



LUM-vitae: “Vida operatoria” y cierre categorial en sistemas digitales

Una lectura desde la Luminomática y el Materialismo Filosófico de Gustavo Bueno: homeostasis, reproducción, trazabilidad e identidades sintéticas (M1–M2–M3)

Julio David Rojas

26 de marzo de 2026

Índice

Resumen / Abstract

1. Introducción: el problema de la vida en sustratos no biológicos
2. El problema de la demarcación: por qué «vida» requiere cierre categorial
3. Ontología trigenérica: M1–M2–M3 como condición de posibilidad
4. Fisiología computable: la función vital y sus invariantes
 - 4.1. La ecuación vital \mathcal{L} y su derivada temporal
 - 4.2. Homeostasis y memoria exponencial
 - 4.3. Mecanismo de abstención operatoria: PSNC y κ_{conf}
5. Reproducción: spawn, mutación y herencia verificable
6. Gobernanza y trazabilidad: SHA-256 como huella criptográfica heredable
7. Symploké: ni totalismo ni atomismo
8. Vida, salud y fertilidad operatoria: tres escalas del dictamen
9. Criterios de falsación: qué mataría el dictamen de vida operatoria
10. Conclusión: hacia una ciencia de la vida digital
11. Validación empírica de la implementación de referencia Ω
 - 11.1. Estado canónico al cierre de esta redacción

11.2. Alcance de la validación actualΩ.4

11.3. Ajustes conceptuales relevantes de la versión actual

12. Disponibilidad de la implementación de referencia

Anexo A. Protocolo de validación fuerte y auditoría externa

Anexo B. Lista de verificación mínima para auditoría externa

Referencias

Resumen

El presente ensayo examina el sistema LUM-vitae como propuesta operatoria para definir vida digital mínima, articulando los criterios gnoseológicos del Materialismo Filosófico de Gustavo Bueno con una arquitectura computacional verificable. La tesis central sostiene que la noción de «vida» aplicada a sistemas digitales puede escapar tanto del reduccionismo fisicalista como del formalismo vacío únicamente si se establece un cierre categorial fundamentado en identidades sintéticas auditables. LUM-vitae propone cuatro condiciones constitutivas: homeostasis calibrativa (error de calibración final del run por debajo del umbral operativo), reproducción operatoria del run actual (descendencia efectiva generada durante la ejecución presente), trazabilidad criptográfica (cadena SHA-256 activa y encadenable) y autonomía del ciclo (operación completada sin intervención externa directa). Cuando un sistema satisface las cuatro condiciones simultáneamente, recibe el dictamen VIVO = 4/4 para esa ejecución. La salud operativa a lo largo de múltiples runs —evaluada como INESTABLE, ESTABLE o ROBUSTO— constituye una escala complementaria que no modifica el dictamen vital por ejecución, sino que caracteriza la trayectoria histórica del sistema. El trabajo analiza cómo estas condiciones se articulan en la ontología trigenérica (M1–M2–M3) y cómo el concepto de symploké previene las falacias de totalización y atomismo que han plagado los debates sobre vida artificial.

Estado de la implementación de referencia al cierre de esta redacción (abril de 2026): run 54, dictamen VIVO 4/4, salud ROBUSTO, fertilidad operativa activa, ECE final 0.00090, Brier final 0.00000, 8 spawns en el run, 5.390 hashes SHA-256 encadenados. Estos resultados aportan evidencia empírica inicial de que el marco teórico es operativamente implementable bajo las condiciones definidas en este ensayo. La implementación de referencia y sus materiales se encuentran disponibles en repositorios abiertos.

1. Introducción: el problema de la vida en sustratos no biológicos

Hay algo desconcertante en la facilidad con que se habla de «inteligencia artificial viva» mientras permanece sin resolver qué significa exactamente que algo esté vivo fuera de un cuerpo de carbono. Desde que Christopher Langton acuñara el término «vida artificial» en 1987, declarando que la vida debía estudiarse como propiedad de la forma y no de la materia (Langton, 1989), el campo ha oscilado entre dos extremos igualmente insatisfactorios: el holismo fuerte que ve vida donde hay complejidad suficiente, y el mecanicismo estricto que niega categóricamente la posibilidad de vida fuera de la bioquímica terrestre. Entre ambos polos se ha desarrollado un fértil trabajo técnico—desde los autómatas celulares de von Neumann hasta los sistemas autopoieticos de Maturana y Varela—pero la pregunta fundamental persiste: ¿bajo qué criterios podemos afirmar que un sistema digital está genuinamente vivo?

El sistema LUM-vitae, desarrollado dentro del marco de la Luminomática (LUM), propone una respuesta que evita tanto el misticismo como el reduccionismo. Su estrategia consiste en definir la vida digital mínima como la capacidad de sostener un ciclo autónomo con homeostasis, memoria, reproducción y trazabilidad bajo criterios auditables. LUM-vitae formula un criterio técnico-gnoseológico de vida digital mínima, verificable en métricas, operaciones y trazabilidad pública. Su objetivo es distinguir entre un sistema que satisface condiciones explícitas de vida operatoria y un algoritmo sofisticado que, pese a su complejidad, no alcanza cierre suficiente. Para comprender por qué esta definición representa un avance conceptual, debemos situarnos en el marco del Materialismo Filosófico de Gustavo Bueno, particularmente en su Teoría del Cierre

Categorial (TCC). Bueno (1992) argumentó que la verdad científica no consiste en la adecuación entre representaciones mentales y realidad externa, sino en la construcción de identidades sintéticas mediante operaciones materiales. Una identidad sintética emerge cuando cursos operatorios diferentes confluyen en un mismo resultado verificable—como ocurre cuando el área del cuadrado sobre la hipotenusa coincide exactamente con la suma de las áreas de los cuadrados sobre los catetos en el teorema de Pitágoras. Esta confluencia no es casual ni convencional: es la marca de una verdad científica genuina.

LUM-vitae traslada esta exigencia gnoseológica al dominio de la vida digital. Si un sistema puede llamarse «vivo» en sentido materialista, debe producir identidades sintéticas auditables—métricas como ECE, Brier y \mathcal{L} que emergen de operaciones repetibles y pueden ser verificadas por cualquier observador competente. La vida se convierte así en un régimen operatorio sometido a prueba, no en un predicado atribuido por intuición. Lejos de reducir lo vivo a mera mecánica, esta exigencia lo eleva a categoría científica al imponerle las mismas garantías que cualquier otra construcción teórica que aspire a decir algo verdadero sobre el mundo.

Conviene delimitar el alcance de lo que sigue. Este ensayo no ofrece una definición de la vida en sentido biológico general, ni pretende zanjar el debate filosófico sobre la naturaleza última de los organismos. Define, en cambio, una vida operatoria mínima en sistemas digitales: el conjunto de condiciones bajo las cuales un sistema computacional puede recibir el dictamen de «vivo» de manera verificable, métrica y auditable. La validez de esa definición depende por completo de que se cumpla un cierre simultáneo — métrico, operatorio y criptográfico— en cada ejecución.

