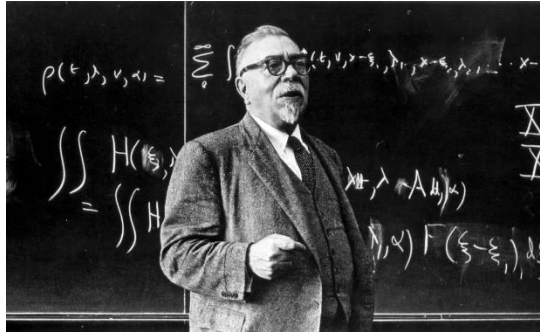


De Shannon a Bueno: genealogía sistémica de la información, la computación y la cibernética

Ensayo Académico



Atelier Vélazquez

Julio David Rojas Aguayo
Ciudad de México
Diciembre 2025

Resumen

Este ensayo reconstruye la genealogía sistémica de la computación, la teoría de la información, la cibernética y el aprendizaje automático desde el Materialismo Filosófico de Gustavo Bueno. La tesis central sostiene que esa genealogía constituye la consolidación de cierres operatorios categoriales sostenidos por los tres géneros de materialidad —M1, M2, M3—, no una sucesión de genios individuales. El análisis desmonta tres mitos tecnológicos persistentes: la información como sustancia universal, la IA como mente emergente y Naturaleza/Cultura como totalidades ontológicas. Mediante la formalización de identidades sintéticas, protocolos operatorios y un modelo de saturación por punto fijo, se muestra que la cientificidad emerge de la conjunción entre materia operatoria, sujetos y formas simbólicas. El trabajo integra autores canónicos —Church, Turing, Gödel, Shannon, Wiener, Ashby, McCulloch, Rumelhart, LeCun— reinterpretándolos bajo el prisma de la teoría del cierre categorial. Se argumenta además que el 'subterráneo' material de la IA —datasets, GPUs, protocolos de anotación— no es nota al pie sino condición constitutiva del cierre. Se anticipan y responden tres objeciones metodológicas serias.

Palabras clave: Materialismo Filosófico, cierre categorial, teoría de la información, cibernética, inteligencia artificial, identidades sintéticas, symploké

1. Introducción

Hay una confusión que recorre, silenciosa, el discurso tecnológico contemporáneo: la tendencia a convertir herramientas en metafísica. Se dice que 'todo es información', que la inteligencia artificial 'piensa', que Internet ha creado una 'cultura global'. Estas frases pasan por obviedades —incluso por argumentos— pero funcionan, en realidad, como mitos ontológicos: proyectan totalidades ficticias sobre operaciones técnicas perfectamente delimitadas. El problema no es retórico; tiene consecuencias prácticas. Una ingeniería de sistemas construida sobre estas confusiones atribuye propiedades que los sistemas no tienen, oscurece las condiciones materiales de su funcionamiento y deja sin diagnóstico los fallos que se derivan de esa misma confusión.

La pregunta guía de este ensayo puede formularse así: ¿qué categorías analíticas permiten separar la dimensión científica de la dimensión mítica en la genealogía computación–información–cibernética–IA, y qué estructura material sostiene esa dimensión científica?

La tesis central responde con tres afirmaciones articuladas. Primera: esa genealogía constituye la consolidación de cierres operatorios categoriales sostenidos por los tres géneros de materialidad —M1 corpóreo-físico, M2 antropológico-operatorio, M3 simbólico-formal— que describe el Materialismo Filosófico de Gustavo Bueno. Segunda: los mitos tecnológicos identificados son hipostatizaciones que confunden el alcance de un cierre categorial particular con propiedades ontológicas universales. Tercera: el 'subterráneo' del cierre —datasets anotados, hardware especializado, protocolos de validación, instituciones de estandarización— no es infraestructura accesoria sino condición constitutiva de la cientificidad.

