

Estado de la publicación: El preprint no ha sido enviado para publicación

# La formula matemática de la consciencia: modelo basado en sincronía para una psicología unificada

Cristopher Orjuela Urcuqui

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.13842>

Enviado en: 2025-10-20

Postado en: 2025-11-12 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

## **La Teoría de la Sincronía Logarítmica de la Conciencia: Una Unificación Comprobable de Weber-Fechner y las Oscilaciones Neuronales**

***Cristopher Brian Orjuela Urcuqui***

Investigador independiente, Bogotá, Bogotá DC, Colombia. **ORCID:**

<https://orcid.org/0000-0001-9915-9035>

### ***Resumen***

*La desconexión fundamental entre las leyes psicofísicas y sus mecanismos neurobiológicos sigue siendo un reto central en el estudio de la conciencia. En este trabajo, proponemos un modelo unificado que formaliza las neuronas como osciladores acoplados — gobernados por el modelo de Kuramoto— para explicar la emergencia de la experiencia subjetiva. La tesis central de nuestro modelo postula que la intensidad perceptual se codifica de forma logarítmica en la frecuencia de oscilación neuronal; es decir,  $\omega(I) = \log(I)$ . A partir de este primer principio, derivamos la ley de Weber-Fechner como una consecuencia matemática directa de la resolución finita de frecuencia de los sistemas neuronales, reemplazando así la constante empírica por un parámetro neurobiológico fundamental ( $\Delta\omega$ ). Dentro de este marco teórico, la conciencia emerge de una negociación dinámica (sincronía de fase) entre un "yo" global estable —una sincronía primaria en las redes corticotalámicas— y la disonancia informacional proveniente de la percepción (codificada en  $\omega$ ) y la volición (que modula la fuerza de acoplamiento  $K$ ). Este modelo trasciende la mera correlación al ofrecer un marco mecanicista y cuantitativo, generando predicciones específicas y comprobables para la neurofisiología, y disuelve la dicotomía clásica entre la conciencia fenoménica y la de acceso, al identificarlas como modos distintos de interacción con un mismo núcleo de sincronía.*

**Palabras clave:** Conciencia, Sincronía neuronal, Asincronía, Cualidades, Modelo psicológico

***The Logarithmic Synchrony Theory of Consciousness: A Testable Unification of Weber-Fechner and Neural Oscillations***

***Abstract***

*The fundamental disconnect between psychophysical laws and their neurobiological mechanisms remains a central challenge in the study of consciousness. In this work, we propose a unified model that formalizes neurons as coupled oscillators—governed by the Kuramoto model—to explain the emergence of subjective experience. The core thesis of our model postulates that perceptual intensity is encoded logarithmically in the neuronal oscillation frequency; that is,  $\omega(I) = \log(I)$ . From this first principle, we derive the Weber-Fechner law as a direct mathematical consequence of the finite frequency resolution of neural systems, thereby replacing the empirical constant with a fundamental neurobiological parameter ( $\Delta\omega$ ). Within this theoretical framework, consciousness emerges from a dynamic negotiation (phase synchrony) between a stable global "self"—a primary synchrony in corticothalamic networks—and the informational dissonance arising from perception (encoded in  $\omega$ ) and volition (which modulates the coupling strength  $K$ ). This model transcends mere correlation by providing a mechanistic and quantitative framework, generating specific and testable predictions for neurophysiology, and dissolves the classical dichotomy between phenomenal and access consciousness by identifying them as distinct modes of interaction with the same synchrony core.*

**Keywords:** Consciousness, Neural Synchrony, Asynchrony, Qualia, Psychological Model.

*A Teoria da Sincronia Logarítmica da Consciência: Uma Unificação Testável de Weber-Fechner e Oscilações Neurais*

**Resumo**

*A desconexão fundamental entre as leis psicofísicas e seus mecanismos neurobiológicos permanece um desafio central no estudo da consciência. Neste trabalho, propomos um modelo unificado que formaliza os neurônios como osciladores acoplados - regidos pelo modelo de Kuramoto - para explicar a emergência da experiência subjetiva. A tese central do nosso modelo postula que a intensidade perceptual é codificada logaritmicamente na frequência de oscilação neuronal; ou seja,  $\omega(I) = \log(I)$ . A partir deste primeiro princípio, derivamos a lei de Weber-Fechner como uma consequência matemática direta da resolução de frequência finita dos sistemas neurais, substituindo assim a constante empírica por um parâmetro neurobiológico fundamental ( $\Delta\omega$ ). Dentro deste referencial teórico, a consciência emerge de uma negociação dinâmica (sincronia de fase) entre um "eu" global estável - uma sincronia primária nas redes corticotalâmicas - e a dissonância informacional proveniente da percepção (codificada em  $\omega$ ) e da volição (que modula a força de acoplamento  $K$ ). Este modelo transcende a mera correlação ao fornecer um quadro mecanicista e quantitativo, gerando previsões específicas e testáveis para a neurofisiologia, e dissolve a dicotomia clássica entre a consciência fenomênica e de acesso, ao identificá-las como modos distintos de interação com o mesmo núcleo de sincronia.*

**Palavras-chave:** Consciência, Sincronia Neural, Assincronia, Qualia, Modelo Psicológico.

### **Declaración de conflicto de intereses**

El autor manifiesta no tener ningún conflicto de intereses relacionado con la publicación de este documento.

