

INFORME TÉCNICO COMPLETO: VALIDACIÓN EMPÍRICA DEL MODELO PAH* v3.7

Análisis Integral: Desde Fundamentos Teóricos hasta Falsación Definitiva

Investigador Principal: Dr. Camilo Alejandro Sjöberg Tala

Fecha: 13 de junio de 2025

Correo: cst@afhmodel.org

Institución: Independiente, autofinanciado

Versión del Modelo: PAH* v3.7 - CICLO COMPLETO DE VALIDACIÓN

RESUMEN EJECUTIVO

Este informe documenta el ciclo completo de desarrollo, validación y falsación del Modelo PAH* v3.7, desde sus fundamentos teóricos hasta su evaluación empírica definitiva. El estudio demuestra un caso ejemplar de honestidad epistemológica donde la detección de un outlier estadístico (SC4651E0, 1/153 sujetos) inicialmente creó la ilusión de validación, posteriormente corregida por validación masiva en holdout independiente.

Resultado Principal: La implementación específica del Modelo PAH* v3.7 fue correctamente falsada. Los umbrales de detección y configuración actual de las variables κ_{topo} , Φ_H , y ΔPCI no constituyen un detector universal de estados conscientes, aunque el marco teórico fundamental permanece viable para reformulación.

FASE 0: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y CONCEPTUALES

Marco Teórico del Modelo PAH*

El Modelo PAH* (Pliegue Autopsíquico + Horizonte H*) se fundamenta en la hipótesis de que la conciencia emerge como una **estructura crítica topológica** en el espacio funcional cerebral. Esta emergencia se caracteriza por la convergencia simultánea de tres dimensiones neurobiológicas fundamentales.

Postulados Teóricos Centrales

- Conciencia como Emergencia Topológica:** La conciencia no es un estado discreto sino una estructura dinámica que emerge cuando el sistema neural alcanza configuraciones críticas específicas.

2. **Horizonte H como Umbral Crítico:*** Existe un umbral multidimensional (H^*) donde convergen tres variables estructurales, marcando la transición entre estados conscientes e inconscientes.
3. **Pliegue Autopsíquico:** La estructura consciente se manifiesta como un "pliegue" en el espacio topológico-funcional, caracterizado por alta integración, conectividad y complejidad perturbacional.

Variables Fundamentales del Modelo

- **κ_{topo} (Curvatura Topológica):** Mide la conectividad funcional promedio en la red neural binarizada
- **Φ_H (Integración Causal):** Cuantifica la información mutua promedio entre canales EEG
- **ΔPCI (Complejidad Perturbacional):** Evalúa la diferencia en complejidad Lempel-Ziv entre ventanas consecutivas

Hipótesis Falsable

"La conciencia emerge cuando las tres variables estructurales (κ_{topo} , Φ_H , ΔPCI) cruzan simultáneamente sus umbrales críticos, formando el Horizonte H, y se mantiene estable mientras estas condiciones persistan. Las transiciones hacia vigilia desde sueño coinciden temporalmente con cruces del Horizonte H^* ."

FASE 1: SIMULACIÓN COMPUTACIONAL Y PRUEBA DE CONCEPTO

Objetivo

Evaluar la coherencia estructural, implementabilidad computacional y capacidad predictiva operativa del Modelo PAH* v3.7 mediante simulación artificial de estados temporales.

Metodología de Simulación

Se construyó una secuencia temporal de **7 estados artificiales**, simulando la evolución funcional de un sistema neurológico hipotético:

Umbrales Críticos Definidos

- $\kappa_{\text{topo}} \geq 0.5$
- $\Phi_H \geq 1.0$
- $\Delta PCI \geq 0.1$

Detectores Implementados

1. **Singularidad convergente:** Entrada al pliegue (≥ 2 variables cruzan umbral hacia arriba)
2. **Singularidad divergente:** Colapso del pliegue (≥ 2 variables cruzan umbral hacia abajo)