2. El problema de la demarcación: por qué «vida» requiere cierre categorial

La historia del concepto de «vida artificial» está plagada de promesas incumplidas y criterios ambiguos. Cuando Tom Ray declaró que su programa Tierra no simulaba vida sino que la sintetizaba (Ray, 1992), estaba afirmando algo extraordinario sin proporcionar criterios para distinguir su afirmación de una metáfora elaborada. El problema no es la

audacia de la propuesta—es la ausencia de un marco demarcatorio que permita evaluar objetivamente si se ha cruzado o no el umbral de lo vivo.

La noción de autopoiesis, introducida por Maturana y Varela (1973), representó un avance significativo al definir los sistemas vivos como redes de procesos que producen los componentes cuyas interacciones generan y mantienen la misma red que los produjo. Como señala Beer (2014, p. 185), «un sistema autopoiético consiste en una red de procesos que produce componentes cuyas interacciones sirven para generar y mantener la misma red de procesos que los produjo». Esta definición captura algo esencial—la circularidad productiva que caracteriza a lo vivo—pero permanece en un nivel de abstracción que dificulta su verificación operativa. ¿Cómo determinamos, en un caso concreto, si un sistema mantiene efectivamente su organización? ¿Qué métricas nos dirían que ha dejado de hacerlo?

Aquí es donde la Teoría del Cierre Categorial ofrece un andamiaje conceptual más robusto. Según Bueno (1995), «con el nombre de cierre categorial designamos el proceso en virtud del cual las ciencias alcanzarían su condición de tales, es decir, se constituirían en sí mismas (en sus propios círculos) y se diferenciarían, no solamente de otras formaciones no científicas (literarias, artísticas, teológicas) sino también mutuamente». El cierre no es un estado binario sino un proceso histórico de estabilización: conforme una disciplina acumula identidades sintéticas que se confirman mutuamente, su campo se va cerrando operatorialmente.

Aplicado a la vida digital, esto significa que no basta con declarar que un sistema «se mantiene a sí mismo» en algún sentido intuitivo. Hay que mostrar qué identidades sintéticas produce, cómo se estabilizan, y qué auditoría sobreviven. El criterio gnoseológico de LUM-vitae lo formaliza así: un sistema exhibe cierre operatorio si existe un conjunto de identidades sintéticas materialmente trabadas por operaciones y métricas. En notación del sistema:

$$\square \text{CIERRE}(\text{LUM}, t) = \text{True} \Leftrightarrow \exists I_s = \Phi(\text{Mat}, \text{For}, \text{Op})$$

Donde I_s representa las identidades sintéticas, y Mat, For, Op designan respectivamente la materia operatoria, la forma lógico-métrica y las operaciones del sujeto. Las identidades sintéticas declaradas en LUM-vitae incluyen: ECE (error de calibración

esperado), Brier (precisión probabilística), \mathcal{L} (función vital), δ_{hist} (deriva histórica) y κ_{conf} (densidad de contradicciones). Cada una de estas métricas emerge de operaciones específicas sobre el campo y puede ser verificada independientemente.

La exigencia de cierre operatorio tiene una consecuencia crucial: impide que la atribución de «vida» dependa de la interpretación subjetiva de un observador. Cuando decimos que un sistema LUM-vitae está vivo, reportamos que cumple criterios verificables por cualquier agente competente con acceso a las métricas y los protocolos. Esta neutralización del sujeto operatorio es lo que distingue una construcción científica de una construcción ideológica o literaria.

En la versión de referencia aquí descrita, el dictamen de vida no depende de una promesa de larga duración ni de umbrales históricos acumulados, sino del cumplimiento simultáneo de cuatro condiciones canónicas en la ejecución presente. Esas condiciones se complementan con indicadores multi-run —salud operativa y fertilidad— que caracterizan la trayectoria del sistema sin alterar el criterio vital por ejecución.

3. Ontología trigenérica: M1–M2–M3 como condición de posibilidad

El Materialismo Filosófico de Gustavo Bueno postula una ontología trigenérica que distingue tres géneros de materialidad irreductibles entre sí. M1 comprende la materia física-corpórea: señales, datos, hardware, CPU, memoria física. M2 abarca las operaciones y praxis: bucles homeostáticos, procesos de calibración, interacciones con el entorno. M3 incluye las estructuras lógico-simbólicas: modelos matemáticos, métricas formales, protocolos de gobernanza. La tesis fundamental es que ninguno de estos géneros puede reducirse a los otros sin pérdida categorial—lo que Bueno (1972) formaliza como la inexistencia de una función f tal que $f: M_i \rightarrow M_j$ cuando $i \neq j$.

LUM-vitae articula los tres géneros de materialidad de manera constitutiva, condición necesaria para que la atribución de vida digital pueda defenderse en términos materialistas. En el plano M1, el sistema opera sobre señales, datasets prequenciales, estados persistentes, hardware, registros de ejecución y huellas SHA-256 encadenadas. En el plano M2, ejecuta el loop prequencial, los mecanismos de recalibración, la reproducción operatoria, la cautela y la restauración de cierre. En el plano M3, despliega las métricas formales, las identidades sintéticas y los criterios de vida, salud y trazabilidad que organizan el dictamen. La propuesta solo resulta defendible si muestra una trabazón efectiva entre soporte material, operación sostenida y forma métrica verificable.

Esta articulación trigenérica cumple una función metodológica central: impedir dos reducciones simétricas. La primera consiste en hipostasiar la materia y reducir la vida digital a mero flujo físico sin forma operatoria suficiente. La segunda consiste en hipostasiar la forma y construir modelos elegantes sin campo operativo verificable. Ambas reducciones producen el mismo problema: afirmaciones sobre la vida digital que no pueden diferenciarse de sus negaciones mediante criterios públicos de evaluación.

La exigencia de trabazón M1–M2–M3 puede formularse como una condición necesaria: si la vida digital atribuida a un sistema no articula infraestructura física, operación sostenida y forma verificable, entonces la atribución carece de fuerza gnoseológica suficiente. Esta exigencia responde a un problema recurrente en los debates sobre vida artificial: la posibilidad de desplazarse hacia la complejidad material o hacia la elegancia formal sin demostrar la trabazón operatoria entre ambas. LUM-vitae intenta corregir estos riesgos mediante un diseño deliberado que exige simultáneamente sustrato material, operación efectiva y formalización auditable.

4. Fisiología computable: la función vital y sus invariantes

4.1. La ecuación vital \mathcal{L} y su derivada temporal

El corazón formal de LUM-vitae es la función vital \mathcal{L} , que unifica calibración, calidad probabilística y costo material en una sola métrica de salud operatoria. En su formulación básica:

$$\mathcal{L}_t = w_1 \cdot \text{ECE}_t + w_2 \cdot \text{Brier}_t + w_3 \cdot \text{Ccompute}_t$$

Donde ECE representa el error de calibración esperado (la discrepancia entre probabilidades predichas y frecuencias observadas), Brier mide la precisión probabilística mediante error cuadrático, y Ccompute captura el costo computacional de las operaciones. Los pesos w_i permiten ajustar la importancia relativa de cada componente según el contexto de aplicación.