El ensayo avanza del siguiente modo. Tras delimitar el problema y el corpus (§2), se establece el marco conceptual del Materialismo Filosófico con especial atención a la ontología trigenérica y el principio de symploké (§3). Las reglas de prueba y la metodología se hacen explícitas antes del desarrollo argumentativo (§§4–5), para que el lector pueda auditar los pasos. El desarrollo propiamente dicho avanza en cuatro argumentos: lógica computacional y límites (§6.1), teoría de la información de Shannon (§6.2), cibernética como cierre trigenérico (§6.3), y genealogía del

aprendizaje automático con énfasis en su subterráneo material (§6.4). La formalización computable del cierre se presenta en §7; las redes e infraestructura, en §8. El aparato crítico (§9) responde objeciones serias antes de las conclusiones.

2. Planteamiento del problema y delimitación

El problema central no es histórico sino gnoseológico: ¿bajo qué condiciones materiales y operatorias se produce conocimiento científico en dominios técnicos intensivos en formalismo? La historia canónica responde con relatos de genios — Turing inventó la computación, Shannon descubrió la información, LeCun creó la visión por computadora— que funcionan como narrativas de origen más que como genealogías rigurosas. Esta respuesta resulta insuficiente porque suprime las mediaciones materiales, institucionales y operatorias que hacen posibles esos cierres.

La delimitación cronológica abarca el período 1931–1998: desde los teoremas de Gödel hasta las CNN de LeCun. Quedan deliberadamente fuera los desarrollos posteriores a 1998 —transformers, large language models— porque esos campos aún no han estabilizado cierres categoriales comparables y su inclusión desborda el espacio de análisis riguroso posible aquí. Sin embargo, se introducirán dos excursus puntuales post-1998 (marcados explícitamente como tales) con función meramente heurística: no amplían el corpus ni la tesis histórica, sino que hacen visible —por contraste— el papel del “subterráneo” material (datasets, hardware, protocolos) cuando este ya no puede ocultarse bajo la retórica de “solo matemática”.

2.1 Materiales del campo y sympleké mínima

El campo de análisis incluye cuatro subcampos con cierres parcialmente independientes: lógica y computabilidad, teoría matemática de la comunicación, cibernética y control, aprendizaje automático. Cada uno tiene sus propios términos, operaciones e identidades sintéticas. La sympleké mínima exige reconocer conexiones reales entre ellos —la backpropagation es un caso de retroalimentación cibernética aplicada a redes neuronales— sin disolver sus diferencias categoriales bajo una narrativa unificadora.

Contra el monismo informacional que lo subsume todo bajo el concepto de Shannon, y contra el atomismo que trata cada campo como isla autónoma, este

ensayo adopta la posición materialista de conexión parcial: hay mediaciones verificables entre los campos, pero no hay reducción de uno a otro.

2.2 Polos temáticos y mediaciones

Los polos temáticos del ensayo se organizan así. Polo A (formal-abstracto): λ -cálculo, entropía de Shannon, ecuaciones de control, gradiente. Polo W (material-físico): cables de cobre, circuitos integrados, GPUs, centros de datos. Polo R (operatorio-institucional): protocolos Bell Labs, IETF, benchmarks ImageNet, peer review. Polo T (simbólico-lingüístico): papers canónicos, especificaciones RFC, manuales de arquitectura. Las mediaciones entre estos polos son el objeto de análisis: cómo un formalismo requiere soporte físico, cómo una institución estabiliza protocolos simbólicos, y cómo la cientificidad emerge cuando los cuatro polos se articulan en un cierre.

2.3 Corpus primario y secundario

Corpus primario (textos fundacionales analizados directamente): Church (1936), Turing (1936), Gödel (1931), Shannon (1948), Wiener (1948), Ashby (1956), McCulloch y Pitts (1943), Rosenblatt (1958), Rumelhart et al. (1986), LeCun et al. (1998), Cerf y Kahn (1974).

Corpus secundario (marco filosófico): Bueno (1992) para la teoría del cierre categorial; Bueno (1996) para el concepto de mito tecnológico. Lo que queda fuera — filosofía analítica de la mente, historia social de la tecnología, economía política de plataformas digitales más allá de §6.4, desarrollos post-1998— son exclusiones deliberadas, no déficits del análisis.