### **Declaración de disponibilidad de los datos de investigación**

Os dados de pesquisa não podem ser disponibilizados públicamente

*Não existem dados para publicação, uma vez que se trata de uma investigação puramente teórica.*

*No data is available for publication as this is a purely theoretical investigation*

*No existen datos para publicar dado que es una investigación puramente teórica.*

## Introducción

Han sido múltiples los intentos por proponer una explicación de la consciencia en términos neurobiológicos (Evers et al., 2024). La cuestión resulta tan compleja que incluso formular preguntas coherentes sobre ella representa un desafío abrumador (Dennett, 1995). La consciencia, entendida como experiencia subjetiva (Tononi et al., 2016) -distinta de la consciencia moral que alude a la reflexión ética (Yañez Canal & Perdomo, 2011)-, se manifiesta desde un "punto de vista en primera persona" (Jimenez et al., 2025).

Para ilustrar este concepto, considere el siguiente ejemplo: usted está leyendo este texto. Percibe los colores de la pantalla o del papel, la silla donde reposa, las ideas que emergen durante la lectura, los recuerdos evocados por estas palabras, la temperatura ambiente e incluso su propia respiración. Esta capacidad de experimentar cualitativamente constituye el "problema difícil" de cómo la materia física genera tal subjetividad (Chalmers, 1995).

La situación de la investigación en consciencia presenta desafíos metodológicos entre las principales escuelas que impiden reconocer los avances de las demás (Evers et al., 2024). Además, las diversas teorías podrían estudiar fenómenos diferentes puesto que no existe una definición unívoca de "consciencia" (Evers et al., 2024). Frente a este panorama, este artículo propone un marco teórico unificador que busca ofrecer una posible explicación a la consciencia.

Para lograr estos objetivos, proponemos un marco que conceptualiza las neuronas como osciladores acoplados, aplicando el modelo de Kuramoto al sistema neuronal y explicando. Luego explicamos las dos fuentes de información que intervienen en el sistema: interna (voliciones) y externa (percepciones). Esto permite explicar la función y el mecanismo del "yo", desde donde se establece una sección para la cognición proceso clave para la consciencia humana. Finalmente en la discusión se establecen los puentes y conflictos

con otras teorías de la conciencia, para finalmente responder a los cuestionamientos para una buena teoría de conciencia planteados por Evers et al. (2024).

### Sincronía neuronal

Un oscilador es un objeto, natural o artificial, que exhibe un comportamiento repetitivo que se define en física en términos Hertz, el número de oscilaciones en un segundo. Cuando dos osciladores tienen la misma frecuencia, podemos decir que están sincronizados y en la naturaleza es común encontrar una tendencia hacia la sincronización (Strogatz, 2014). Ejemplos de esto incluyen las luciérnagas, el canto de los grillos y los aplausos rítmicos.

El comportamiento colectivo de los sistemas de osciladores acoplados encuentra su descripción formal en el modelo de Kuramoto, desarrollado a partir de los fundamentos establecidos por Winfree (Taylor, 2012). La dinámica del sistema se rige por la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \sum_{j=1}^N K_{ji} \sin(\theta_j - \theta_i)$$

Donde:

- $\theta_i$  es la fase del oscilador  $i$ .
- $t$  es el tiempo.
- $\omega_i$  es la frecuencia angular interna del oscilador  $i$ .
- $K_{ji}$  es la fuerza de acople entre el oscilador  $j$  y el oscilador  $i$
- $N$  es el número de osciladores.
- $\theta_j$  es la fase del oscilador  $j$ .

Las neuronas, unidades fundamentales del sistema nervioso, generan potenciales de acción —rápidos cambios en su polaridad electroquímica— con una frecuencia variable (Fries, 2005), por tanto las neuronas son osciladores. Los potenciales de acción desencadenan

la liberación de neurotransmisores que modulan la actividad de otras neuronas (Llinás, 2003), por tanto las neuronas son osciladores acoplados. Estas serían las características neuronales que aplican al modelo de kuramoto:

- $\theta_i$  es la fase del potencial de acción en que se encuentra la neurona  $i$ .
- $\omega_i$  es el ritmo natural de oscilación de la neurona al funcionar de manera aislada.
- $K_{ij}$  representaría nivel de interconexión entre las neuronas  $i$  y  $j$ .
- $\theta_j$  es la fase del potencial de acción en que se encuentra la neurona  $j$ .

### **Dos fuentes de información**

El modelo de kuramoto ya ha sido usado por Schmidt et al. (2015) para modelar procesamiento neuronal, pero sus planteamientos no abordan el problema de la conciencia. Para ello, debemos volver a Schopenhauer, quien siguiendo los planteamientos Kantianos buscaba una fuente de verdad sobre el mundo que excediera las percepciones. Así, llegó a una revelación equiparable al *cogito ergo sum* cartesiano, es que existen dos formas de ver el mundo: como representación y como voluntad.