3. **Estabilidad interna:** Tres condiciones mantenidas ≥ 3 pasos consecutivos

Resultados de Simulación

Tiempo	κ_{topo}	Φ_H	ΔPCI	Estado	Evento
t=0	0.30	0.70	0.05	Subcrítico	-
t=1	0.40	0.80	0.08	Subcrítico	-
t=2	0.60	1.10	0.12	Emergencia	Convergente
t=3	0.70	1.20	0.13	Consciente	Estabilidad
t=4	0.65	1.05	0.11	Consciente	-
t=5	0.45	0.90	0.07	Colapso	Divergente
t=6	0.35	0.60	0.03	Subcrítico	-

Conclusiones Fase 1

- El Modelo PAH* v3.7 es computacionalmente formalizable
- Se identifican eventos estructurales clave
- El modelo genera predicciones falsables y reproducibles
- Validación de consistencia interna y operativa

FASE 2: DISEÑO METODOLÓGICO Y INFRAESTRUCTURA

Dataset y Hardware

- **Fuente:** Sleep-EDF Expanded Database (PhysioNet)
- **Sujetos totales:** 153 registros polisomnográficos completos
- **Hardware:** Intel i7-11800H, 32GB RAM, RTX 3050 Ti
- **Configuración BESTIA:** 15 workers paralelos, procesamiento optimizado

Pipeline Computacional

```
python

# Configuración BESTIA MODE
OPTIMAL_WORKERS = 15
MAX_CONCURRENT_FILES = 4
TAMANO_VENTANA = 30 # segundos
PRELOAD_ALL = True
AGGRESSIVE_PARALLEL = True
```

Arquitectura del Sistema

- 1. **Carga EEG:** Segmentación paralela en ventanas de 30s
- 2. **Procesamiento:** Cálculo vectorizado de κ , Φ , Δ con Numba JIT
- 3. **Detección:** Búsqueda de singularidades por umbrales combinados
- 4. **Validación:** Correlación temporal con transiciones hipnográficas

FASE 3: SPLIT IRREVERSIBLE Y DESARROLLO

División Pre-registrada

```
json
{
  "seed_sagrado_definitivo": 2025,
  "proporcion_desarrollo": 0.7,
  "proporcion_holdout": 0.3,
  "n_desarrollo": 107,
  "n_holdout_sagrado": 46,
  "hash_verificacion": "22bcf14452086104e86c77158d971a54"
}
```

Criterios Vinculantes (Irreversibles)

Métrica	Umbral Mínimo	Justificación
F1-Score	≥ 0.25	Precisión mínima aceptable
Precisión	≥ 0.30	Control de falsos positivos
Recall	≥ 0.20	Sensibilidad mínima requerida
Tasa Detección	0.5% - 10.0%	Rango biológicamente plausible
Estabilidad CV	≤ 0.15	Consistencia entre folds

Calibración en Desarrollo

Proceso de Optimización:

- **Grid Search:** $\kappa \in [0.04-0.25]$, $\Phi \in [0.13-0.41]$, $\Delta \in [0.5-20.0]$
- **Estrategia seleccionada:** "Moderada" (Top 15% κ , Top 20% Φ , Bottom 20% Δ)
- **Umbrales finales:**
 - $\kappa_{\text{topo}} \geq 0.062857$

- $\Phi_H \geq 0.146670$
- $\Delta PCI \leq 2.000000$

Validación Cruzada K=5:

Fold	F1-Score	Precisión	Recall	Observaciones
1	0.105	1.000	0.056	Alta precisión, bajo recall
2	0.080	0.041	1.000	Patrón inverso sospechoso
3	0.111	1.000	0.059	Consistente con Fold 1
4	1.000	1.000	1.000	Overfitting evidente
5	0.806	0.675	1.000	Alto pero no perfecto

Estadísticas CV: $F1 = 0.420 \pm 0.399$ (Estabilidad: $0.399 > 0.15$ FALLA)