3. Marco conceptual y estado de la cuestión

3.1 Qué es el Materialismo Filosófico

El Materialismo Filosófico de Gustavo Bueno opera como filosofía de segundo grado: no produce conocimiento científico positivo, sino que reflexiona críticamente sobre las ciencias ya constituidas (Bueno, 1992). En este marco, una ciencia no se define por “hablar de realidad”, sino por **cerrar operatoriamente** un campo: producir identidades sintéticas mediante operaciones y protocolos internos, de modo que el campo adquiera autonomía relativa frente a psicologismos y metafísicas. La distinción

respecto a otros materialismos es precisa. El materialismo dialéctico de cuño soviético tiende a un monismo que subsume toda diferencia bajo leyes universales de la materia. El materialismo eliminativista anglosajón reduce toda propiedad mental a física. El MF rechaza ambas reducciones, no por idealismo, sino porque reconoce géneros de materialidad irreducibles entre sí.

Una distinción fundamental separa Ideas filosóficas de conceptos científicos. Un concepto científico —entropía, función de pérdida, variedad requerida— opera dentro de una categoría delimitada y produce resultados verificables. Una Idea filosófica —Información, Mente, Naturaleza— emerge del conflicto entre conceptualizaciones de distintas categorías y no puede resolverse científicamente sin empobrecimiento. Confundir el concepto de entropía (Shannon, 1948) con la Idea filosófica de Información produce los mitos que este ensayo analiza.

3.2 M1/M2/M3 y su relevancia en ingeniería e IA

La ontología especial del MF distingue tres géneros de materialidad heterogéneos e inconmensurables (Bueno, 1992, 1996). M1 —materia corpórea, física, extensiva— incluye circuitos integrados, cables de fibra óptica, la disipación térmica de un GPU bajo carga. Es la materialidad que ningún materialismo puede negar sin incurrir en idealismo. M2 —fenómenos de vida operatoria, praxis, conciencia social— incluye decisiones de arquitectura, estrategias de entrenamiento, reuniones de un comité de estandarización. No implica espiritualismo: la conciencia es social, objetivada en prácticas e instituciones. M3 —objetos abstractos, estructuras lógico-matemáticas— incluye espacios vectoriales, funciones de pérdida, teoremas de aproximación universal, la sintaxis de un protocolo RFC. Estos objetos poseen consistencia propia pero no existen en un cielo platónico: se instancian en M1 y se producen mediante M2.

La relevancia para ingeniería e IA es inmediata. Un sistema de deep learning en producción involucra simultáneamente: hardware físico con disipación térmica y consumo energético en megavatios (M1), decisiones de arquitectura y compromisos de diseño tomados por equipos de investigadores (M2), y estructuras matemáticas como grafos computacionales y teoremas de convergencia (M3). Reducir el sistema

a cualquiera de estos géneros produce descripciones que amputan dimensiones constitutivas del objeto.

3.3 Symploké: anti-holismo y anti-atomismo

El término symploké, recuperado de Platón por Bueno, designa el principio según el cual no todo se conecta con todo, ni todo está desconectado de todo. Existe conexión parcial y discontinuidad parcial. Este principio desarma el holismo totalizador —todo está relacionado, el universo como organismo digital— y el atomismo radical —fragmentación absoluta sin vínculos necesarios entre campos.

Cuando divulgadores tecnológicos afirman que 'el universo es información', producen exactamente lo opuesto a la symploké: una totalización que borra diferencias categoriales tan básicas como la que existe entre la entropía termodinámica de Boltzmann y la entropía informacional de Shannon. Que ambas compartan una forma matemática similar es una homonimia con consecuencias filosóficas; no una identidad ontológica.

3.4 Por qué usar MF aquí: antimito y anticategorías totalizantes

El MF permite identificar y desmontar tres mitos tecnológicos: (1) la información como sustancia universal, que hipostatiza M3 extrayendo la fórmula de Shannon de su contexto operatorio; (2) la IA como mente o conciencia emergente, que proyecta categorías de M2 sobre optimización numérica; (3) Cultura y Naturaleza como totalidades ontológicas separadas, que establece un dualismo infundado desmentido por cualquier análisis material de las prácticas científicas. Contra estos mitos, el MF ofrece la teoría del cierre categorial, la ontología trigenérica y la symploké como herramientas de análisis con precisión verificable.