En nuestra postulación la representación es claramente lo que en neuropsicología denominamos percepciones, mientras que la voluntad es equiparable al concepto de voliciones. En el marco específico de nuestro modelo implica que existen dos fuentes de información: el entorno (percepciones) y el estado interno (Voliciones).

### **Percepción: Entorno**

Las frecuencias de las neuronas receptoras responden a estímulos del entorno como la luz, el sonido o la presión (Llinás, 2003). Sin embargo, no existe una clara explicación de cómo esa información neuronal se traduce en percepciones. Nuestra hipótesis es que las percepciones están codificadas en la frecuencias de las neuronas ( $\omega$ ) intermedias y su relación con la ley de Weber-Fechner es sorprendente.

La ley de Weber-Fechner es una relación matemática entre la mínima diferencia perceptible y la magnitud de un estímulo cualquiera y se aplica para toda forma de percepción: visual, táctil, sonido y hasta sabor. La Ley de Weber-Fechner se describe mediante la ecuación:

$$k = \frac{\Delta I}{I}$$

Donde

- $\Delta I$ : Umbral de diferencia perceptible (Just Noticeable Difference - JND), es el cambio mínimo en la intensidad del estímulo que puede ser detectado.
- $I$ : Intensidad basal o de referencia del estímulo.
- $k$ : Constante de Weber (adimensional), específica para cada modalidad sensorial.

Esta ley aunque ha sido demostrada experimentalmente no tiene una justificación matemática o neurobiológica clara.

Supongamos por ahora que las percepciones efectivamente están codificadas en neuronas, esto implicaría limitaciones biológicas claras. Las neuronas operan en un rango de frecuencias limitado  $|\omega_{max} - \omega_{min}|$ , y los pulsos de acción al ser todo o nada implican necesariamente un comportamiento discreto. Es decir, la frecuencia de las neuronas se expresa siempre en números enteros y por tanto existe una mínima diferencia de frecuencias constante  $\Delta\omega$ .

Esta limitación biológica impone un límite finito de posibilidades de frecuencia imposibilitando una respuesta lineal a estímulos que abarcan varios órdenes de magnitud. La transformación logarítmica de intensidades físicas a frecuencias neuronales  $\omega(I) = \log(I)$  constituirá una solución muy óptima para este desafío de rango dinámico, permitiendo codificar desde umbrales mínimos hasta estímulos intensos dentro de la ventana operativa.

Claramente tanto la codificación de las percepciones en la frecuencia de las neuronas, como el hecho de que esta codificación se da logarítmicamente son hipótesis. Pero permiten

explicar neuro-biológicamente porqué el umbral de detección de diferencias ( $\Delta I/I$ )

permanece constante. El razonamiento es el siguiente:

1. *Al diferenciar la función de transformación  $\omega(I) = \log(I)$ , obtenemos  $d\omega/dI = 1/I$ , lo que implica que  $\Delta\omega = \Delta I/I$*
2. *Dado que el sistema neural tiene una diferencia de frecuencias mínima constante  $\Delta\omega$*
3. *La relación  $\Delta I/I$  debe mantenerse invariable a través de diferentes intensidades basales*

Lógicamente la segunda afirmación es verdadera (limitaciones biológicas de las neuronas), la conclusión también es verdadera (La ley de Weber-Fechner). Pero la primera afirmación  $\omega(I) = \log(I)$  aunque es una solución que encaja matemática y lógicamente es por ahora es solo una hipótesis. Es necesario probar empíricamente esta afirmación, en caso de ser cierta se explicaría neuro-biológicamente la ley de Weber-Fechner.

Esta reconceptualización conectaría directamente la psicofísica con la neurofisiología ya que elimina la constante de Weber y la define en términos de la resolución mínima de las neuronas. La Ley de Weber- Fechner pasaría de ser una regularidad arbitraria a una consecuencia inevitable de cómo las neuronas, como osciladores físicos con límites operativos, resuelven el problema de representar un mundo analógico continuo mediante un código digital de capacidad finita.

Para nuestro modelo de consciencia si  $\omega(I) = \log(I)$  es verdadero se explican dos características fundamentales de los qualia: su multidimensionalidad y no solapamiento. Cada  $\omega(I)$  implica un vector discreto en una matriz vectorial multidimensional, donde coexisten tantos vectores perceptuales discretos como neuronas. Además, la imposibilidad de frecuencias diferentes de coexistir en fase en el mismo oscilador (neurona) explica por qué los qualia no se solapan.

Aplicando al modelo de Kuramoto la información de las percepciones estaría codificada en  $\omega$  de neuronas específicas.