FASE 4: VALIDACIÓN FINAL - ECLIPSE FINAL

Aplicación al Holdout Sagrado

- **Sujetos procesados:** 46 (conjunto virgen)
- **Ventanas totales:** 126,160
- **Hardware utilizado:** 8C/16T, 31GB RAM, 15 workers BESTIA
- **Método:** Split irreversible + BESTIA MODE + Holdout final

Resultados Definitivos

json

```
{
  "metricas_finales": {
    "f1_score": 0.030647553138902616,
    "precision": 0.03172978505629478,
    "recall": 0.029636711281070746,
    "tasa_deteccion": 0.007744134432466709,
    "coincidencias": 31,
    "singularidades_detectadas": 977,
    "transiciones_reales": 1046
  }
}
```

Evaluación Contra Criterios

Criterio	Requerido	Obtenido	Status
F1-Score	≥ 0.25	0.031	FALLA
Precisión	≥ 0.30	0.032	FALLA
Recall	≥ 0.20	0.030	FALLA
Tasa Detección	0.5%-10%	0.77%	APROBADO
Estabilidad CV	≤ 0.15	0.399	FALLA

Criterios cumplidos: 1/5

Veredicto Automático: FALSADO

FASE 5: DETECTIVE WORK - ANÁLISIS DEL OUTLIER

Descubrimiento del Eclipse Lunar

Durante el análisis retrospectivo se identificó que el enfoque "Eclipse Lunar" había analizado específicamente el sujeto **SC4651E0**, que resultó ser un outlier estadístico extremo.

Eclipse Lunar (Enfoque Específico)

- **Sujeto:** SC4651E0 únicamente
- **Método:** Análisis de 62 transiciones con rango ± 5 ventanas
- **Resultado:** 1 singularidad detectada (1.6%)
- **Características:**
 - Ventana 388 (transición dormirse)
 - Desfase: +2 ventanas (1 minuto)
 - Índice colectivo: 66.0 (vs umbral 46.0)
 - Factor: 1.43x sobre umbral

Reporte de Sensibilidad Poblacional

Análisis exhaustivo de todos los 153 sujetos disponibles:

Distribución de Singularidades por Sujeto

Parámetro	SC4651E0	Resto (152 sujetos)
RANGO=5	1 singularidad (1.61%)	0 singularidades (0.00%)
RANGO=6	1 singularidad (1.61%)	0 singularidades (0.00%)
RANGO=7	2 singularidades (3.23%)	0 singularidades (0.00%)
RANGO=8	2 singularidades (3.23%)	0 singularidades (0.00%)
RANGO=9	3 singularidades (4.84%)	0 singularidades (0.00%)
RANGO=10	3 singularidades (4.84%)	0 singularidades (0.00%)

Estadísticas Poblacionales

- **Sujetos activos:** 1/153 (0.65%)
- **Sujetos inactivos:** 152/153 (99.35%)
- **Prevalencia real:** Outlier estadístico extremo

FASE 6: ANÁLISIS COMPARATIVO DE METODOLOGÍAS

Eclipse Lunar vs Eclipse Final

Dimensión	Eclipse Lunar	Eclipse Final
Alcance	1 sujeto (SC4651E0)	46 sujetos independientes
Ventanas	624 (transiciones)	126,160 (completas)
Metodología	Post-hoc, específica	Pre-registrada, masiva
Falsabilidad	Limitada	Real y vinculante
Resultado	1 singularidad aparente	Falsación definitiva
Interpretación	Evidencia prometedora	Outlier no representativo

Explicación de la Paradoja

1. **Eclipse Lunar** se enfocó inadvertidamente en el único sujeto activo (0.65% de la población)
2. **Eclipse Final** capturó la distribución poblacional real donde SC4651E0 tenía ~30% de probabilidad de estar en holdout
3. **Sin SC4651E0 en holdout:** Resultado esperado $F1 \approx 0.00$
4. **Con residuos estadísticos:** $F1$ observado = 0.031

INTERPRETACIÓN CIENTÍFICA INTEGRAL

Análisis del Outlier SC4651E0

Posibles Explicaciones:

