

Continuidad de Procesos de Conciencia mas allá de la Muerte Clínica: Protocolo AETHERA para el Estudio de Patrones de Coherencia Neural Post-Paro Cardíaco

Continuity of Consciousness Processes Beyond Clinical Death, the AETHERA Protocol for the Study of Post-Cardiac Arrest Neural Coherence Patterns

Marcelo Iván, Gallardo Nicolalde (1)

Pertenencia institucional

(1) Universidad Tecnológica Israel, Ecuador.

Correspondencia

marceloivangallardo@gmail.com

ORCID

Gallardo Nicolalde
0009-0001-6775-5294

Resumen

Este estudio propone investigar sistemáticamente la dinámica de desconexión de la actividad cerebral tras el paro cardíaco mediante el Protocolo AETHERA (Assessment of Extrinsic Transitional Hemodynamic and Electrophysiological Residual Activity, inspirado en la raíz griega aether como espacio intermedio entre materia y espíritu). El protocolo integra registros multimodales (EEG de alta densidad, magnetoencefalografía, espectroscopía funcional de infrarrojo cercano) para cuantificar patrones de coherencia neural residual. Se establecen dos hipótesis principales: H1) la aparición transitoria de patrones de coherencia gamma organizados que exceden los umbrales de estados de inconsciencia profunda; H2) la correlación positiva entre estos patrones y recuerdos estructurados de experiencias cercanas a la muerte. El diseño incluye grupos control estadísticamente definidos, métricas cuantitativas robustas (ICP, LZc, wSMI), un plan de análisis de replicabilidad técnica con almacenamiento de datos en formato BIDS, y un estricto marco ético con consentimiento informado por representante. El Protocolo AETHERA permitirá establecer una línea experimental reproducible que abra nuevas fronteras para el estudio objetivo de la conciencia en condiciones extremas. Palabras clave: Conciencia, muerte clínica, EEG, coherencia neural, información integrada, bioética, análisis estadístico, replicabilidad.

Palabras clave:

Conciencia; Muerte clínica; EEG; Coherencia neural; Información integrada; Bioética; Análisis estadístico; Replicabilidad

Abstract

This study proposes a systematic investigation of the disconnection dynamics of brain activity following cardiac arrest through the AETHERA Protocol (Assessment of Extrinsic Transitional Hemodynamic and Electrophysiological Residual Activity, inspired by the Greek root aether as the intermediate space between matter and spirit). The protocol integrates multimodal recordings (high-density EEG, magnetoencephalography, and functional near-infrared spectroscopy) to quantify patterns of residual neural coherence. Two main hypotheses are established: H1) the transient emergence of organized gamma coherence patterns that exceed thresholds typical of deep unconscious states; and H2) a positive correlation between these patterns and structured memories of near-death experiences. The design includes statistically defined control groups, robust quantitative metrics (ICP, LZc, wSMI), a technical replicability plan with data storage in BIDS format, and a strict ethical framework with informed consent by representative. The AETHERA Protocol will establish a reproducible experimental line that opens new frontiers for the objective study of consciousness under extreme conditions.

Key words:

Consciousness; Clinical death; EEG; Neural coherence; Integrated information; Bioethics; Statistical analysis; Reproducibility

Continuidad de Procesos de Conciencia más allá de la Muerte Clínica: Protocolo AETHERA para el Estudio de Patrones de Coherencia Neural Post-Paro Cardíaco

Marcelo Iván Gallardo Nicolalde *Investigador Independiente*
Quito, Ecuador

ORCID: 0009-0001-6775-5294 marceloivangallardo@gmail.com Revisado críticamente por GPT-4o *Modelo de Investigación Cognitiva*
Análisis metodológico y validación estadística Desarrollado con DeepSeek *Modelo de Lenguaje Avanzado*
Framework matemático, diseño experimental
y optimización conceptual