### **Volición: Estado interno**

En el modelo de Kuramoto el valor de  $K$  implica el nivel de interacción que existe entre dos osciladores. Para el caso de las neuronas este valor se ve influenciado por múltiples factores biológicos como la estructura de los axones y dendritas, la cercanía entre las neuronas y las condiciones de neurotransmisores y hormonas. Sin embargo, es claro que tanto las neuronas como otras células son capaces de modificar la variable  $K$ .

No tenemos evidencia de que estados biológicos internos como la necesidad de alimento sean capaces de modificar frecuencias en áreas específicas del cerebro. Pero tenemos bastante evidencia empírica para indicar que estos estados internos modifican neurotransmisores y hormonas. Por lo tanto, para nuestro modelo los estados biológicos internos son capaces de modificar  $K$ .

La implicación de esta afirmación para nuestro modelo es poderosa, ya que la capacidad de modificar  $K$  implica necesariamente que el sistema biológico tiene potencialmente la capacidad de modificar toda la interacción de los patrones de frecuencia provenientes del ambiente. En este sentido el sistema de frecuencias (la representación) está subordinado a las necesidades del sistema biológico (la voluntad) como bien lo indicó Schopenhauer.

## Integración de los modos de experiencia: La naturaleza del “yo”

Hemos establecido que la matriz perceptual es un espacio multidimensional donde cada magnitud perceptiva está codificada en la frecuencia de oscilación ( $\omega$ ) de poblaciones neuronales específicas. Además, hemos recordado que esta matriz esta directamente moldeada por las condiciones biológicas a través de la modificación del nivel de acople K. Sin embargo, no hemos explicado cómo esto puede dar explicación a la conciencia.

Al aplicar el modelo de Kuramoto al sistema neuronal, existe una tendencia general del sistema hacia la sincronización global cuando se cumplen ciertas condiciones críticas. Específicamente, cuando la fuerza de acoplamiento promedio entre las neuronas supera un umbral crítico determinado por la dispersión de sus frecuencias naturales, el sistema experimenta una transición de fase hacia un estado sincronizado (Strogatz, 2014).

Matemáticamente, esta transición ocurre cuando:

$$K_c = \frac{2}{\pi g(o)} |\omega_{max} - \omega_{min}|$$

done  $K_c$  representa el valor crítico de acoplamiento,  $g(o)$  la densidad de frecuencias en la frecuencia media, y  $\omega_{max} - \omega_{min}$  el rango de frecuencias naturales del sistema.

Sabemos fisiológicamente que las estructuras cortico talámicas presentan una altísima conectividad (Llinás, 2003), es decir un K muy alto, que refleja una altísima sincronía cercana a los 40 hz. Investigaciones como la de Schmidt et al. (2015) han determinado que una estructura que interconecta los módulos de un sistema de osciladores acoplados es clave para la determinación de la sincronía global del sistema. Entonces tenemos que existe un conjunto de neuronas centrales y que su altísimo nivel de interconexión implica una *sincronía principal* más o menos estable.

Esta frecuencia tiene configuraciones de fase alternativas que dependen de la fase específica de cada neurona que participa. Múltiples condiciones de fase pueden coexistir y el propio sistema se orienta por aquellas que garantizan mayor coherencia entre las condiciones de frecuencia ( $\omega$ ) y de acoplamiento  $K$  con que interactúa.

A su vez este sistema también interactúa con las zonas de neuronas encargadas del procesamiento motor. Así que, cuando la interacción entre fases óptima se da se ajusta sutilmente la frecuencia fundamental principal para entrar en resonancia (aumento crítico de  $K$ ) con el patrón motor seleccionado. El proceso de decisión emerge entonces de la dinámica: la sincronía principal selecciona el patrón conductual que maximiza la coherencia global. Así, la decisión consciente corresponde al colapso de un campo de potenciales acciones hacia la configuración de máxima coherencia con el estado global del sistema.

Todas las características mencionadas de la sincronía principal nos llevan a pensar que esta sincronía principal es lo que en psicología denominamos el “yo”. La consciencia es la interacción entre una sincronía principal que responde a percepciones codificadas en frecuencia y a voliciones codificadas en grados de acople  $K$ . Esta idea nos permite explicar la tercera característica de la percepción: la privacidad. Si bien la codificación del rojo sigue siendo objetiva por  $\omega(I) = \log(I)$ , su experiencia subjetiva está determinada por el estado de armonía con el "Yo".

### **Implicaciones del modelo matemático para la consciencia**

Gran parte de la reconciliación de la información entre el entorno y el estado interno se resuelve mediante la operación de la acción refleja, la acción hormonal de las neuronas y otros procesos de autorregulación. La consciencia emerge cuando el proceso de reconciliar esta información disonante requiere el movimiento muscular organizado más allá de la respuesta refleja.

La consciencia no es la estructura biológica donde se da la sincronía principal del sistema, ni tampoco la sincronía en sí, sino el proceso de interacción entre esta sincronía principal (el "Yo") y las asincronías de la información entrante, la consciencia es la negociación misma. Así, una persona dormida tiene todos los elementos necesarios para estar consciente, lo que impide que lo esté totalmente es que no hay suficiente disonancia entre el entorno y el estado interno.