- 1. **Características individuales:** Edad, patología, medicación específica
- 2. **Calidad de datos:** Artefactos específicos en el registro
- 3. **Variabilidad biológica:** Caso genuino pero no generalizable
- 4. **Coincidencia estadística:** Falso positivo en distribución de 153 casos

Significado Científico:

- **No representa fenómeno universal** de conciencia
- **Posible caso clínico específico** de interés limitado
- **No valida la teoría PAH*** como principio general

Evaluación de Variables

Variable	Evaluación	Justificación
κ_{topo}	Configuración actual no predictiva	Sin diferenciación poblacional con umbrales actuales
Φ_H	Configuración actual no predictiva	Patrones inconsistentes con definición operacional actual
ΔPCI	Configuración actual no predictiva	Alta variabilidad, bajo signal/noise con umbrales actuales
Horizonte H^*	No validado empíricamente	Concepto teórico no demostrado con configuración actual

LECCIONES METODOLÓGICAS

Éxitos del Diseño Experimental

- 1. **Split irreversible:** Previno contaminación de datos
- 2. **Criterios pre-registrados:** Evitó manipulación post-hoc
- 3. **Falsabilidad real:** Implementada con consecuencias
- 4. **Detección de outliers:** Análisis poblacional reveló la realidad
- 5. **Honestidad epistemológica:** Aceptación genuina de falsación

Sesgos Identificados y Corregidos

En Eclipse Lunar:

- **Sesgo de confirmación:** Enfoque en único caso "exitoso"
- **Cherry-picking:** Selección no representativa

- **Validación circular:** Mismo dataset para calibrar y validar
- **Múltiples comparaciones:** Sin corrección estadística

Mitigados en Eclipse Final:

- **Muestra representativa:** 46 sujetos independientes
- **Criterios objetivos:** Pre-registrados e inmutables
- **Validación limpia:** Holdout completamente virgen
- **Análisis poblacional:** Contexto estadístico completo

Estándar Metodológico Establecido

Este estudio establece un protocolo de referencia para validación de teorías de conciencia:

1. Formulación teórica falsable (Fase 0)
 2. Simulación computacional (Fase 1)
 3. Pre-registro de hipótesis y criterios (Fase 2)
 4. Split irreversible de datos (Fase 3)
 5. Desarrollo en conjunto limpio (Fase 3)
 6. Validación única en holdout (Fase 4)
 7. Análisis poblacional de sensibilidad (Fase 5)
 8. Aceptación honesta de resultados (Fase 6)
-

IMPLICACIONES PARA LAS CIENCIAS DE LA CONCIENCIA

Contribuciones Positivas

1. **Demostración de falsabilidad real** en ciencias de la conciencia
2. **Protocolo metodológico robusto** para futuras investigaciones
3. **Identificación de sesgos comunes** en el campo
4. **Valor del conocimiento negativo** para eliminar hipótesis incorrectas

Advertencias para el Campo

1. **Peligro de outliers extremos** (1/153 puede crear ilusiones)
2. **Necesidad de muestras grandes** para detectar patrones reales
3. **Importancia de validación independiente** sin contaminación
4. **Valor superior de la falsación honesta** vs confirmación sesgada

Dirección Futura

- **Variables alternativas:** Explorar nuevos biomarcadores neurales
 - **Teorías reformuladas:** Aprender de las limitaciones identificadas
 - **Metodología replicable:** Usar protocolo establecido
 - **Validación multicéntrica:** Replicación independiente
-

RECOMENDACIONES TÉCNICAS

Para PAH* v4.0

1. **Nuevas variables neurobiológicas:**
 - Phi-IIT (Teoría de Información Integrada)
 - Causalidad de Granger direccional
 - Entropía permutacional
 - Dimensión fractal
 - Coherencia gamma
2. **Metodología mejorada:**
 - Análisis multiescala temporal
 - Integración de múltiples modalidades
 - Machine learning interpretable
 - Validación prospectiva
3. **Diseño experimental:**
 - Estudios multicéntricos
 - Validación cruzada entre bases de datos
 - Controles activos (anestesia, sedación)
 - Seguimiento longitudinal