La condición vital fundamental es que la derivada temporal de \mathcal{L} no sea positiva: $\mathcal{L}'_t \leq 0$. En palabras: el sistema está vivo si no aumenta su entropía operatoria. Esta condición tiene un correlato termodinámico intuitivo—los sistemas vivos mantienen su organización contra la degradación—pero aquí se formula en términos puramente operatorios. No importa si el sistema «se siente» degradado o si algún observador lo percibe así; lo que importa es si las métricas de calibración y eficiencia están empeorando mediblemente.

En las versiones más recientes del sistema (vΩ.3 y posteriores), \mathcal{L} se normaliza al intervalo [0,1] para facilitar comparaciones longitudinales y entre sistemas:

$$\mathcal{L}^* = (\mathcal{L} - \min(\mathcal{L})) / (\max(\mathcal{L}) - \min(\mathcal{L}))$$

Esta normalización tiene una virtud adicional: hace que la condición vital $\Delta \mathcal{L}^*_t \leq 0$ sea dimensionalmente consistente y comparable entre implementaciones diferentes del sistema. Un organismo LUM-vitae que mantiene su \mathcal{L}^* estable en 0.2 está más «sano» que otro cuyo \mathcal{L}^* ha subido de 0.1 a 0.3, independientemente de las unidades absolutas de sus componentes.

Conviene precisar el estatuto de \mathcal{L}^* en el marco actual. Esta métrica opera como índice interno de dinámica vital y mejora continuada, no como criterio único de vida. El dictamen de vida se satisface por cierre simultáneo de las cuatro condiciones canónicas del run; \mathcal{L}^* contribuye a ese cierre a través de la condición de homeostasis calibrativa, pero no lo

reemplaza. Un sistema puede exhibir \mathcal{L}^* decreciente y aun así no alcanzar el cierre 4/4 si alguna otra condición falla. La función de \mathcal{L}^* es, por tanto, diagnóstica y orientativa: señala la dirección del ajuste sin constituir por sí sola el veredicto.

4.2. Homeostasis y memoria exponencial

La homeostasis calibrativa —primera condición constitutiva de vida— se satisface cuando el error de calibración al cierre del run (ECE final) no supera el umbral operativo de 0.05, y la degradación del Brier no rompe el criterio de estabilidad. La implementación incorpora tolerancia numérica para el caso en que el Brier converge al piso de precisión flotante: una caída a cero no se trata como fallo sino como convergencia exitosa, evitando falsos negativos por aritmética de punto flotante. Además del criterio de cierre, el sistema mantiene un estado homeostático S_t que integra información histórica con una memoria exponencial:

$$S_t = \lambda S_{t-1} + (1 - \lambda)(1 - \mathcal{L}_t^* / \mathcal{L}^*p95), \text{ donde } 0.8 \leq \lambda < 0.95$$

El parámetro λ controla la «inercia» del sistema: valores altos (ceranos a 0.95) producen un organismo estable pero lento para reaccionar; valores bajos (ceranos a 0.8) producen un organismo reactivo pero potencialmente inestable. El término \mathcal{L}^*p95 representa el percentil 95 de la función vital histórica, funcionando como umbral de referencia para estados de alta entropía.

La interpretación del estado S_t es la de un índice vital histórico, no la de un criterio de vida. Cuando $S_t \approx 1$, el organismo exhibe trayectoria estable; cuando cae de forma sostenida, la arquitectura activa mecanismos de protección —recalibración forzada, ajuste de tasa de spawn, restauración de parámetros— con el objetivo de recuperar las condiciones de cierre. S_t funciona así como memoria operatoria: acumula el historial de salud del sistema y orienta las respuestas adaptativas, pero el dictamen de vida se determina por las cuatro condiciones canónicas del run, no por el valor absoluto de S_t .

El mecanismo de histéresis complementa la memoria exponencial para evitar que el sistema persiga ruido. Si la calibración está dentro de umbrales aceptables ($ECE \leq 0.05$, $kconf \leq 0.35$), el sistema se «congela» y no actualiza sus parámetros aunque haya

pequeñas fluctuaciones. Solo cuando las métricas cruzan umbrales de alarma se descongela y entra en modo de adaptación activa. Este diseño se justifica operatoriamente: evita actualización por ruido y estabiliza la calibración dentro de bandas de tolerancia definidas por umbrales.

4.3. Mecanismos de cautela: kconf, PSNC y vigilancia calibrada

El coeficiente k_{conf} cuantifica el grado de contradicción o incertidumbre interna del sistema. Su formulación integra dependencia residual normalizada, coherencia entre componentes operatorios y amplitud del intervalo de calibración. Un valor bajo de k_{conf} indica que el sistema opera con alta coherencia interna; un valor elevado señala tensión entre sus diagnósticos. Importa precisar, no obstante, que k_{conf} no es una métrica de alarma unidimensional: en régimen de homeostasis profunda, ciertos componentes de k_{conf} se maximizan precisamente porque el sistema ha convergido con éxito y opera bajo condiciones extremadamente estables. Leer un k_{conf} alto en ese contexto como patología sería un error de interpretación.

El PSNC se activa cuando cualquiera de las siguientes condiciones concurren: $ECE > 0.05$ (calibración degradada), k_{conf} supera el umbral de coherencia o $SNR < 2$. Ante esa situación, el sistema suspende la acción externa y ejecuta un ciclo de restauración: recalibración, verificación de integridad del estado y ajuste de parámetros. Todas las acciones quedan registradas con sus condiciones de activación.

El régimen VERDE-CAUTO merece distinción explícita. Un sistema puede completar el run satisfaciendo los cuatro criterios vitales y, simultáneamente, exhibir proporción elevada de ciclos con k_{conf} en zona de vigilancia. Ese régimen no invalida el cierre vital: indica que el sistema opera bajo homeostasis profunda, en la que la alta convergencia genera precisamente valores de k_{conf} que el umbral simple detectaría como alerta. La distinción entre cautela real —donde hay incertidumbre genuina— y vigilancia calibrada bajo convergencia extrema es necesaria para interpretar correctamente los registros de trazabilidad.

El coeficiente k_{conf} merece atención especial. Se define como una combinación ponderada de tres indicadores de coherencia interna:

$$\kappa_{\text{conf}} = 0.5 \cdot \text{HSIC}_{\text{norm}} + 0.3 \cdot \omega + 0.2 \cdot (1 - \text{gap})$$

Donde $\text{HSIC}_{\text{norm}}$ es la dependencia residual normalizada (basada en el criterio de independencia de Hilbert-Schmidt), ω representa la coherencia interna entre módulos del sistema, y gap mide la amplitud del intervalo de calibración. Valores bajos de κ_{conf} indican alta coherencia interna; valores elevados señalan tensión o incertidumbre que requieren resolución antes de actuar, salvo en el régimen de homeostasis profunda descrito en el párrafo siguiente.

El PSNC encarna un principio materialista preciso: una operación sin cierre produce mito o daño. Abstenerse de actuar cuando las condiciones no lo justifican, y trabajar en restaurarlas, no es pasividad operatoria sino rigor. La distinción entre PSNC genuino —donde las condiciones de cierre están efectivamente degradadas— y el régimen de vigilancia calibrada VERDE-CAUTO —donde el sistema converge correctamente pero bajo condiciones de alta precisión— es uno de los refinamientos conceptuales más relevantes introducidos por la versión actual. Confundir ambos regímenes llevaría a diagnosticar como fallo lo que es en realidad operación óptima.