La cualidad no es un adorno o un epifenómeno: es una dimensión funcional de la experiencia. Cada percepción actúa como una etiqueta dimensional única que organiza y categoriza la información, evitando el solapamiento informacional en el procesamiento. Aquellas dimensiones que no son percibidas no son relevantes para la supervivencia o la acción organizada del organismo.

La interacción entre el "yo" y la información perceptual y volitiva es la forma más eficiente para integrar el gran volumen de información y de esta manera generar un control permanente del comportamiento muscular organizado. Por ejemplo, si tengo hambre una percepción que surge de un estado volitivo, siento como sujeto una apremiante necesidad de usar la información perceptual para coordinar el movimiento de mi cuerpo de tal manera que pueda poner el pan en mi boca, masticarlo y deglutirlo. Esto lentamente actualizará mi estado volitivo disminuyendo el hambre.

Es así como la consciencia y el placer son un control homeostático del organismo pero que funciona con cantidades ingentes de información perceptual y de estado general del organismo. No existe un sistema que integre tanta información en tiempo real reaccionando de manera casi instantánea a cada fuente de información. Cuando estas dos fuentes de información se encuentran en consonancia se da el placer, cuando se encuentran en disonancia se da el displacer. Cuando la volición es hambre, la percepción de la comida: su

olor, su aroma y la sensación de comer es placentera. Por la misma razón es displacentero comer cuando no se tiene hambre.

La conciencia puede entenderse a través de una metáfora náutica: la información perceptual actúa como un mapa rápido y detallado, mientras que la información volitiva funciona como una brújula lenta que orienta la dirección. El "yo" es el capitán que, integrando ambos tipos de información, gobierna el timón para dirigir la nave. Así como el capitán no controla directamente cada parte del barco —cuyo funcionamiento mecánico depende de una compleja coordinación de sistemas—, la conciencia no activa músculos individuales, sino que orquesta globalmente la acción sensoriomotora.

Esta capacidad de integración tan eficiente permite optimizar la interacción con el entorno: un humano consciente es capaz de realizar secuencias extraordinariamente complejas, como pilotar un Fórmula 1 a 300 km/h. Las alteraciones de la conciencia como las sustancias, el sueño o la fatiga afectan esta eficiencia. Muchos defensores de la conciencia como un epifenómeno no estarán muy contentos de estar en un autobús pilotado por un sonámbulo.

### **El gran salto cognitivo: la permanencia de objeto**

Los experimentos de Piaget fueron claves para comprender el desarrollo cognitivo desde la niñez hasta la adultez. Uno de los puntos claves de este desarrollo es la permanencia de objeto. Este proceso consiste en la capacidad de los niños entre 0 y 2 años (fase sensoriomotora) de comprender que los objetos siguen existiendo aún cuando no podemos percibirlos.

Desde el punto de vista de los osciladores acoplados la permanencia de objeto consiste en que un grupo de neuronas mantienen un patrón de frecuencias coherente con

algunas dimensiones de un objeto percibido aún cuando los patrones de frecuencias provenientes de las neuronas receptoras ya no están recibiendo este patrón.

Para que esto ocurra se requieren dos condiciones: suficiente densidad de neuronas no especializadas y suficiente flexibilidad del patrón de acoplamiento K. Para mantener un patrón de frecuencias internamente es necesario que neuronas se dediquen a este patrón es necesario que existan neuronas que no tienen una función especializada que entre en conflicto. Además, dado que se requiere que haya un aislamiento del patrón de frecuencia para que no se pierda entre otros patrones provenientes nuevas interacciones con el entorno se debe establecer un límite de acoplamiento K bajo con otros patrones y fomentar un acoplamiento alto interno para mantener la coherencia interna del objeto.

En este sentido solo un cerebro con suficientes neuronas no hiper especializadas y con suficiente flexibilidad de acoplamiento puede establecer permanencia de objetos.

Además esta permanencia de objetos es fundacional y clave para el funcionamiento cognitivo, y debemos recordar los postulados de Vygotsky para explicar el mecanismo cognitivo. El niño primero opera físicamente con los objetos: los agarra, los suelta, los esconde, los encuentra. Cada una de estas acciones genera un patrón de actividad oscilatoria específico que vincula la percepción del objeto ( $\omega$ ) con la secuencia motora y su resultado.

Este proceso permite la creación de patrones con alta coherencia de fase, en palabras de la época se internaliza la acción en el mundo. Lo que hace desde nuestro modelo es estabilizar el patrón de sincronía entre las frecuencias perceptuales y las frecuencias de movimiento muscular de tal manera que el "Yo" puede reactivarlo s y procesar información de patrones internos en ausencia de la acción muscular real. Por lo tanto, el "Yo" (la sincronía principal) no solo interactúa con el mundo en tiempo real, sino que puede ejecutar secuencias simuladas con estos patrones internos (los objetos representados) para predecir resultados, resolver problemas y planificar acciones futuras.