Para la Comunidad Científica

1. **Adoptar protocolos de honestidad epistemológica**
 2. **Implementar pre-registro obligatorio**
 3. **Exigir validación en holdout independiente**
 4. **Valorar y publicar resultados negativos**
 5. **Desarrollar repositorios de datos standardizados**
-

CONCLUSIONES DEFINITIVAS

Veredicto Científico

La implementación específica del Modelo PAH v3.7 fue correctamente falsada* mediante metodología irreproachable. Los umbrales de detección y la configuración actual de las variables κ_{topo} , Φ_H , y ΔPCI no constituyen detectores universales de estados conscientes en la población general.

Valor Epistemológico

Esta investigación representa un **éxito científico ejemplar** por:

- Implementar falsabilidad real en ciencias de la conciencia
- Detectar y corregir sesgos metodológicos fundamentales
- Establecer estándares de honestidad epistemológica
- Demostrar el valor del conocimiento negativo

Impacto en el Campo

- **Nuevo estándar metodológico** para teorías de conciencia
- **Caso de estudio** en honestidad científica
- **Protocolo replicable** para futuras investigaciones
- **Eliminación de hipótesis incorrecta** del espacio teórico

Evolución del Modelo

Fase	Objetivo	Resultado	Aprendizaje
0	Formulación teórica	Coherente	Marco conceptual sólido
1	Simulación	Funcional	Implementación viable
2	Infraestructura	Robusta	Pipeline escalable
3	Desarrollo	Inestable	CV reveló problemas
4	Validación	Falsado	Hipótesis incorrecta
5	Análisis	Revelador	Outlier identificado
6	Síntesis	Instructivo	Metodología validada

Mensaje Fundamental

"Un fenómeno presente en 0.65% de los sujetos (1/153) no constituye evidencia de un principio universal. La falsación honesta de implementaciones específicas genera conocimiento más valioso que la confirmación sesgada, y preserva los marcos teóricos para refinamiento futuro."

Estado del Experimento

CERRADO - CONFIGURACIÓN ACTUAL FALSADA

La falsación de la implementación específica del Modelo PAH* v3.7 es **definitiva e irreversible para esta configuración**. Los resultados proporcionan una base sólida para el desarrollo de PAH* v4.0 con:

1. **Fundamentos teóricos preservados:** Los conceptos de pliegue autopsíquico y horizonte H^* mantienen validez conceptual
 2. **Variables reformuladas:** Nuevas definiciones operacionales de κ_{topo} , Φ_H , y ΔPCI
 3. **Umbrales empíricamente calibrados:** Criterios de detección basados en datos poblacionales reales
 4. **Metodología validada:** Protocolo de 8 fases establecido como estándar
-

ARCHIVOS Y REPRODUCIBILIDAD

Archivos Críticos del Experimento

- `SPLIT_DEFINITIVO_PAH.json` - División irreversible de datos
- `CRITERIOS_VINCULANTES.json` - Criterios pre-registrados
- `EUREKA_FINAL_IRREVERSIBLE.json` - Resultados de validación final
- `eventos_pah_v37.csv` - Eventos de simulación Fase 1
- `reporte_sensibilidad_comparativo.md` - Análisis poblacional completo

Código y Reproducibilidad

- Pipeline completo disponible en repositorio
- Configuración BESTIA MODE documentada
- Funciones JIT optimizadas para replicación
- Seeds y hashes para verificación de integridad

Contacto

Dr. Camilo Alejandro Sjöberg Tala

Investigador Principal

Email: cst@afhmodel.org

Institución: Independiente

"En ciencia, la honestidad epistemológica no es opcional - es el fundamento sobre el cual se construye todo conocimiento genuino."

Documento finalizado: 13 de junio de 2025

Versión: PAH* v3.7 - CICLO COMPLETO DOCUMENTADO