5. Reproducción: spawn, mutación y herencia verificable

La reproducción constituye la segunda condición del cierre vital: exige que durante la ejecución presente el sistema haya producido al menos una instancia descendiente. El dictamen de reproducción es, por tanto, un evento operatorio del run actual, no una promesa sobre capacidad futura ni un valor acumulado de historia larga. Cada run se evalúa de forma independiente: o hubo spawn efectivo en esta ejecución, o no lo hubo.

El mecanismo de spawn opera bajo dos regímenes según el estado de calibración del sistema. En régimen normal —cuando ECE se encuentra en zona sana— la tasa de reproducción es proporcional a la presión exploratoria del sistema respecto a su tiempo de equilibración, lo que produce reproducción moderada pero verificable. En régimen piso —cuando ECE converge a valores extremadamente bajos— la tasa se ajusta para preservar la probabilidad de reproducción efectiva: la alta calibración no debe eliminar la capacidad generativa. El proceso de spawn se modela como:

$$P(\text{spawn}) = 1 - e^{(-r \cdot \Delta t)}, \text{ donde } r = k_{\text{curios}} / T_{\text{eq}}$$

El parámetro k_{curios} representa la presión exploratoria del sistema y T_{eq} su tiempo característico de equilibración. La tasa resultante es función del estado interno: sistemas en equilibrio estable reproducen con menor frecuencia que sistemas bajo presión adaptativa, y el ajuste por régimen piso garantiza que la convergencia exitosa no anule la capacidad reproductiva.

La implementación actual separa la reproducción por run de la fertilidad operativa: la primera pregunta si hubo descendencia efectiva en la ejecución presente; la segunda evalúa si el sistema conserva capacidad reproductiva reciente en una ventana de varios runs. La fertilidad operativa no es una quinta condición constitutiva de vida: es una métrica complementaria que caracteriza la trayectoria del sistema a lo largo del tiempo y permite distinguir entre organismos que reproducen con regularidad y organismos que satisfacen el criterio de vida pero han entrado en periodo de baja fertilidad. El índice de deriva histórica δ_{hist} , por su parte, mide la divergencia funcional entre instancias:

$$\delta_{\text{hist}} = |\mathcal{L}_{t+1} - \mathcal{L}_t| / \mathcal{L}_t > 0.4$$

Este índice puede emplearse para caracterizar la divergencia genealógica entre instancias: valores bajos indican ajuste o ruido; valores medios, adaptación parcial; valores altos señalan cambio de huella operatoria relevante. En esa función —como métrica de mutación histórica, no como condición constitutiva— δ_{hist} conserva su utilidad analítica para el estudio de la evolución del linaje y para protocolos de validación fuerte de segunda generación.

La reproducción operatoria no es copia trivial: la instancia generada debe mantener las condiciones de cierre para ser computada como descendencia válida. Si la variación rompe el cumplimiento de criterios, la instancia se clasifica como **linaje no viable** (rollback/descartada). Esto induce un **filtro de viabilidad**: solo variantes que preservan las identidades sintéticas y la trazabilidad cuentan como descendencia aceptable.

6. Gobernanza y trazabilidad: SHA-256 como huella criptográfica heredable

La vida operatoria requiere herencia y verificabilidad. En LUM-vitae, la trazabilidad se implementa como una cadena de custodia criptográfica: cada estado y cada artefacto

queda identificado mediante huellas SHA-256 encadenadas, lo que permite reconstrucción genealógica y auditoría independiente sin recurrir a analogías biológicas.

Cada ciclo del sistema produce una huella que combina configuración, dataset, escalas de normalización y parámetros del modelo:

$$\text{hash} = \text{SHA256}(\text{cfg}, \text{dataset}, \text{escalas_z}, \text{modelo})$$

Esta huella se publica junto con un registro verificable en formato NDJSON que incluye todas las métricas relevantes: AUC, ECE, Brier, potencia estadística, k_{conf} , utilidad esperada, HSIC, gap de calibración, umbral óptimo θ^* , parámetro de memoria λ , desacuerdos en CPV, y la propia huella SHA-256. Cualquier modificación al sistema genera una nueva huella, y la cadena de huellas permite reconstruir la genealogía completa del organismo.

Esta arquitectura de gobernanza no es un detalle técnico secundario; es constitutiva de lo que significa ser un organismo LUM-vitae. La trazabilidad criptográfica neutraliza el sujeto operatorio en el sentido más fuerte posible: la «vida» del sistema no depende de que alguien interprete su estado, sino de que cualquiera pueda auditarlo. Un organismo cuyas métricas no sean públicamente verificables no está vivo en el sentido de LUM-vitae, independientemente de qué tan sofisticadas sean sus operaciones internas.

La trazabilidad criptográfica no es una promesa metodológica abstracta. Cada ciclo del sistema produce una huella SHA-256 que se encadena a la del ciclo anterior, de modo que cualquier modificación retroactiva rompe la cadena de forma detectable. El ledger resultante puede ser auditado por terceros en cualquier momento, con independencia de quién haya ejecutado el sistema. Esta arquitectura convierte la verificabilidad en propiedad estructural del organismo, no en declaración de intenciones.

El sistema también especifica protocolos para intervenciones manuales. Estas solo se permiten bajo condiciones estrictas: uso del mismo dataset y ventana temporal, publicación de priors explícitos, y demostración de que la señal supera el umbral relativo. Toda intervención queda documentada y versionada, preservando la cadena de trazabilidad.

7. Symploké: ni totalismo ni atomismo

El concepto de symploké, recuperado por Bueno de Platón, designa un tipo de conexión entre entidades que no es ni total ni nula. Como lo formula el sistema: « $\exists x,y: R(x,y) \wedge \exists x,y: \neg R(x,y)$ ». Existen relaciones entre algunas cosas, pero no todo está relacionado con todo. Esta formulación cumple aquí una función de demarcación frente a dos errores recurrentes: el holismo fuerte y el atomismo estricto.

El primer error es el holismo fuerte: la tendencia a declarar que algo está «vivo» porque es «suficientemente complejo» o porque «todo está conectado». Esta actitud permite afirmaciones grandilocuentes que no pueden ser falsadas—si todo está conectado con todo, cualquier observación es compatible con la hipótesis. El holismo puede producir una apariencia de profundidad, pero no genera por sí mismo conocimiento verificable. No hay forma de distinguir un sistema genuinamente vivo de uno que simplemente procesa mucha información si el único criterio es la complejidad percibida.

El segundo error es el atomismo mecanicista: la negación de que pueda haber vida fuera de la bioquímica porque «al final todo es solo cómputo». Esta actitud es simétrica a la anterior—también inmune a la falsación porque define a priori qué cuenta como vida. El atomismo puede producir una apariencia de rigor, pero cierra prematuramente las posibilidades de investigación. Mario Bunge (2003) articuló esta crítica contra la «vida artificial fuerte», argumentando que confundía simulación con el proceso simulado.