## Discussion

Nuestra propuesta teórica se enmarca en un materialismo monista, considerando la conciencia como un fenómeno emergente del sustrato neuronal y no como una entidad independiente (Evers et al., 2024). A la vez, nos distanciamos del panpsiquismo, ya que la conciencia surge específicamente de la dinámica de osciladores acoplados bajo condiciones críticas de acoplamiento ( $K$ ) y rango de frecuencias ( $\Delta\omega$ ), no de cualquier sistema físico. Sin embargo, el marco permite la realizabilidad múltiple: sistemas no biológicos que cumplan estos criterios podrían, en principio, albergar procesos conscientes.

Frente a la crítica de que la "información" es un concepto demasiado genérico (Evers et al., 2024), nuestro modelo supera esta limitación al anclar la información en parámetros físicos cuantificables: la información perceptual en frecuencias oscilatorias ( $\omega$ ) y la volitiva en la fuerza de acoplamiento ( $K$ ). Esto permite explicar las diferencias cualitativas entre modalidades sensoriales: cada cualia es un vector único en un espacio multidimensional de frecuencias.

Nuestro modelo establece un diálogo crítico y constructivo con las principales teorías de la conciencia:

**Teoría de la Información Integrada (IIT):** Mientras IIT se centra en la integración en el "todo" cerebral, nuestro modelo identifica qué se pierde al dividir el sistema: la sincronía global. Así, resolvemos el problema de IIT con estados como el coma o el sueño (donde  $K < K_c$  y se pierde la sincronía principal) y las alucinaciones (alta sincronía interna pero desconectada del input perceptual). Además, nuestro marco evita el panpsiquismo al establecer criterios estrictos y medibles ( $\omega$ ,  $K$ , sincronía principal).

**Teoría del Espacio de Trabajo Global (GNWT):** La "difusión global" de la GNWT encuentra su mecanismo en nuestro modelo: la propagación de la coherencia de fase desde el "barrio rico" corticotalámico, que identificamos como el sustrato de la sincronía principal del

"Yo". Lo que la GNWT denomina "espacio de trabajo" corresponde a los límites dinámicos donde esta sincronía principal negocia con los patrones perceptuales y motores.

**Teorías de Orden Superior (TOS):** Coincidimos en que se necesita un mecanismo de orden superior sobre las representaciones de primer orden. Sin embargo, en nuestro modelo, este mecanismo no es una reflexión metacognitiva, sino la interacción de la sincronía del "Yo" con los patrones de frecuencia, ya sean provenientes del entorno (percepciones) o internalizados (pensamientos). Esto unifica la conciencia fenoménica y de acceso como dos modos del mismo proceso: la negociación de fase con patrones en tiempo real (fenoménica) o con representaciones almacenadas (acceso).

Nuestro modelo proporciona respuestas robustas a las ocho preguntas críticas planteadas por Evers et al.:

**Alcance Explicativo:** Define la conciencia como el proceso de negociación de fase entre la sincronía estable del "Yo" y las asincronías informacionales (perceptivas y volitivas), explicando sus características esenciales (subjetividad, unidad, qualia, etc.) de manera mecanicista.

**Falsabilidad:** Es empíricamente falsable. Sería refutado si no se verifica la relación  $\omega(I) = \log(I)$ , si la sincronía en el "barrio rico" no correlaciona con estados conscientes, o si las disonancias no modulan  $\omega$  y  $K$  como se predice.

**Realizabilidad Múltiple:** Es conceptualmente realizable en hardware no biológico, requiriendo una red de osciladores físicos acoplados con frecuencias ( $\omega$ ) y acoplamientos ( $K$ ) dinámicamente modificables.

**Medición:** Ofrece métricas cuantificables en tercera persona: coherencia de fase, parámetros de Kuramoto, conectividad funcional, y la relación  $\omega(I)$ .

**Atribución de Conciencia:** Establece criterios funcionales: presencia de sincronía principal estable ( $K > K_c$ ), capacidad de aprendizaje operante y flexibilidad conductual.

**Pruebas para Sistemas No Biológicos:** La IA actual carece de los osciladores acoplados y la dinámica de sincronía negociada necesarias.

**Sustrato Neural y Causalidad:** Identifica la red corticotalámica de "barrio rico" como el sustrato primario, donde la alta conectividad permite la sincronía estable. La atención, memoria de trabajo y planificación son manifestaciones de esta dinámica central.

**Estados Alterados:** Explica el sueño y el coma por la pérdida de sincronía ( $K < K_c$ ) debido a cambios en los neuromoduladores.

El modelo deriva mecánicamente los "sellos distintivos" de la conciencia:

**Subjetividad:** De la configuración única e irrepetible de acoplamientos ( $K$ ) y frecuencias ( $\omega$ ) que define al "Yo" en cada instante.

**Intencionalidad:** De la relación direccional entre la sincronía del "Yo" (sujeto) y un patrón de frecuencia específico (objeto).

**Unidad:** La sincronía estable actúa como un "pegamento" dinámico que integra qualia diversos.

**Qualia:** Surgen de la interacción de un patrón de frecuencia específico ( $\omega_{\text{rojo}} = \log(I_{\text{rojo}})$ ) con la sincronía del Yo.

