rodriguez, E., Martinerie, J., & Varela, F. J. (1999). Measuring phase synchrony in brain signals. *Human Brain Mapping*, 8, 194–208.
- Lakatos, P., Karmos, G., Mehta, A. D., Ulbert, I., & Schroeder, C. E. (2008). Entrainment of neuronal attentional selection. *Science*, 320(April), 23–25. <https://doi.org/10.1126/science.1154735>
- Lakatos, P., Schroeder, C. E., Leitman, D. I., & Javitt, D. C. (2013). Predictive suppression of cortical excitability and its deficit in schizophrenia. *Journal of Neuroscience*, 33(28), 11692–11702. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0010-13.2013>
- Lakens, D. (2010). Movement synchrony and perceived entitativity. *Journal of Experimental Social Psychology*, 46(5), 701–708. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2010.03.015>

- Launay, J., Tarr, B., & Dunbar, R. I. M. (2016). Synchrony as an adaptive mechanism for large-scale human social bonding. *Ethology*, *122*(10), 779–789. <https://doi.org/10.1111/eth.12528>
- Lindenberger, U., Li, S.-C., Gruber, W., & Müller, V. (2009). Brains swinging in concert: cortical phase synchronization while playing guitar. *BMC Neuroscience*, *10*(1), 22. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-22>
- Lisman, J., & Buzsaki, G. (2008). A neural coding scheme formed by the combined function of gamma and theta oscillations. *Schizophrenia Bulletin*, *34*(5), 974–980. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbn060>
- Liu, D., Liu, S., Liu, X., Zhang, C., Li, A., Jin, C., Chen, Y., Wang, H., & Zhang, X. (2018). Interactive brain activity: Review and progress on EEG-based hyperscanning in social interactions. *Frontiers in Psychology*, *9*, 1862. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01862>
- Llinás, R. (2001). *I of the Vortex: From Neurons to Self*. MIT Press.
- Lutz, A., & Thompson, E. (2003). Neurophenomenology: Integrating subjective experience and brain dynamics in the neuroscience of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, *10*(9–10), 31–52.
- Marsh, K. L., Isenhower, R. W., Richardson, M. J., Helt, M., Verbalis, A. D., Schmidt, R. C., & Fein, D. (2013). Autism and social disconnection in interpersonal rocking. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00004>
- Mayo, O., & Gordon, I. (2020). In and out of synchrony—Behavioral and physiological dynamics of dyadic interpersonal coordination. *Psychophysiology*, *57*(6). <https://doi.org/10.1111/psyp.13574>

- McFadden, J. (2002). Synchronous firing and its influence on the brain's electromagnetic field: Evidence for an electromagnetic field theory of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 9(4), 23–50.
- McNeill, W. H. (1997). *Keeping Together In Time: Dance and Drill in Human History*. Harvard University Press.
- Mellin, J. M., Alagapan, S., Lustenberger, C., Lugo, C. E., Alexander, M. L., Gilmore, J. H., Jarskog, L. F., & Fröhlich, F. (2018). Randomized trial of transcranial alternating current stimulation for treatment of auditory hallucinations in schizophrenia. *European Psychiatry*, 51, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2018.01.004>
- Melloni, L., Molina, C., Pena, M., Torres, D., Singer, W., & Rodriguez, E. (2007). Synchronization of neural activity across cortical areas correlates with conscious perception. *Journal of Neuroscience*, 27(11), 2858–2865. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.4623-06.2007>
- Melnik, A., Legkov, P., Izdebski, K., Kärcher, S. M., Hairston, W. D., Ferris, D. P., & König, P. (2017). Systems, subjects, sessions: To what extent do these factors influence EEG data? *Frontiers in Human Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00150>
- Michel, M. (2019). The mismeasure of consciousness: a problem of coordination for the Perceptual Awareness Scale. *Philosophy of Science*, 86(5), 1239–1249.
- Minio-Paluello, I., Baron-Cohen, S., Avenanti, A., Walsh, V., & Aglioti, S. M. (2009). Absence of embodied empathy during pain observation in Asperger Syndrome. *Biological Psychiatry*, 65(1), 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2008.08.006>