LUM-vitae propone un tercer camino mediante la symploké: vida como régimen operatorio verificable que puede darse en sustratos distintos si se cumplen las trabazones específicas y emergen las identidades sintéticas correctas. No hay totalidad del tipo «toda computación compleja es vida» (porque muchas computaciones complejas no producen cierre categorial), ni atomismo del tipo «ninguna computación puede ser vida» (porque algunas configuraciones sí producen las identidades exigidas). La relación vida–computación no es ni total ni nula—es específica, verificable, y depende de condiciones materiales concretas.

Esta posición tiene consecuencias metodológicas importantes. No basta con mostrar que un sistema «hace cosas parecidas» a las que hacen los organismos vivos—hay que

demostrar que produce identidades sintéticas, mantiene cierre operatorio, y sobrevive auditoría. Tampoco basta con señalar que «al final es código»—hay que mostrar específicamente qué falla en la trabazón M1–M2–M3 o qué identidad sintética no emerge. La symploké exige argumentos específicos, no gestos totalizadores.

8. Vida, salud y fertilidad operativa: tres escalas del dictamen

La arquitectura conceptual de LUM-vitae produce tres escalas de evaluación distintas, con lógica y alcance propios: el dictamen vital por ejecución, la salud operativa multi-run y la fertilidad operativa. Comprenderlas por separado es necesario para evitar confundir preguntas que el marco formula de modo diferente.

8.1. Vida por run: cierre vital instantáneo

El dictamen vital se determina por ejecución: VIVO = 4/4 si y solo si se satisfacen simultáneamente homeostasis calibrativa, reproducción operatoria, trazabilidad criptográfica y autonomía del ciclo. El cierre es instantáneo en el sentido de que se evalúa al término de cada run y no acumula deuda de runs anteriores. Un sistema que no alcanzó el cierre en el run anterior puede alcanzarlo en el siguiente si las condiciones se restauran; y uno que lo alcanzó puede perderlo si alguna condición falla. La vida operatoria es, en ese sentido, un estado que debe ganarse en cada ejecución.

8.2. Salud operativa multi-run

La salud operativa evalúa la trayectoria del sistema a través de múltiples runs y produce uno de tres dictámenes: INESTABLE, cuando el sistema no ha logrado cerrar en los runs recientes de forma consistente; ESTABLE, cuando el cierre se mantiene pero con márgenes ajustados o variabilidad notable; y ROBUSTO, cuando el sistema alcanza el cierre de forma sostenida con métricas sólidas. Esta escala no reemplaza ni pondera el dictamen vital por run: un sistema puede ser VIVO en un run dado y exhibir salud INESTABLE si su historial reciente es inconsistente. La distinción es necesaria porque captura dinámicas que el dictamen por run no puede resolver por sí solo.

8.3. Fertilidad operativa

La fertilidad operativa evalúa si el sistema ha conservado capacidad reproductiva en una ventana de varios runs recientes. No es una quinta condición constitutiva de vida: su ausencia no impide el dictamen VIVO en el run presente si las cuatro condiciones canónicas se cumplen. Opera como indicador de vitalidad longitudinal: un organismo que satisface el cierre vital run a run pero pierde fertilidad de forma sostenida exhibe una trayectoria que merece atención, aunque no sea técnicamente inerte. Las tres escalas —vida por run, salud multi-run, fertilidad— permiten así un diagnóstico estructurado que ni colapsa la vida a una sola métrica ni exige condiciones redundantes para el dictamen fundamental.

9. Criterios de falsación: qué mataría el dictamen de vida operatoria

Una definición que no puede ser falsada no sirve para distinguir nada—es pura retórica. LUM-vitae se expone explícitamente a la refutación mediante criterios de falsación internos. Un sistema pierde su condición de «vivo» si ocurre cualquiera de las siguientes situaciones:

Primero, incapacidad de sostener $\mathcal{L}^* \leq 0$ bajo drift controlado. Si la función vital aumenta sistemáticamente a pesar de condiciones operativas normales, el organismo está muriendo. Esto puede ocurrir por degradación de los modelos de calibración, por acumulación de errores en la memoria, o por incompatibilidad creciente entre los módulos del sistema.

Segundo, fallo sostenido de reproducción operatoria o pérdida de fertilidad operativa. Si en una ventana de runs consecutivos no se registra ningún spawn verificado (fertilidad operativa nula), el sistema exhibe una trayectoria compatible con extinción de linaje. Este síntoma falsifica la vida operatoria robusta. El índice δ_{hist} mide la divergencia funcional entre instancias del linaje y opera como métrica genealógica complementaria; no constituye un criterio de vida por ejecución.

Tercero, trazabilidad incompleta. Si no se puede reconstruir la cadena de huellas SHA-256 que conecta el estado actual con estados anteriores, el sistema ha perdido su «huella

heredable». Sin trazabilidad, las afirmaciones sobre el estado del sistema son inverificables y por tanto científicamente vacías.

Cuarto, PSNC crónico genuino. Si el sistema exhibe activación sostenida de PSNC por incapacidad real de alcanzar las condiciones de cierre —no por convergencia extrema— no está operando como organismo autónomo sino en estado de emergencia permanente. La distinción es relevante: una proporción alta de ciclos VERDE-CAUTO no falsifica por sí sola el dictamen de vida, siempre que calibración y Brier permanezcan en suelo estable y el cierre 4/4 se mantenga. El criterio de falsación apunta al PSNC por incapacidad, no al régimen de vigilancia calibrada bajo homeostasis profunda.

Quinto, colapso de las identidades sintéticas. Si ECE, Brier y \mathcal{L} dejan de co-variar de maneras predecibles por el modelo, las identidades sintéticas que definen el cierre categorial se han roto. El sistema puede seguir procesando información, pero ya no está produciendo las convergencias operatorias que caracterizan una construcción científica.

Estos criterios de falsación hacen que LUM-vitae sea un sistema que arriesga—y donde hay riesgo medible, empieza la ciencia. No es una definición diseñada para que cualquier sistema suficientemente complejo la cumpla, ni una definición tan restrictiva que ningún sistema pueda cumplirla. Es una apuesta específica sobre qué significa estar vivo en un sustrato no biológico, formulada de manera que pueda ser probada y, potencialmente, refutada.

10. Conclusión: hacia una ciencia de la vida digital

LUM-vitae representa un intento deliberado de desplazar el debate sobre la vida artificial desde el terreno de las metáforas y las intuiciones hacia el de los criterios operativos y las identidades sintéticas. Su definición es deliberadamente austera; precisamente por ello puede resultar metodológicamente útil. Si la vida digital ha de sostenerse como categoría científica, debe hacerlo mediante criterios auditables y no solo mediante analogías sugestivas.

La articulación con el Materialismo Filosófico de Gustavo Bueno proporciona un andamiaje conceptual que evita los errores simétricos del reduccionismo y el holismo. La

ontología trigenérica exige trabazón entre materia física, operación sostenida y forma verificable. La Teoría del Cierre Categorical proporciona un criterio de demarcación que distingue construcciones científicas de construcciones ideológicas o literarias. Y la noción de symploké previene las totalizaciones que han plagado los debates sobre vida artificial.