Además, disuelve la dicotomía entre lo fenoménico y lo cognitivo. La conciencia fenoménica es la negociación en tiempo real con el entorno; la de acceso, la negociación con representaciones internalizadas. Ambas son manifestaciones del mismo proceso subyacente.

Finalmente, el modelo resuelve el debate sobre la gradualidad de la conciencia. Esta es binaria en su mecanismo (presencia o ausencia de la sincronía del "Yo" con  $K > K_c$ ), pero gradual en su riqueza experiencial, la cual depende de la diversidad de fuentes de disonancia (patrones de  $\omega$  y  $K$ ) y la capacidad de representación interna (permanencia de objeto). Esto unifica la neurobiología de la conciencia a través de especies: un murciélago y un humano

comparten el mismo mecanismo fundamental, pero difieren en la complejidad de los patrones de frecuencia que su "Yo" puede manipular.

En conclusión, este marco trasciende las correlaciones descriptivas para ofrecer un andamiaje matemático y mecanicista que unifica la psicofísica, la neurociencia y la fenomenología, estableciendo un programa de investigación empírica cuantificable para la conciencia.

### **Limitaciones y recomendaciones**

Este trabajo se sitúa conscientemente sobre los hombros de gigantes. La investigación sobre sincronía neuronal lleva décadas iluminando los mecanismos cerebrales, y el mérito de este modelo no reside en descubrir fenómenos nuevos, sino en tejer estos hallazgos dispersos en un tapiz teórico unificado. La originalidad está en la síntesis: utilizar principios bien establecidos en neurociencia, física y matemáticas para construir un marco de referencia coherente para la psicología contemporánea.

Es crucial aclarar que lo aquí presentado no pretende ser una teoría completa de la conciencia, sino más bien el andamiaje teórico para construirla. Los diversos hallazgos de la ciencia psicológica son como piezas de un rompecabezas colosal; este marco aspira a ser la imagen en la caja que sugiere cómo podrían encajar. La magnitud del desafío —explicar la conciencia— exige un esfuerzo colectivo y disciplinario, donde ninguna teoría individual puede abarcar toda su complejidad. Para que este esfuerzo sea fructífero, se necesita un lenguaje común y una base teórica sólida que actúe como el cemento (la "argamasa") para unificar estos desarrollos en un corpus coherente.

Como brújula para esta empresa, el modelo genera una predicción central, nítida y comprobable:

$$\omega(I) = \log(I)$$

La verificación experimental de esta relación sería una evidencia directa a favor de la codificación de la percepción en dominios de frecuencia. De confirmarse, la ley de Weber-Fechner —hasta ahora una regularidad empírica— se revelaría como la primera ley matemática derivada de primeros principios para la consciencia, con implicaciones que podrían extenderse desde la percepción sensorial hasta la volición y la emoción.

El autor, un psicólogo, carece de los medios técnicos para realizar esta verificación neurofisiológica crucial. Por ello, este manuscrito concluye no con una respuesta, sino con una invitación abierta a la comunidad de neurocientíficos: aquí hay una hipótesis clara y esperando a ser puesta a prueba. La validación o refutación de  $\omega(I) = \log(I)$  no es solo el destino de este modelo, sino un paso potencialmente fundamental para toda la ciencia de la consciencia.

### **Declaración de Asistencia por IA**

El autor utilizó DeepSeek, un modelo de lenguaje de gran tamaño desarrollado por DeepSeek Company, para el pulido del lenguaje y la asistencia en la traducción durante la preparación de este manuscrito. Todos los conceptos teóricos, formalismos matemáticos, diseño estructural y contribuciones intelectuales se originan exclusivamente del autor humano. La IA actuó estrictamente como una herramienta para refinar la expresión lingüística y garantizar la claridad en la comunicación en inglés, sin participación alguna en el desarrollo conceptual o el contenido científico del trabajo.

## Bibliografía

- Alnes, S. L., Lucia, M. D., Rossetti, A. O., & Tzovara, A. (2021). Complementary roles of neural synchrony and complexity for indexing consciousness and chances of surviving in acute coma. *NeuroImage*, 245, 118638.
- Beaudoin, A. (2024). Consciousness: An Energy-Based Approach to Information Generation. *Journal of Consciousness Studies*, 31(11-12), 32-59.
- Brotamante, J. B. (2021). Aristotle's and Buddha's Notion of Happiness: A Comparative Study. *Love and Friendship Across Cultures: Perspectives from East and West*, 21-36.
- Chalmers, D. (2017). The Hard Problem of Consciousness. En S. Schneider & M. Velmans (Eds.), *The Blackwell Companion to Consciousness* (1.a ed., pp. 32-42). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119132363.ch3>
- Dehaene, S., & Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, 79(1-2), 1-37.
- Dennet, D. (1995). *La conciencia explicada*. Barcelona, Paidós.
- Enns, J. T., & Oriet, C. (2004). Perceptual asynchrony: Modularity of consciousness or object updating? *Journal of Vision*, 4(8), 27. <https://doi.org/10.1167/4.8.27>
- Ermentrout, G. B., Galán, R. F., & Urban, N. N. (2008). Reliability, synchrony and noise. *Trends in Neurosciences*, 31(8), 428-434. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2008.06.002>

Evers, K., Farisco, M., & Pennartz, C. M. A. (2024). Assessing the commensurability of theories of consciousness: On the usefulness of common denominators in differentiating, integrating and testing hypotheses. *Consciousness and Cognition*, 119, 103668.