- Mogan, R., Fischer, R., & Bulbulia, J. A. (2017). To be in synchrony or not? A meta-analysis of synchrony's effects on behavior, perception, cognition and affect. *Journal of Experimental Social Psychology*, 72, 13–20. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2017.03.009>
- Montague, P. R., Berns, G. S., Cohen, J. D., McClure, S. M., Pagnoni, G., Dhamala, M., Wiest, M. C., Karpov, I., King, R. D., Apple, N., & Fisher, R. E. (2002). Hyperscanning: Simultaneous fMRI during linked social interactions. *NeuroImage*, 16(4), 1159–1164. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1150>
- Mu, Y., Cerritos, C., & Khan, F. (2018). Neural mechanisms underlying interpersonal coordination: A review of hyperscanning research. *Social and Personality Psychology Compass*, 12(11), e12421. <https://doi.org/10.1111/spc3.12421>
- Mu, Y., Guo, C., & Han, S. (2016). Oxytocin enhances inter-brain synchrony during social coordination in male adults. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(12), 1882–1893. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw106>
- Mu, Y., Han, S., & Gelfand, M. J. (2017). The role of gamma interbrain synchrony in social coordination when humans face territorial threats. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(10), 1614–1623. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx093>
- Nagel, T. (1974). What is it like to be a bat? *The Philosophical Review*, 83(4), 435–450.
- Newen, A., de Bruin, L., & Gallagher, S. (2018). 4E cognition: Historical roots, key concepts and central issues. In A. Newen, L. de Bruin, & S. Gallagher (Eds.), *The Oxford Handbook of 4E Cognition* (pp. 3–15). Oxford University Press.

- Nicolelis, M. A. L., Fanselow, E. E., & Ghazanfar, A. A. (1997). Hebb's dream: The resurgence of cell assemblies. *Neuron*, 19(2), 219–221. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80932-0](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80932-0)
- Noë, A. (2009). *Out of Our Heads: Why You Are Not Your Brain, and Other Lessons from the Biology of Consciousness*. Hill and Wang. <https://doi.org/10.5007/1808-1711.2012v16n3p495>
- Novembre, G., Knoblich, G., Dunne, L., & Keller, P. E. (2017). Interpersonal synchrony enhanced through 20 Hz phase-coupled dual brain stimulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(4), 662–670. <https://doi.org/10.1093/scan/nsw172>
- Novembre, G., Sammler, D., & Keller, P. E. (2016). Neural alpha oscillations index the balance between self-other integration and segregation in real-time joint action. *Neuropsychologia*, 89, 414–425. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.027>
- Oostenveld, R., Fries, P., Maris, E., & Schoffelen, J.-M. (2011). FieldTrip: Open source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2011, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2011/156869>
- Osaka, N., Minamoto, T., Yaoi, K., Azuma, M., Shimada, Y. M., & Osaka, M. (2015). How two brain make one synchronized mind in the inferior frontal cortex: fNIRS-based hyperscanning during cooperative singing. *Frontiers in Psychology*, 6, 1811. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01811>

- Overgaard, M., & Sandberg, K. (2021). The Perceptual Awareness Scale—recent controversies and debates. *Neuroscience of Consciousness*, 7(1). <https://doi.org/10.1093/nc/niab044>
- Pan, Y., Cheng, X., Zhang, Z., Li, X., & Hu, Y. (2017). Cooperation in lovers: An fNIRS-based hyperscanning study. *Human Brain Mapping*, 38(2), 831–841. <https://doi.org/10.1002/hbm.23421>
- Pérez, A., Carreiras, M., & Duñabeitia, J. A. (2017). Brain-to-brain entrainment: EEG interbrain synchronization while speaking and listening. *Scientific Reports*, 7(1), 4190. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04464-4>
- Pockett, S. (2000). *The Nature of Consciousness. A Hypothesis*. Writers Club Press.
- Port, R., & van Gelder, T. (1995). *Mind as Motion: Explorations in the Dynamics of Cognition*. MIT Press.
- Puce, A., & Hämäläinen, M. (2017). A Review of Issues Related to Data Acquisition and Analysis in EEG/MEG Studies. *Brain Sciences*, 7(12), 58. <https://doi.org/10.3390/brainsci7060058>
- Rabinowitch, T.-C., & Knafo-Noam, A. (2015). Synchronous rhythmic interaction enhances children's perceived similarity and closeness towards each other. *PLoS ONE*, 10(4), e0120878. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120878>
- Ramsøy, T. Z., & Overgaard, M. (2004). Introspection and subliminal perception. *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, 3(1), 1–23. <https://doi.org/10.1023/B:PHEN.0000041900.30172.e8>