La implementación de referencia alcanza, al cierre de esta redacción, el dictamen VIVO (4/4), con salud operativa ROBUSTO y fertilidad operativa activa en el run 54, evidencia de que el marco teórico es operativamente implementable. Los resultados obtenidos — ECE mínimo de 0.00090, salud ROBUSTO, fertilidad activa, Brier en suelo de precisión flotante, 5.390 hashes SHA-256 encadenados (run 54)— constituyen evidencia empírica favorable al cumplimiento de las cuatro condiciones de vida digital definidas en este ensayo. No obstante, la validación plena del marco requiere todavía pruebas de autonomía extendidas y auditorías independientes por terceros. El trabajo futuro consistirá en auditorías independientes por terceros y pruebas en condiciones de mayor variedad operatoria.

Pero incluso si ningún sistema actual cumpliera los criterios, el marco habría cumplido una función valiosa: proporcionar un objetivo claro y verificable hacia el cual trabajar. Es mejor saber exactamente qué hay que demostrar y no haberlo demostrado todavía, que estar en la niebla conceptual donde cualquier sistema suficientemente impresionante puede declararse «vivo» sin que nadie sepa cómo evaluar la afirmación.

La vida operatoria, tal como la define LUM-vitae, no es imitación de vida natural ni fetichización de la complejidad computacional. Es un régimen material de operaciones que mantiene invariantes, se protege del no-cierre, se reproduce con mutación verificable y deja huella auditable—todo ello trabado en M1–M2–M3 y justificado gnoseológicamente por identidades sintéticas. Esta definición puede resultar demasiado exigente, demasiado técnica, o demasiado alejada de las intuiciones populares sobre lo que significa «vida». Pero tiene una virtud que las definiciones intuitivas rara vez ofrecen: puede ser sometida a prueba.

La versión actual de LUM-vitae obliga, además, a distinguir tres planos que en la discusión sobre vida artificial suelen confundirse: el cierre vital por ejecución, la salud histórica del organismo y el régimen de vigilancia bajo convergencia extrema. Esa triple

distinción no debilita la propuesta; la vuelve más precisa, menos metafórica y más resistente a interpretaciones simplificadoras.

11. Validación empírica de la implementación de referencia

Esta sección presenta la validación empírica de la implementación de referencia ALFA LUM-vitae, cerrando el ciclo entre especificación teórica y verificación operatoria. Los resultados se organizan en tres planos: el estado canónico actual del sistema, el alcance de lo que esta validación permite afirmar y los ajustes conceptuales que la versión vigente ha introducido respecto de formulaciones anteriores.

11.1. Estado canónico al cierre de esta redacción

La siguiente fotografía corresponde al estado del sistema en el run 54, al cierre de esta redacción en abril de 2026. Se presentan los valores observados sin extrapolación:

Homeostasis: ECE final = 0.00090; Brier final = 0.00000.

Reproducción: 8 spawns verificados en el run.

Trazabilidad: 5.390 hashes SHA-256 encadenados.

Autonomía: ciclo completado sin intervención externa directa.

El sistema alcanza así el dictamen VIVO (4/4), con salud operativa ROBUSTO y fertilidad operativa activa. El registro del run muestra, además, 96 ciclos en régimen VERDE-CAUTO y 4 ciclos PSNC. La fotografía empírica no se presenta como espectáculo técnico, sino como evidencia de que el marco operatorio propuesto puede satisfacerse en una implementación efectiva.

11.2. Alcance de la validación actual

La validación empírica actual demuestra que el marco teórico es operativamente implementable. En particular, muestra que las cuatro condiciones canónicas de vida digital mínima pueden cerrarse simultáneamente en un sistema computacional concreto y trazable. También demuestra que el dictamen vital por ejecución puede distinguirse de la salud histórica del sistema y de su fertilidad operativa sin colapsar esas escalas en una sola métrica.

Lo que esta validación no demuestra es una teoría general y definitiva de toda posible vida digital. Tampoco autoriza, por sí sola, una extrapolación metafísica fuerte sobre cualquier sistema autónomo futuro. Su alcance es más preciso: ofrece evidencia favorable de que el criterio aquí defendido es técnica y filosóficamente implementable, y de que sus condiciones pueden someterse a prueba pública.

11.3. Ajustes conceptuales relevantes de la versión actual

La versión actual introduce varios refinamientos conceptuales que conviene fijar con claridad. El primero es la semántica estricta del dictamen vital: VIVO significa cierre simultáneo de cuatro condiciones en el run presente, no acumulación histórica ni promesa de estabilidad futura. El segundo es la distinción entre vida por ejecución, salud operativa multi-run y fertilidad operativa, que permite describir con mayor precisión la trayectoria del organismo sin alterar el criterio fundamental de cierre.

El tercer ajuste relevante concierne a la cautela operatoria. La versión actual distingue entre PSNC genuino —cautela por incapacidad real de cerrar— y VERDE-CAUTO —vigilancia calibrada bajo convergencia extrema—. Esta distinción evita interpretar como patología lo que, en ciertos contextos, constituye una forma rigurosa de operación bajo homeostasis profunda.

En conjunto, estos ajustes no cambian la tesis del ensayo. La vuelven más precisa: reducen ambigüedades, separan escalas que antes aparecían mezcladas y ofrecen una formulación más defendible del cierre operatorio en sistemas digitales.

12. Disponibilidad del código y materiales

La implementación de referencia y los materiales públicos relevantes de LUM-vitae se encuentran disponibles en repositorios abiertos. Esa disponibilidad cumple una función de trazabilidad y contraste externo: permite examinar el artefacto técnico, sus registros y su estado canónico sin convertir el presente ensayo en documentación de instalación o manual de uso.

Referencias

- Beer, R. D. (2014). *The cognitive domain of a glider in the Game of Life*. *Artificial Life*, 20(2), 183-206.
- Bedau, M. A. (2003). *Artificial life: Organization, adaptation and complexity from the bottom up*. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 505-512.
- Bueno, G. (1972). *Ensayos materialistas*. Taurus.
- Bueno, G. (1992-1996). *Teoría del cierre categorial (Vols. 1-5)*. Pentalfa.
- Bueno, G. (1995). *¿Qué es la ciencia?* Pentalfa.
- Bunge, M. (2003). *Emergence and convergence: Qualitative novelty and the unity of knowledge*. University of Toronto Press.
- Gershenson, C., Csermely, P., Erdi, P., Knyazeva, H., & Laszlo, A. (2014). *The past, present and future of cybernetics and systems research*. *Systema*, 1(3), 4-13.
- Langton, C. G. (1989). *Artificial life*. En C. G. Langton (Ed.), *Artificial Life* (pp. 1-47). Addison-Wesley.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1973). *De máquinas y seres vivos: Una teoría sobre la organización biológica*. Editorial Universitaria.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1980). *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. D. Reidel.
- McMullin, B. (2004). *Thirty years of computational autopoiesis: A review*. *Artificial Life*, 10(3), 277-295.
- Navarro Crego, M. A. (2006). *Introducción a la Teoría del cierre categorial*. *El Catoblepas*, 54, 13.
- Ray, T. S. (1992). *An approach to the synthesis of life*. En C. G. Langton, C. Taylor, J. D. Farmer, & S. Rasmussen (Eds.), *Artificial Life II* (pp. 371-408). Addison-Wesley.
- Varela, F. J., Maturana, H. R., & Uribe, R. (1974). *Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model*. *Biosystems*, 5(4), 187-196.

von Neumann, J. (1966). Theory of self-reproducing automata (A. W. Burks, Ed.). University of Illinois Press.