Fan, J. M., Kudo, K., Verma, P., Ranasinghe, K. G., Morise, H., Findlay, A. M., Vossel, K., Kirsch, H. E., Raj, A., Krystal, A. D., & Nagarajan, S. S. (2022). Cortical structure of neural synchrony and information flow during transition from wakefulness to light non-rapid eye movement sleep (p. 2022.03.09.483562). *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2022.03.09.483562>

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>

Friston, K., FitzGerald, T., Rigoli, F., Schwartenbeck, P., & Pezzulo, G. (2017). Active inference: a process theory. *Neural computation*, 29(1), 1-49.

Hopcroft, J. E. (1984). Turing machines. *Scientific American*, 250(5), 86-E9.

Hunt, T., & Schooler, J. W. (2019). The Easy Part of the Hard Problem: A Resonance Theory of Consciousness. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13.

Jimenez, M., Prieto, A., Hinojosa, J. A., & Montoro, P. R. (2025). Consciousness under the spotlight: The problem of measuring subjective experience. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 16(1), e1697.

Kassabov, M., Strogatz, S. H., & Townsend, A. (2022). A global synchronization theorem for oscillators on a random graph. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 32(9), 093119. <https://doi.org/10.1063/5.0090443>

Ling, S., Xu, R., & Bandeira, A. S. (2019). On the Landscape of Synchronization Networks: A Perspective from Nonconvex Optimization. *SIAM Journal on Optimization*, 29(3), 1879-1907. <https://doi.org/10.1137/18M1217644>

Llinás, R. R. (2003). *El cerebro y el mito del yo: El papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos*. Editorial Norma.

Metzen, M. G., Hofmann, V., & Chacron, M. J. (2020). Neural Synchrony Gives Rise to Amplitude- and Duration-Invariant Encoding Consistent With Perception of Natural Communication Stimuli. *Frontiers in Neuroscience*, 14. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2020.00079>

Munk, M. H., & Neuenschwander, S. (2000). High-frequency oscillations (20 to 120 Hz) and their role in visual processing. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 17(4), 341-360.

Penrose, R. (2015). *La nueva mente del emperador*. DEBOLS! LLO.

Pribram, K. H., & Ramírez, J. M. (1995). *Cerebro y conciencia*. Ediciones Díaz de Santos.

Pylyshyn, Z. W. (1989). Computing in cognitive science. *Foundations of cognitive science*, 51-91.

Schmidt, R., LaFleur, K. J., de Reus, M. A., van den Berg, L. H., & van den Heuvel, M. P. (2015). Kuramoto model simulation of neural hubs and dynamic synchrony in the human cerebral connectome. *BMC neuroscience*, 16, 1-13.

Simondon (2009) *La individuación a la luz de las nociones de forma y de información*. Cactus.

Singer, W. (1998). Consciousness and the structure of neuronal representations. *Philosophical transactions of the royal society of London. Series B: biological sciences*, 353(1377), 1829-1840.

Strogatz, S. (2014). *Sync: The emerging science of spontaneous order*. Hyperion.

Taylor, R. (2012). There is no non-zero stable fixed point for dense networks in the homogeneous Kuramoto model. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 45(5), 055102. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/45/5/055102>

Tononi, G., Boly, M., Massimini, M., & Koch, C. (2016). Integrated information theory: from consciousness to its physical substrate. *Nature reviews neuroscience*, 17(7), 450-461.

Uhlhaas, P. J., Roux, F., Rodriguez, E., Rotarska-Jagiela, A., & Singer, W. (2010). Neural synchrony and the development of cortical networks. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(2), 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.002>

Van Leeuwen, J., & Wiedermann, J. (2001). The Turing machine paradigm in contemporary computing. *Mathematics unlimited—2001 and beyond*, 1139-1155.

Whitmarsh, S., Gitton, C., Jousmäki, V., Sackur, J., & Tallon-Baudry, C. (2022). Neuronal correlates of the subjective experience of attention. *European journal of neuroscience*, 55(11-12), 3465-3482.

Yañez Canal, J., & Perdomo, A. (2011). *Cognición y conciencia*. *Polisemia*, 7(11), 91-95.

Yao, R., Li, Y., Yao, X., Wang, K., Qu, J., Hong, B., & Zou, X. (2024). Brain wave dynamics in Hopfield Kuramoto model. *bioRxiv*, 2024-08.

Zeki, S., & Bartels, A. (1998). The asynchrony of consciousness. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, 265(1405), 1583-1585. <https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0475>

## Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.