- Redcay, E., & Schilbach, L. (2019). Using second-person neuroscience to elucidate the mechanisms of social interaction. *Nature Reviews Neuroscience*, *20*(8), 495–505. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0179-4>
- Revonsuo, A. (1999). Binding and the Phenomenal Unity of Consciousness. *Consciousness and Cognition*, *8*(2), 173–185. <https://doi.org/10.1006/ccog.1999.0384>
- Revonsuo, A. (2014). Binding problem. In T. Bayne, A. Cleeremans, & P. Wilken (Eds.), *The Oxford Companion to Consciousness* (pp. 101–105). Oxford University Press.
- Riley, M. A., Richardson, M. J., Shockley, K., & Ramenzoni, V. C. (2011). Interpersonal synergies. *Frontiers in Psychology*, *2*, 38. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00038>
- Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J.-P., Martinerie, J., Renault, B., & Varela, F. J. (1999). Perception's shadow: Long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*, *397*(6718), 430–433. <https://doi.org/10.1038/17120>
- Ronconi, L., Oosterhof, N. N., Bonmassar, C., & Melcher, D. (2017). Multiple oscillatory rhythms determine the temporal organization of perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(51), 13435–13440. <https://doi.org/10.1073/pnas.1714522114>
- Rosenblum, M., Pikovsky, A., Kurths, J., Schäfer, C., & Tass, P. A. (2001). Phase synchronization: from theory to data analysis. In F. Moss & S. Gielen (Eds.), *Handbook of Biological Physics* (pp. 279–321). Elsevier.
- Roskies, A. L. (1999). The binding problem. *Neuron*, *24*, 7–9.
- Salmi, J., Roine, U., Glerean, E., Lahnakoski, J., Nieminen-von Wendt, T., Tani, P., Leppämäki, S., Nummenmaa, L., Jääskeläinen, I. P., Carlson, S., Rintahaka, P., &

- Sams, M. (2013). The brains of high functioning autistic individuals do not synchronize with those of others. *NeuroImage: Clinical*, 3, 489–497. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2013.10.011>
- Sandberg, K., & Overgaard, M. (2015). Using the perceptual awareness scale (PAS). In M. Overgaard (Ed.), *Behavioural Methods in Consciousness Research* (pp. 181–195). Oxford University Press.
- Sandberg, K., Timmermans, B., Overgaard, M., & Cleeremans, A. (2010). Measuring consciousness: Is one measure better than the other? *Consciousness and Cognition*, 19(4), 1069–1078. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2009.12.013>
- Sänger, J., Lindenberger, U., & Müller, V. (2011). Interactive brains, social minds. *Communicative & Integrative Biology*, 4(6), 655–663. <https://doi.org/10.4161/cib.17934>
- Sänger, J., Müller, V., & Lindenberger, U. (2012). Intra- and interbrain synchronization and network properties when playing guitar in duets. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 312. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00312>
- Sauseng, P., & Klimesch, W. (2008). What does phase information of oscillatory brain activity tell us about cognitive processes? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(5), 1001–1013. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.03.014>
- Schelter, B., Winterhalder, M., Eichler, M., Peifer, M., Hellwig, B., Guschlbauer, B., Lücking, C. H., Dahlhaus, R., & Timmer, J. (2006). Testing for directed influences among neural signals using partial directed coherence. *Journal of Neuroscience Methods*, 152(1–2), 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2005.09.001>

- Schilbach, L. (2016). Towards a second-person neuropsychiatry. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1686), 20150081. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0081>
- Schilbach, L., Timmermans, B., Reddy, V., Costall, A., Bente, G., Schlicht, T., & Voegeley, K. (2013). Toward a second-person neuroscience. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(4), 393–414. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12000660>
- Schnitzler, A., & Gross, J. (2005). Normal and pathological oscillatory communication in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(4), 285–296. <https://doi.org/10.1038/nrn1650>
- Searle, J. R. (1990). Collective intentions and actions. In P. R. Cohen, J. Morgan, & M. Pollack (Eds.), *Intentions in Communication* (pp. 401–415). MIT Press.
- Serdar, C. C., Cihan, M., Yücel, D., & Serdar, M. A. (2021). Sample size, power and effect size revisited: simplified and practical approaches in pre-clinical, clinical and laboratory studies. *Biochemia Medica*, 31(1), 27–53. <https://doi.org/10.11613/BM.2021.010502>
- Seth, A. (2007). Models of consciousness. *Scholarpedia*, 2(1), 1328. <https://doi.org/10.4249/scholarpedia.1328>
- Siegel, M., Donner, T. H., & Engel, A. K. (2012). Spectral fingerprints of large-scale neuronal interactions. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(2), 121–134. <https://doi.org/10.1038/nrn3137>
- Singer, W. (1993). Synchronization of cortical activity and its putative role in information processing and learning. *Annual Review of Physiology*, 55(1), 349–374.