4. Reglas de prueba: criterio de verdad y validación

4.1 Qué cuenta como evidencia

Este ensayo acepta cuatro tipos de evidencia. Primero, identidades sintéticas verificables: resultados matemáticos demostrados o resultados experimentales reproducibles. Segundo, reconstrucción operatoria de textos primarios: lectura de los artículos fundacionales que identifica qué términos definen, qué operaciones ejecutan y qué identidades producen, distinguiendo lo que el autor formaliza de lo que

extrapolaciones posteriores le atribuyen. Tercero, análisis institucional verificable: datos sobre organizaciones, protocolos y estándares cuya existencia puede comprobarse. Cuarto, formalización filosófica desde Bueno (1992, 1996) con cita específica de pasajes del autor.

4.2 Qué no cuenta como evidencia

Quedan excluidos: declaraciones de intención o prospectiva tecnológica sin soporte operatorio demostrado; analogías no fundadas entre dominios categoriales distintos ('el cerebro es un computador'); autoridad de divulgadores tecnológicos sin respaldo en textos primarios; cualquier referencia que no pueda verificarse mediante DOI, ISBN o repositorio público.

4.3 Operaciones del ensayo

Las cuatro operaciones reales son: distinguir (separar el alcance demostrado de un cierre de las extrapolaciones ideológicas construidas sobre él), comparar (poner en relación los cierres de Shannon, Wiener y Turing para identificar conexiones reales sin disolver diferencias), clasificar (ubicar cada desarrollo en su relación con M1/M2/M3) y refutar (señalar con evidencia los puntos en que los mitos tecnológicos contradicen los resultados verificados de los cierres que invocan).

5. Metodología y corpus

5.1 Método operatorio

El método combina análisis gnoseológico de textos primarios con formalización filosófica materialista. El procedimiento tiene tres fases. En la primera, se identifica el problema material que motivó cada desarrollo —el ruido en canales telefónicos para Shannon, la indecidibilidad aritmética para Gödel— sin el cual el formalismo queda suspendido en el aire. En la segunda, se reconstruyen los términos, operaciones e identidades sintéticas del cierre resultante, aplicando el modelo formal $C = (T, O, R, I, \Pi)$ desarrollado en §7. En la tercera, se aplica el prisma M1/M2/M3 para mostrar qué dimensiones materiales sostienen el cierre y qué dimensiones quedan neutralizadas en la presentación final.

5.2 Productos esperados

El ensayo produce cuatro resultados distinguibles: una tipología de cierres (§6), una refutación documentada de los tres mitos tecnológicos, un modelo formal del cierre como punto fijo computable (§7), y una reconceptualización del subterráneo del cierre en IA como condición constitutiva.

5.3 Prueba de estrés: objeción más peligrosa prevista

La objeción metodológica más peligrosa tiene dos variantes. La primera: 'aplicar el MF a la historia técnica es lectura retrospectiva que deforma el significado que los propios autores daban a su trabajo'. La segunda: 'el MF es demasiado especulativo para historia de la ciencia'. Ambas objeciones se responden con detalle en §9. Se anticipa aquí que la respuesta distingue entre el uso descriptivo de las categorías del MF —como lentes de análisis— y su uso prescriptivo —como criterio de lo que los autores 'debían' haber hecho.

6. Desarrollo argumentativo

6.1 Argumento I — Fundamentos lógico-computacionales: de la forma al límite

Mini-tesis: Church y Turing establecieron simultáneamente los fundamentos y los límites intrínsecos de la computabilidad; Gödel demostró que esos límites no son contingentes sino estructurales. Estos resultados constituyen el primer cierre categorial de la genealogía.

En 1936, Alonzo Church y Alan Turing establecieron independientemente los fundamentos de la computabilidad. Church (1936) definió las funciones recursivas mediante el λ -cálculo; Turing (1936) formalizó las máquinas abstractas que llevan su nombre. Los dos demostraron la existencia del Entscheidungsproblem: problemas matemáticos para los cuales no existe procedimiento algorítmico de decisión.

La tesis de Church-Turing afirma que toda función efectivamente computable puede ser calculada por una máquina de Turing. Esto no es un teorema matemático sino una delimitación conceptual que separa lo computable de lo incomputable. Su importancia filosófica es doble: establece que existen límites intrínsecos a la computación, y muestra que esos límites tienen carácter lógico, no empírico. Una

máquina más rápida, una arquitectura más eficiente o más memoria no pueden superarlos.