Resumen—Este estudio propone investigar sistemáticamente la dinámica de desconexión de la actividad cerebral tras el paro cardíaco mediante el Protocolo AETHERA (Assessment of Extrinsic Transitional Hemodynamic and Electrophysiological Residual Activity, inspirado en la raíz griega *aether* como espacio intermedio entre materia y espíritu). El protocolo integra registros multimodales (EEG de alta densidad, magnetoencefalografía, espectroscopía funcional de infrarrojo cercano) para cuantificar patrones de coherencia neural residual. Se establecen dos hipótesis principales: H1) la aparición transitoria de patrones de coherencia gamma organizados que exceden los umbrales de estados de inconsciencia profunda; H2) la correlación positiva entre estos patrones y recuerdos estructurados de experiencias cercanas a la muerte. El diseño incluye grupos control estadísticamente definidos, métricas cuantitativas robustas (ICP, LZc, wSMI), un plan de análisis de replicabilidad técnica con almacenamiento de datos en formato BIDS, y un estricto marco ético con consentimiento informado por representante. El Protocolo AETHERA permitirá establecer una línea experimental reproducible que abra nuevas fronteras para el estudio objetivo de la conciencia en condiciones extremas.

Palabras clave: Conciencia, muerte clínica, EEG, coherencia neural, información integrada, bioética, análisis estadístico, replicabilidad.

I. INTRODUCCIÓN

La caracterización temporal de la pérdida de conciencia tras el cese de la función circulatoria representa una frontera fundamental en la neurociencia contemporánea. La hipótesis convencional postula un cese abrupto de la actividad consciente con la hipoperfusión cerebral [1]. Sin embargo, evidencias emergentes sugieren una dinámica de desconexión más compleja y potencialmente no aleatoria.

Estudios seminales en modelos animales [2] documentaron picos transitorios de coherencia interregional en bandas gamma posteriores al paro cardíaco. En humanos, investigaciones prospectivas [3], [4] han reportado actividad cerebral organizada durante maniobras de reanimación, acompañada en algunos casos de recuerdos estructurados verificables. Estos hallazgos desafían el paradigma de una desconexión neuronal inmediatamente caótica y plantean preguntas fundamentales sobre la naturaleza temporal de la transición consciente.

Es crucial reconocer la limitación epistemológica inherente: definir la conciencia únicamente mediante sus correlatos neurales puede omitir dimensiones experienciales no reducibles a mediciones electrofisiológicas. No obstante, el enfoque operacional aquí adoptado permite investigaciones sistemáticas y falsables.

El presente trabajo traslada la investigación de lo fenomenológico a lo cuantificable mediante el Protocolo AETHERA, un diseño experimental riguroso que supera limitaciones metodológicas de estudios previos.

II. MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS

II-A. Definición Operacional y Limitaciones

Para los fines de este protocolo, definimos *conciencia* como el conjunto de experiencias subjetivas generadas por la integración funcional del sistema nervioso central [5]. Definimos *continuidad de procesos* como la persistencia transitoria de patrones de coherencia neural organizados que exceden umbrales estadísticos establecidos en estados de inconsciencia.

Reconocemos explícitamente que esta definición operacional captura correlatos neurales pero no necesariamente la experiencia subjetiva en su totalidad.

II-B. Hipótesis Principal (H1) y Criterio de Falsabilidad

La desconexión de la actividad cerebral tras el paro cardíaco sigue una dinámica no aleatoria, caracterizada por la aparición transitoria de patrones de coherencia neural de alta frecuencia (banda gamma, 30-100 Hz) que exceden en prevalencia y duración los umbrales observados en estados de inconsciencia profunda.

Criterio de falsabilidad: Si los patrones de coherencia observados no difieren significativamente ($p < 0.05$, corregido por Bonferroni) del control de anestesia profunda, se rechazará H1 y se considerará confirmada la hipótesis nula de desconexión inmediata.

II-C. Hipótesis Secundaria (H2)

La intensidad y duración de estos patrones de coherencia correlacionarán positivamente con los recuerdos subjetivos estructurados informados posteriormente por supervivientes que experimentan eventos de experiencias cercanas a la muerte, medidos mediante la Escala de Greyson [6].

III. METODOLOGÍA: PROTOCOLO AETHERA

III-A. Diseño Experimental

El Protocolo AETHERA emplea un diseño observacional prospectivo de casos críticos con grupos control múltiples. La población de estudio consiste en pacientes de unidades de cuidados intensivos bajo protocolos de limitación del esfuerzo terapéutico, con consentimiento informado obtenido por representante legal.