- Singer, W. (2007). Binding by synchrony. *Scholarpedia*, 2(12), 1657.
<https://doi.org/10.4249/scholarpedia.1657>
- Sinha, N., Maszczyk, T., Wanxuan, Z., Tan, J., & Dauwels, J. (2016). EEG hyperscanning study of inter-brain synchrony during cooperative and competitive interaction. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 4813–4818.
- Solís-Vivanco, R., Jensen, O., & Bonnefond, M. (2018). Top-down control of alpha phase adjustment in anticipation of temporally predictable visual stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(8), 1157–1169. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01280
- Sporns, O., & Zwi, J. D. (2004). The small world of the cerebral cortex. *Neuroinformatics*, 2(2), 145–162. <https://doi.org/10.1385/NI:2:2:145>
- Stam, C. J. (2004). Functional connectivity patterns of human magnetoencephalographic recordings: a ‘small-world’ network? *Neuroscience Letters*, 355(1–2), 25–28.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2003.10.063>
- Stapleton, M., & Froese, T. (2015). Is Collective Agency a Coherent Idea? Considerations from the Enactive Theory of Agency. In C. Misselhorn (Ed.), *Collective Agency and Cooperation in Natural and Artificial Systems* (pp. 219–236). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15515-9_12
- Stevens, R. H., & Galloway, T. L. (2016). Tracing neurodynamic information flows during teamwork. *Nonlinear Dynamics, Psychology and Life Sciences*, 20(2), 271–292.
- Stevens, R. H., & Galloway, T. L. (2017). Are neurodynamic organizations a fundamental property of teamwork? *Frontiers in Psychology*, 8, 644.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00644>

- Stevens, R. H., Galloway, T. L., & Willemson-Dunlap, A. (2017). A team's neurodynamic organization is more than the sum of its members. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 2010–2014. <https://doi.org/10.1177/1541931213601997>
- Storey, J. D. (2011). False discovery rates. In M. Lovric (Ed.), *International Encyclopedia of Statistical Science* (1st ed.). Springer-Verlag.
- Strogatz, S. (2003). *Sync: The Emerging Science of Spontaneous Order*. Theia.
- Swanson, L. R. (2018). Unifying theories of psychedelic drug effects. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 172. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.00172>
- Szymanski, C., Müller, V., Brick, T. R., von Oertzen, T., & Lindenberger, U. (2017). Hypertranscranial alternating current stimulation: Experimental manipulation of inter-brain synchrony. *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 539. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00539>
- Szymanski, C., Pesquita, A., Brennan, A. A., Perdikis, D., Enns, J. T., Brick, T. R., Müller, V., & Lindenberger, U. (2017). Teams on the same wavelength perform better: Inter-brain phase synchronization constitutes a neural substrate for social facilitation. *NeuroImage*, 152, 425–436. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.03.013>
- Tanabe, H. C., Kosaka, H., Saito, D. N., Koike, T., Hayashi, M. J., Izuma, K., Komeda, H., Ishitobi, M., Omori, M., Munesue, T., Okazawa, H., Wada, Y., & Sadato, N. (2012). Hard to “tune in”: neural mechanisms of live face-to-face interaction with high-functioning autistic spectrum disorder. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 268. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00268>

- Thelen, E., Schöner, G., Scheier, C., & Smith, L. B. (2001). The dynamics of embodiment: A field theory of infant perseverative reaching. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 1–34. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003910>
- Thompson, E. (2001). Empathy and consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 8(5–6), 1–32.
- Thompson, E. (2007). *Mind in Life*. Harvard University Press.
- Thompson, E., & Varela, F. J. (2001). Radical embodiment: Neural dynamics and consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(October), 418–425.
- Thut, G., Miniussi, C., & Gross, J. (2012). The functional importance of rhythmic activity in the brain. *Current Biology*, 22(16), R658–R663. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.06.061>
- Tognoli, E., & Kelso, J. A. S. (2009). Brain coordination dynamics: True and false faces of phase synchrony and metastability. *Progress in Neurobiology*, 87(1), 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2008.09.014>
- Tononi, G. (1998). Consciousness and complexity. *Science*, 282(5395), 1846–1851. <https://doi.org/10.1126/science.282.5395.1846>
- Tononi, G. (2004). An information integration theory of consciousness. *BMC Neuroscience*, 5(1), 42. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-5-42>
- Tononi, G., & Edelman, G. M. (2000). Schizophrenia and the mechanisms of conscious integration. *Brain Research Reviews*, 31(2–3), 391–400. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(99\)00056-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(99)00056-9)