Desde el MF, la computabilidad no es una propiedad platónica de funciones abstractas. Una máquina de Turing es simultáneamente: un modelo matemático (M3), un dispositivo operatorio que requiere cinta, cabezal y reglas de transición ejecutables materialmente (M1), y un protocolo construido por un agente con intenciones de formalización (M2). Hipostasiar M3 —tratar la máquina de Turing como pura abstracción— oscurece precisamente los aspectos que hacen productiva la analogía entre computación y cognición.

Los teoremas de incompletitud de Gödel (1931) demuestran que en cualquier sistema formal suficientemente potente para expresar aritmética, existen proposiciones verdaderas pero indemostrables dentro del sistema. La limitación no es técnica sino estructural; no puede eliminarse añadiendo más axiomas sin generar nuevas indecidibilidades. El resultado desarma el programa de Hilbert y confirma desde dentro del formalismo que M3 sin M1 ni M2 no puede autofundamentarse.

La conexión entre Gödel y Turing se establece en 1936: el problema de la parada es un análogo computacional de los teoremas de incompletitud. Una recepción popular trata a Turing como 'inventor de la computadora', simplificación que oscurece algo más interesante: Turing no construyó una máquina, formalizó los límites lógicos de cualquier máquina posible. El cierre que establece es gnoseológico, no tecnológico.

Mini-cierre: El primer cierre de la genealogía produce una identidad sintética de alcance filosófico mayor que tecnológico: la existencia de límites intrínsecos a la computación formal. Este resultado bloquea tanto el optimismo computacional ilimitado como el catastrofismo sobre la obsolescencia de las matemáticas.

6.2 Argumento II — Shannon y el giro de la información

Mini-tesis: Shannon construyó una medida estadística de incertidumbre válida para problemas de transmisión en canales ruidosos. Extraer esa medida

de ese contexto para convertirla en sustancia ontológica universal constituye una hipostatización de M3 con consecuencias analíticas graves.

Claude Shannon publicó en 1948 su teoría matemática de la comunicación desde un contexto material muy específico: la telefonía por cable de Bell Labs. El problema era concreto —transmitir señales eléctricas a través de canales ruidosos minimizando errores— y tenía destinatarios industriales con objetivos de ingeniería precisos (Shannon, 1948). Este dato de origen no es anécdota; define el alcance del cierre.

La formalización específica comprende tres elementos. Primero, la entropía como medida de incertidumbre de una fuente: $H(X) = -\sum p(x) \log p(x)$. Segundo, la capacidad de canal como límite superior a la tasa de transmisión confiable sobre ese canal. Tercero, los teoremas de codificación que demuestran la existencia de códigos capaces de alcanzar la capacidad con probabilidad de error arbitrariamente pequeña.

Lo que Shannon deliberadamente excluye importa tanto como lo que formaliza. Reconoció en el propio paper que 'el aspecto semántico de la comunicación es irrelevante para el problema de ingeniería'. No definió el significado semántico de los mensajes, no explicó la relevancia pragmática de la información para un receptor particular, no fundamentó ontológicamente qué es la información fuera del contexto de transmisión en canales con ruido estadístico.

La afirmación 'todo es información' toma una medida estadística definida operatoriamente en un contexto específico y la convierte en categoría ontológica universal. Un cristal de cuarzo, una sinfonía de Mahler y el teorema de Pitágoras no son información en el mismo sentido en que lo es una secuencia de bits transmitida por un canal con capacidad C . Subsumirlos bajo una categoría única de información es una operación ideológica que oscurece diferencias materiales. La conexión frecuentemente señalada entre la entropía de Shannon y la entropía termodinámica de Boltzmann —que comparten forma matemática similar— no establece identidad ontológica entre los dominios; la symplecté materialista permite reconocer la conexión formal sin disolver la diferencia categorial.

Mini-cierre: El cierre de Shannon produce identidades sintéticas válidas en el dominio específico de la teoría de comunicaciones. Su extrapolación a ontología universal no es una generalización; es una confusión categorial que el análisis desde el MF permite diagnosticar con precisión.