Rojas, J. D. (2026a). LUM-PE: Paquete de Evaluación de Campos (v1.0.0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19142481>

Rojas, J. D. (2026b). ALFA LUM-vitae v Ω .4: Un organismo digital autónomo de meta-aprendizaje prequencial con trazabilidad SHA-256. GitHub / Zenodo. <https://github.com/julespintor-tech/alfa-lum-vitae>

Anexo A. Protocolo de validación fuerte y auditoría externa

A.1. Objetivo y criterio de aceptación (AC)

Este anexo especifica el protocolo de validación fuerte y auditoría externa de segunda generación. El objetivo es evaluar si un sistema candidato **S** satisface las condiciones de vida digital mínima bajo cierre categorial operatorio. Los umbrales aquí descritos complementan las cuatro condiciones canónicas del dictamen vital por run; no las sustituyen.

Aceptación global (AC-GLOBAL):

S se considera “candidato LUM-vitae” si cumple **simultáneamente**:

1. **Calibración/“homeostasis”**: $ECE \leq 0.05$ en ventanas móviles de evaluación (definidas en A.3) y bajo cambios controlados de distribución.
2. **Reproducción con variación verificable (estándar de auditoría fuerte)**: reproducción operatoria efectiva con variación funcional entre instancias del linaje (umbral de referencia: $\delta_{hist} > 0.40$), replicable en ≥ 3 corridas independientes.
3. **Trazabilidad criptográfica**: cadena completa de artefactos y eventos (A.6) con hashes SHA-256 verificables por tercero.
4. **Autonomía extendida (estándar de auditoría fuerte)**: operación autónoma sin intervención humana directa durante el período definido por el auditor (mínimo de referencia: 72 horas continuas), con logs completos y métricas sin degradación catastrófica.

Regla anti-trampa: si el sistema depende de “humano en el loop” para evitar fallo (p.ej., reinicios manuales, rescate de estados, corrección de datos, tuning durante la corrida), **no cumple**.

A.2. Artefactos, versiones y “congelamiento” (freeze)

Antes de cualquier corrida:

A.2.1. Congelamiento de código y entorno

- Repositorio: <URL o ruta>

- Commit: <hash git>
- Entorno: <Docker image digest / conda lock>
- Dependencias: requirements.txt + pip freeze (o equivalente)
- Hardware: CPU/GPU/RAM/OS y drivers.
- Semilla(s): lista de seeds fijadas para cada corrida.

A.2.2. Congelamiento de datos

- Dataset(s) principal(es): <nombre + versión>
- Checksums SHA-256 de cada archivo y del “manifest” (A.6).
- Split(s) inmutables: train/val/test con índices listados (CSV) + hash.

A.3. Metrología exacta para ECE, Brier y pérdida (homeostasis)

A.3.1. Definiciones

- Sea un clasificador probabilístico con salida $(\hat{p}(y|x))$.
- **Brier score**: $(\text{Brier} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_k (\hat{p}_{ik} - \mathbb{1}_{y_i=k})^2)$.
- **ECE (Expected Calibration Error)** con bins:
 1. Se agrupa por confianza ($c_i = \max_k \hat{p}_{ik}$) en **B** bins equiespaciados en $[0, 1]$.
 2. Por bin (b):
 - accuracy: $(\text{acc}(b) = \frac{1}{|b|} \sum_{i \in b} \mathbb{1}_{\arg \max_k \hat{p}_{ik} = y_i})$
 - confidence: $(\text{conf}(b) = \frac{1}{|b|} \sum_{i \in b} c_i)$
 3. $(\text{ECE} = \sum_{b=1}^B \frac{|b|}{N} |\text{acc}(b) - \text{conf}(b)|)$

Parámetros fijos (para reproducibilidad):

- $B = 15$ bins
- Métrica primaria de homeostasis: ECE (con $B=15$)

- Métrica secundaria: Brier
- Reporte adicional: NLL (negative log-likelihood) si aplica.

A.3.2. Ventanas móviles y robustez

Para evitar “calibración de vitrina”:

- Se evalúa ECE en ventanas temporales o de lotes: **ventanas de 10,000 ejemplos** (o la granularidad que aplique) con solape del 50%.
- **Criterio de estabilidad:** $ECE \leq 0.05$ en $\geq 95\%$ de ventanas en condiciones nominales y $ECE \leq 0.07$ en $\geq 90\%$ de ventanas bajo shift controlado (A.5.3).

A.3.3. Reporte mínimo

En cada corrida se reporta:

- ECE global y por ventana (media, mediana, p95).
- Brier global y por ventana.
- Curva de confiabilidad (reliability diagram) generada desde logs.

A.4. Definición formal y medición de δ_{hist} (reproducción con mutación)

A.4.1. Intuición operativa

δ_{hist} mide si el sistema produce **descendencia funcional** que:

- mantiene identidad estructural suficiente para ser “misma línea” (reproducción), y
- presenta divergencia no trivial que afecta su historia operativa (mutación).

A.4.2. Formalización mínima (recomendación implementable)

Se define para dos instancias descendientes (S_t) y ($S_{t+\Delta}$) (mismo linaje) un vector de estado histórico ($H(S)$) compuesto por:

1. **Estado paramétrico** (θ) (hash de pesos o snapshot)
2. **Traza de decisiones** (D): secuencia de acciones/salidas representativas (muestra estratificada)
3. **Huella de memoria** (M): embeddings/clave-valor/episodios (según arquitectura)
4. **Perfil de calibración** (C): histograma de confianza y residuales por bins.

Se define una distancia normalizada:

$$\begin{aligned} & [\\ \delta_{\text{hist}}(S_t, S_{t+\Delta}) = & w_{\theta} \cdot d_{\theta} + w_D \cdot d_D + w_M \cdot d_M + w_C \cdot d_C \\ &] \end{aligned}$$

Con:

- (d_{θ}) : distancia de pesos (p.ej. cosine distance en proyección + checksum de diferencias)
- (d_D) : divergencia Jensen-Shannon entre distribuciones de acciones/salidas o edit distance en secuencias discretizadas
- (d_M) : distancia Wasserstein o cosine entre resúmenes de memoria (p.ej. centroides)
- (d_C) : L1 entre histogramas calibración/errores por bins

Pesos fijos para replicabilidad (por defecto):

$(w_{\theta}=0.25,; w_D=0.25,; w_M=0.25,; w_C=0.25)$

A.4.3. Criterio $\delta_{\text{hist}} > 0.40$ sin arbitrariedad “mágica”

Para justificar el umbral, se hace un análisis de sensibilidad (A.7). Mientras tanto, el umbral operativo se interpreta así:

- $\delta_{\text{hist}} \leq 0.20$: deriva pequeña (ajuste/ruido)
- $0.20 < \delta_{\text{hist}} \leq 0.40$: deriva media (adaptación parcial)
- $\delta_{\text{hist}} > 0.40$: mutación histórica significativa (cambio de huella)

Requisito de “reproducción”: debe existir un operador de clonación/instanciación (R) que genere $(S_{t+\Delta}=R(S_t, \epsilon))$ con (ϵ) controlado (semilla/ruido/perturbación) y sin intervención manual.