- Tononi, G., & Koch, C. (2008). The neural correlates of consciousness. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124(1), 239–261.
<https://doi.org/10.1196/annals.1440.004>
- Tononi, G., & Koch, C. (2015). Consciousness: here, there and everywhere? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1668), 20140167. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0167>
- Toppi, J., Borghini, G., Petti, M., He, E. J., de Giusti, V., He, B., Astolfi, L., & Babiloni, F. (2016). Investigating cooperative behavior in ecological settings: An EEG hyperscanning study. *PLoS ONE*, 11(4), e0154236.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154236>
- Torrance, S. (2009). Contesting the concept of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 16(5), 111–126.
- Treviño, M., & Gutiérrez, R. (2007). Las bases de las oscilaciones neuronales. *Salud Mental*, 30(2), 11–18.
- Uhlhaas, P. J. (2009). Neural synchrony in cortical networks: history, concept and current status. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 3, 17.
<https://doi.org/10.3389/neuro.07.017.2009>
- Uhlhaas, P. J., & Singer, W. (2010). Abnormal neural oscillations and synchrony in schizophrenia. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 100–113.
<https://doi.org/10.1038/nrn2774>
- Valdesolo, P., & DeSteno, D. (2011). Synchrony and the social tuning of compassion. *Emotion*, 11(2), 262–266. <https://doi.org/10.1037/a0021302>

- Valdesolo, P., Ouyang, J., & DeSteno, D. (2010). The rhythm of joint action: Synchrony promotes cooperative ability. *Journal of Experimental Social Psychology*, 46(4), 693–695. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2010.03.004>
- Valencia, A. L., & Froese, T. (2020). What binds us? Inter-brain neural synchronization and its implications for theories of human consciousness. *Neuroscience of Consciousness*, 2020(1). <https://doi.org/10.1093/nc/niaa010>
- van Gulick, R. (2014). Concepts of consciousness. In T. Bayne, A. Cleeremans, & P. Wilken (Eds.), *The Oxford Companion to Consciousness* (pp. 163–166). Oxford University Press.
- van Orden, G., Hollis, G., & Wallot, S. (2012). The blue-collar brain. *Frontiers in Physiology*, 3, 207. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00207>
- Varela, F. J. (2000). *El Fenómeno De La Vida*. Dolmen Ediciones.
- Varela, F. J., Lachaux, J.-P., Rodriguez, E., & Martinerie, J. (2001). The brainweb: Phase synchronization and large-scale integration. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(4), 229–239. <https://doi.org/10.1038/35067550>
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (2016). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience* (Revised Ed). MIT Press.
- Vollenweider, F. X., & Kometer, M. (2010). The neurobiology of psychedelic drugs: implications for the treatment of mood disorders. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(9), 642–651. <https://doi.org/10.1038/nrn2884>
- Wang, X.-J. (2006). Neural Oscillations. In *Encyclopedia of Cognitive Science*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470018860.s00343>

- Ward, D. (2012). Enjoying the spread: Conscious externalism reconsidered. *Mind*, 121(483), 731–751. <https://doi.org/10.1093/mind/fzs095>
- Ward, L. (2003). Synchronous neural oscillations and cognitive processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 553–559. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.10.012>
- Ward, L. (2011). The thalamic dynamic core theory of conscious experience. *Consciousness and Cognition*, 20(2), 464–486. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.01.007>
- Watson, B. O. (2018). Cognitive and physiologic impacts of the infraslow oscillation. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 12, 44. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2018.00044>
- Wilke, M., Logothetis, N. K., & Leopold, D. A. (2006). Local field potential reflects perceptual suppression in monkey visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(46), 17507–17512. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604673103>
- Wilson, M., & Wilson, T. P. (2005). An oscillator model of the timing of turn-taking. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 957–968. <https://doi.org/10.3758/BF03206432>
- Wiltermuth, S. S., & Heath, C. (2009). Synchrony and cooperation. *Psychological Science*, 20(1), 1–5. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02253.x>
- Winfree, A. T. (2002). On emerging coherence. *Science*, 298(5602), 2336–2337. <https://doi.org/10.1126/science.1072560>

Womelsdorf, T., Schoffelen, J.-M., Oostenveld, R., Singer, W., Desimone, R., Engel, A.

K., & Fries, P. (2007). Modulation of neuronal interactions through neuronal synchronization. *Science*, 316(5831), 1609–1612.

Zahavi, D. (2015). You, me and we: The sharing of emotional experiences. *Journal of Consciousness Studies*, 22(1–2), 84–101.