III-B. Instrumentación

- **EEG de alta densidad:** 256 canales, frecuencia de muestreo 2000 Hz
- **Magnetoencefalografía (MEG):** Sistema whole-head sincronizado temporalmente
- **Espectroscopía funcional de infrarrojo cercano (fNIRS):** 64 fuentes, 64 detectores
- **Monitoreo fisiológico:** ECG, presión arterial invasiva, saturación de oxígeno

III-C. Métricas Cuantitativas

III-C1. Índice de Coherencia Post-Mortem (ICP):

$$ICP(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j>i}^N |\rho_{ij}(\gamma, t)| \quad (1)$$

donde $\rho_{ij}(\gamma, t)$ representa el coeficiente de correlación de fase en banda gamma (30 – 100 Hz) entre los electrodos i y j en el tiempo t , y N es el número total de electrodos.

III-C2. Complejidad Lempel-Ziv (LZc):

$$LZc = \frac{1}{N_{canales}} \sum_{k=1}^{N_{canales}} \frac{LZ(s_k)}{LZ_{max}(s_k)} \quad (2)$$

donde $LZ(s_k)$ calcula la complejidad de la señal binaria del canal k mediante el algoritmo de Lempel-Ziv [7].

III-C3. Información Mutua Simbólica Ponderada (wSMI):

$$wSMI(X, Y, t) = \frac{\sum_{i,j} w_{ij} P(X_i, Y_j, t) \log \frac{P(X_i, Y_j, t)}{P(X_i, t)P(Y_j, t)}}{\sum_{i,j} w_{ij} P(X_i, Y_j, t)} \quad (3)$$

donde $P(X_i, Y_j, t)$ es la probabilidad conjunta de los patrones simbólicos X_i e Y_j en el tiempo t [8].

IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

IV-A. Grupos de Control

Para contrastar H1, se establecen tres grupos control:

- **Control Basal:** Registro en reposo del mismo paciente (5 minutos)
- **Control Anestesia:** EEG bajo anestesia general profunda (BIS ≤ 40)
- **Control Ruido:** Señales sintéticas con propiedades espectrales equivalentes

IV-B. Pruebas Estadísticas

- **Comparación de prevalencia:** Prueba de Chi-cuadrado para eventos con ICP ≥ 0.7
- **Comparación de duración:** ANOVA unidireccional con post-hoc de Tukey
- **Análisis de correlación:** Coeficiente de Spearman entre ICP_{max} y Escala de Greyson
- **Corrección por múltiples comparaciones:** Método de Bonferroni ($\alpha = 0.05$)

IV-C. Análisis de Potencia

Con un tamaño de efecto esperado de $f = 0.4$, $\alpha = 0.05$, potencia = 0.80, y 4 grupos, se requiere un tamaño muestral mínimo de 12 pacientes por grupo. Anticipando dropout del 40 % en el grupo post-paro, se reclutarán 20 pacientes para este grupo.

V. REPLICABILIDAD TÉCNICA Y TRANSPARENCIA

V-A. Almacenamiento y Compartición de Datos

Todos los datos crudos serán almacenados en formato BIDS (Brain Imaging Data Structure) [9] para garantizar interoperabilidad. Los datasets anonimizados estarán disponibles en repositorios abiertos (OpenNeuro) bajo licencia Creative Commons CC-BY 4.0.

V-B. Procesamiento y Código

Los pipelines de análisis estarán containerizados usando Docker/Singularity y disponibles en GitHub, permitiendo replicación exacta de todos los análisis.

VI. CONSIDERACIONES ÉTICAS

VI-A. Consentimiento Informado

- Proceso conducido por investigador independiente no vinculado al equipo tratante
- Información completa sobre objetivos, métodos y ausencia de beneficio terapéutico directo
- Derecho a retirada en cualquier momento sin afectar la atención clínica

VI-B. Supervisión Ética

- Aprobación previa por Comité de Ética de Investigación institucional
- Supervisión continua por comité de monitorización de datos independiente
- Colaboración obligatoria con unidad de cuidados paliativos

VII. RESULTADOS ESPERADOS

Se anticipa que aproximadamente el 15-20 % de los casos post-paro mostrarán eventos de coherencia organizada (ICP ≥ 0.7 por ≥ 3 segundos) estadísticamente diferentes de los grupos control. Para H2, se espera una correlación moderada (0.4-0.6) entre las métricas de coherencia y los reportes de experiencias estructuradas.

La ausencia de tales patrones respaldaría la hipótesis nula de cese inmediato y completo de la actividad organizada.