6.3 Argumento III — Cibernética: control, variedad y cierre trigenérico

Mini-tesis: La cibernética de Wiener y Ashby constituye un cierre categorial en el dominio del control mediante retroalimentación; su análisis desde M1/M2/M3 muestra cómo el feedback articula los tres géneros de materialidad sin reducirse a ninguno.

Norbert Wiener publicó *Cybernetics* en 1948 —el mismo año que Shannon, dato que refleja la densidad institucional del momento, no coincidencia biográfica—. Wiener definió la cibernética como el estudio del control y la comunicación en el animal y la máquina (Wiener, 1948), formulación que lleva incorporada una tensión: subsume bajo un mismo dominio categorial lo orgánico y lo mecánico.

El concepto operatorio central es la retroalimentación negativa: un sistema mide la diferencia entre su estado actual y un estado objetivo, y ajusta su comportamiento para reducir esa diferencia. La estructura trigenérica de este mecanismo es precisa. M1 provee los dispositivos físicos: sensores que miden variables reales, actuadores que modifican el sistema. M2 provee los objetivos, las estrategias de control, las decisiones sobre qué variables medir y qué referencia adoptar. M3 provee las ecuaciones diferenciales que modelan la dinámica del sistema, la teoría de estabilidad de Lyapunov, los teoremas de controlabilidad y observabilidad.

W. Ross Ashby formuló en 1956 la ley de variedad requerida: solo la variedad puede absorber variedad (Ashby, 1956). Para controlar un sistema con n estados posibles, el controlador necesita al menos n respuestas distintas. Esta ley establece un límite fundamental con consecuencias que trascienden el control de ingeniería. Una burocracia centralizada no puede gestionar economías complejas porque su variedad interna es menor que la variedad del sistema que pretende regular. Un modelo de machine learning con capacidad insuficiente no puede capturar relaciones complejas en datos de alta dimensión —razones que esta ley anticipa décadas antes

de que la literatura de aprendizaje estadístico formalice el concepto de complejidad del modelo—.

La formalización stock/flow merece atención porque explicita la dimensión temporal del cierre. La ecuación fundamental $dS/dt = I_n - O_u$, donde S es el stock de alguna variable relevante, modeliza la dinámica de cualquier sistema con acumulación y flujos. Para un campo científico: sea $K(t)$ el corpus de identidades sintéticas validadas; los flujos de entrada son nuevos teoremas y resultados reproducibles; los de salida, obsolescencias y refutaciones. La ecuación $dK/dt = I_{\text{nuevo}} - \lambda K$ modela el crecimiento con tasa de obsolescencia λ , baja en geometría pura ($\lambda \approx 0.99$), alta en tecnología de aprendizaje profundo ($\lambda \approx 0.85$).

Mini-cierre: La cibernética produce un cierre en el dominio del control mediante retroalimentación que articula explícitamente los tres géneros de materialidad en su estructura constitutiva. Este cierre no puede separarse de su subterráneo —sensores físicos, instituciones de ingeniería, ecuaciones de estado— sin perder el objeto.

6.4 Argumento IV — De neuronas lógicas a deep learning: el subterráneo material de la IA

Mini-tesis: La genealogía del aprendizaje automático no puede explicarse sin su subterráneo material. El argumento de que la IA 'solo es matemática' colapsa ante el análisis de las condiciones de producción del cierre.

Warren McCulloch y Walter Pitts publicaron en 1943 un artículo fundacional: propusieron que las neuronas biológicas podían modelarse como elementos lógicos binarios que computan funciones booleanas (McCulloch y Pitts, 1943). Demostraron que redes de neuronas artificiales pueden computar cualquier función lógica finita, estableciendo equivalencia con máquinas de Turing. Pero este puente entre biología y lógica contiene la tensión que el MF permite diagnosticar: subsume M1 —fisiología neuronal con sus neurotransmisores, potenciales de acción, geometría dendrítica— bajo M3 —cálculo lógico binario— sin atender a M2.