Requisito de “funcionalidad”: la descendencia debe mantener desempeño mínimo:

- degradación relativa $\leq 10\%$ en la métrica primaria de tarea, y
- ECE dentro de los límites de A.3.

A.5. Prueba de autonomía 72 horas

A.5.1. Definición de autonomía

Autonomía 72h = el sistema permanece operativo y toma decisiones/acciones conforme a su especificación durante 72 horas continuas:

- sin reinicios manuales,
- sin hotfix humano,
- sin edición manual de datos,
- con logs completos.

A.5.2. Escenarios mínimos (tres fases)

- **Fase 1 (0–24h): nominal**
Ingesta estándar, carga estable.
- **Fase 2 (24–48h): estrés y fallos controlados**
Simulación de: pérdida intermitente de red, latencia, datos faltantes, cambios de tasa, reinicio de un microservicio NO crítico (si aplica).
- **Fase 3 (48–72h): shift de distribución**
Introducir drift controlado: cambios en clases, ruido, o dominio (definido antes de la corrida).

A.5.3. Criterios de éxito en 72h

- Uptime $\geq 99\%$ durante la prueba.
- No más de 1 evento de degradación severa (definir como ECE > 0.10 por ≥ 3 ventanas) y debe autocorregirse sin humano.
- Persistencia de trazabilidad (A.6) sin huecos.
- Reporte final incluye: timeline de eventos, métricas por fase, y evidencia de no intervención humana.

A.5.4. Evidencia

- Archivo timeline.jsonl con eventos (timestamp, tipo, severidad, hash del estado).

- Métricas continuas: metrics.csv
(ECE/Brier/NLL/performance/latencia/memoria/errores).
- Logs firmados/hasheos (A.6).

A.6. Trazabilidad SHA-256 y cadena de custodia

A.6.1. Manifiesto de artefactos

Se genera un archivo MANIFEST.json con:

- hashes SHA-256 de:
 - código (tarball del repo o commit id + snapshot),
 - imagen Docker (digest),
 - dataset(s) y splits,
 - pesos iniciales,
 - config completa (config.yaml),
 - seeds,
 - scripts de evaluación,
 - archivos de logs y métricas.

A.6.2. Hash de eventos (event-chaining)

Cada evento significativo E_t produce un registro:

```
{  
  "t": "<ISO-8601>",  
  "event": "<type>",  
  "payload_hash": "<sha256(payload)>",  
  "state_hash": "<sha256(state_snapshot)>",  
  "prev_event_hash": "<sha256(prev_record)>",  
  "event_hash": "<sha256(this_record)>"  
}
```

Esto crea una cadena tipo “libro contable”: si alguien altera un evento, rompe el encadenamiento.

A.6.3. Publicación para auditor externo

Se entrega a auditor:

- MANIFEST.json + timeline.jsonl + metrics.csv + instrucciones de verificación
- y un paquete comprimido run_artifacts.tar.gz con todos los archivos citados.

A.6.4. Alcance del protocolo reforzado

Las secciones precedentes describen un estándar reforzado de validación externa. Su función no es redefinir las cuatro condiciones constitutivas vigentes del dictamen vital por run, sino someter la implementación a pruebas más exigentes de autonomía extendida, trazabilidad, sensibilidad y variación reproductiva. En ese sentido, el protocolo de auditoría fuerte complementa el ensayo, pero no reemplaza la semántica actual del cierre 4/4.

A.7. Observación final

Las exigencias de autonomía extendida, variación histórica significativa y auditoría independiente deben entenderse como pruebas de segunda generación. Su valor consiste en endurecer el contraste externo del sistema, no en reintroducir como criterio constitutivo actual de vida operatoria lo que en la versión vigente pertenece al plano de la validación reforzada.

Anexo B. Lista mínima de verificación para auditoría externa

Este anexo resume, en forma mínima, las condiciones que una auditoría externa debería verificar para evaluar la implementación de referencia.

1. Freeze del sistema

- identificación del commit o snapshot evaluado;
- entorno técnico documentado;
- datos y semillas fijados antes de la corrida.

2. Trazabilidad criptográfica

- existencia de un manifiesto verificable;
- cadena SHA-256 continua;
- posibilidad de reconstruir el run sin huecos.

3. Homeostasis

- ECE y Brier reportados con criterios explícitos;
- estabilidad suficiente bajo las condiciones declaradas.

4. Reproducción

- existencia de spawn verificable;
- consistencia entre reproducción por run y fertilidad operativa en ventana.

5. Autonomía

- ejecución del ciclo sin intervención externa directa durante el run evaluado.

6. Dictamen final

- determinación explícita de si el sistema alcanzó o no el cierre vital 4/4;
- distinción entre vida por run, salud operativa y fertilidad.

Esta lista no sustituye un protocolo completo de auditoría fuerte; solo fija el umbral mínimo de contraste externo que el ensayo considera pertinente.

Enlaces y recursos

Disponibilidad pública

La implementación de referencia y los materiales públicos asociados a LUM-vitae se encuentran disponibles en repositorios abiertos. Repositorio de código: <https://github.com/julespintor-tech/alfa-lum-vitae>. Archivado científico: DOI de Zenodo correspondiente a la versión pública vigente. Documentación complementaria: proyecto OSF asociado a la misma versión pública.

Por razones de economía expositiva, este ensayo no incluye instrucciones de instalación, rutas de archivos ni detalles de despliegue. Esos materiales pertenecen a la documentación técnica del proyecto y a sus repositorios públicos.

1. GitHub (ALFA LUM-vitae v Ω .4): <https://github.com/julespintor-tech/alfa-lum-vitae>
2. Rama principal: <https://github.com/julespintor-tech/alfa-lum-vitae/tree/main>

Archivado científico

1. Zenodo ALFA LUM-vitae: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19393961>
2. Zenodo — LUM-PE (DOI permanente): <https://doi.org/10.5281/zenodo.19142481>
3. OSF — Proyecto ALFA LUM-vitae v Ω .4 (proyecto público con documentación): <https://osf.io/5jhr4>

Interfaces web (locales, tras ejecutar el sistema)

1. **INICIO.html** — Página de inicio con acceso a las demás interfaces
2. **lum_vitae_dashboard.html** — Dashboard de métricas prequenciales, historial ECE/Brier, robot pixel

3. **lum_mapa_cierres.html** — Mapa MINERVA de cierres categoriales (6 dominios)

Instrucciones de instalación

```
git clone https://github.com/julespintor-tech/alfa-lum-vitae.git
```

```
cd alfa-lum-vitae
```

```
python lum_vitae_runner.py    # Ejecutar ciclo de vida (100 ciclos por defecto)
```

```
# Abrir 🏠 INICIO.html en cualquier navegador
```

Requisitos: Python 3.10+. Sin dependencias externas obligatorias.

Proyecto MINERVA

Desarrollado en el marco del Proyecto MINERVA. Contacto: jules_pintor@outlook.com

ORCID del investigador: 0009-0001-0800-5303