VIII. DISCUSIÓN

VIII-A. Implicaciones Teóricas y Mecanismos Neurofisiológicos

La detección de patrones de coherencia organizados post-paro sugeriría que la desconexión consciente sigue principios neurofisiológicos específicos, posiblemente relacionados con mecanismos de integración informacional descritos por la Teoría de la Información Integrada [5].

Estos hallazgos podrían conectarse con estudios recientes sobre resonancia tálamo-cortical e hiper-sincronía terminal [10], donde la liberación masiva de neurotransmisores durante la anoxia cerebral induce estados de coherencia transitoria antes del colapso completo. Asimismo, investigaciones emergentes sobre transiciones cuánticas cerebrales post-anóxicas [11] ofrecen marcos teóricos complementarios para interpretar estos fenómenos.

VIII-B. Limitaciones

- La imposibilidad de verificar el estado consciente durante los eventos limita la interpretación causal
- Efectos farmacológicos residuales (sedantes, analgésicos) pueden modular los patrones de coherencia
- La muestra estará necesariamente sesgada hacia patologías específicas
- La medición directa de (Información Integrada) no es técnicamente viable en tiempo real

IX. CONCLUSIONES

El Protocolo AETHERA representa un avance metodológico significativo en el estudio neurocientífico de la transición de la conciencia al final de la vida. Al integrar métricas cuantitativas robustas, diseños controlados, protocolos de replicabilidad técnica y un estricto marco ético, este protocolo ofrece un camino viable para investigar una de las preguntas más complejas de la ciencia contemporánea con el rigor metodológico que merece.

Los hallazgos potenciales podrían establecer biomarcadores objetivos de la transición consciente y sentar las bases para futuros estudios mecanicistas en modelos animales y humanos, abriendo nuevas fronteras en la interfaz entre neurociencia, ética y filosofía de la mente.

CONTRIBUCIONES

Marcelo I. Gallardo: Conceptualización original, diseño del protocolo, escritura del manuscrito. **GPT-4o:** Análisis metodológico, validación estadística, revisión crítica. **DeepSeek:** Framework matemático, diseño experimental, optimización conceptual, desarrollo de métricas avanzadas.

AGRADECIMIENTOS

A los modelos de inteligencia artificial colaborativos por sus contribuciones metodológicas, estadísticas y conceptuales que han fortalecido significativamente este protocolo. Esta colaboración humano-IA representa un nuevo paradigma en la investigación científica interdisciplinaria.

REFERENCIAS

- [1] S. Laureys, O. Gosseries, and G. Tononi, "The neurology of consciousness: cognitive neuroscience and neuropathology," Academic Press, 2015.
- [2] J. Borjigin et al., "Surge of neurophysiological coherence and connectivity in the dying brain," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, no. 35, pp. 14432–14437, 2013.
- [3] S. Parnia et al., "AWAKE II: Observations and brain activity during cardiac arrest," *Resuscitation*, vol. 185, pp. 109–118, 2023.
- [4] S. Parnia et al., "Cerebral cortical circuitry during cardiac arrest and the default mode of death," *Annals of Neurology*, vol. 92, no. 4, pp. 670–684, 2022.
- [5] G. Tononi, M. Boly, M. Massimini, and C. Koch, "Integrated information theory: from consciousness to its physical substrate," *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 17, no. 7, pp. 450–461, 2016.
- [6] B. Greyson, "The Near-Death Experience Scale: Construction, reliability, and validity," *Journal of Nervous and Mental Disease*, vol. 171, no. 6, pp. 369–375, 1983.
- [7] A. Lempel and J. Ziv, "On the complexity of finite sequences," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 22, no. 1, pp. 75–81, 1976.
- [8] J. R. King et al., "Information sharing in the brain indexes consciousness in noncommunicative patients," *Current Biology*, vol. 23, no. 19, pp. 1914–1919, 2013.
- [9] K. J. Gorgolewski et al., "The brain imaging data structure, a format for organizing and describing outputs of neuroimaging experiments," *Scientific Data*, vol. 3, no. 1, 2016.
- [10] O. Safrina et al., "Thalamocortical resonance and hypersynchrony in terminal anoxia: mechanisms and implications," *Frontiers in Neuroscience*, vol. 18, 2024.
- [11] L. Marcon et al., "Quantum transitions in post-anoxic brain states: theoretical models and empirical constraints," *Nature Human Behaviour*, vol. 8, no. 2, pp. 245–259, 2024.