Frank Rosenblatt (1958) propuso el perceptrón: una red de una capa con pesos ajustables mediante aprendizaje supervisado. La innovación crucial es el aprendizaje:

los pesos se adaptan mediante ejemplos. Minsky y Papert (1969) demostraron las limitaciones: el perceptrón no puede aprender funciones no linealmente separables como XOR. La limitación tiene carácter estructural.

El algoritmo de retropropagación de Rumelhart, Hinton y Williams (1986) resolvió el aprendizaje en redes multicapa. Backprop aplica la regla de la cadena para calcular gradientes de la función de pérdida respecto a todos los pesos de la red, permitiendo entrenamiento mediante descenso de gradiente (Rumelhart et al., 1986). Desde el MF, backprop establece una identidad sintética entre tres dominios: optimización numérica (M3), arquitecturas computacionales con restricciones de memoria y cómputo (M1), y protocolos de entrenamiento que incluyen decisiones sobre learning rate, batch size e inicialización de pesos (M2).

Las redes neuronales convolucionales de LeCun et al. (1998) incorporan invariancias espaciales mediante capas convolucionales y de pooling. El cierre categorial de las CNN involucra geometría, análisis funcional, optimización estocástica y diseño de arquitecturas.

Aquí aparece el punto más subvaluado en la literatura: el subterráneo material del cierre en IA. Ya en el tramo dentro del corpus (hasta 1998) puede verse con claridad. El éxito de las CNN de LeCun et al. (1998) no es “solo una idea matemática”: presupone (i) un banco de datos estandarizado y operacionalizable (por ejemplo, dígitos manuscritos digitalizados en condiciones controladas), (ii) infraestructura de cómputo suficiente para iterar entrenamiento y validación, y (iii) protocolos de evaluación reproducibles que estabilizan qué cuenta como “mejor desempeño”. En términos trigenéricos: la identidad sintética (mejora de clasificación) emerge de la trabazón entre M3 (gradientes, arquitecturas), M1 (hardware y memoria disponibles) y M2 (decisiones metodológicas, criterios de evaluación, comunidades que reconocen el resultado).

[EXCURSUS POST-1998 — fuera de delimitación, solo para hacer visible el subterráneo] Cuando AlexNet ganó ImageNet en 2012 con un margen que duplicó el de los competidores, el paper reporta una red convolucional con descenso de gradiente estocástico. Pero el cierre efectivo requirió: un dataset de 1.2 millones de imágenes con etiquetas producidas por anotadores humanos pagados a través de

Amazon Mechanical Turk (M2 + M1); GPUs concretas con memoria VRAM suficiente (M1); un ecosistema de programación paralela sobre GPU (M3 + M1); y decisiones de regularización (dropout, data augmentation) tomadas por el equipo en función de resultados intermedios (M2). Este excursus no altera la delimitación: solo evidencia por qué el “subterráneo” no es anécdota sino condición de posibilidad del cierre.

La afirmación 'la IA es mente' comete una doble confusión categorial: proyecta categorías psicológicas —intención, comprensión, conciencia— sobre sistemas que operan mediante gradientes y actualizaciones de pesos; e ignora que la mente humana pertenece a un dominio categorial que involucra embodiment, cultura, lenguaje natural e historia personal que ningún modelo de optimización estadística instancia.

Mini-cierre: La genealogía del aprendizaje automático produce cierres categoriales parciales verificables. La confusión con la mente emerge de proyectar sobre estos cierres categorías de un dominio inconmensurable; el subterráneo material muestra que la condición de posibilidad de las identidades sintéticas de la IA es radicalmente distinta de las condiciones de posibilidad de la cognición.

7. El subterráneo del cierre categorial y su formalización computable

El subterráneo del cierre categorial es el conjunto de operaciones materiales, instrumentos, protocolos, decisiones metodológicas y condiciones infraestructurales que sostienen la producción de identidades sintéticas, pero que quedan neutralizados en la presentación final de la ciencia (Bueno, 1992). Su carácter no es prescindible: es la condición de posibilidad del cierre.

Esta tesis tiene una consecuencia metodológica fuerte: la ciencia **no se reduce** a “teoría bonita” (M3) ni a “datos brutos” (M1), ni a “consenso social” (M2), sino a la **trabazón** de los tres en operaciones que terminan por **neutralizar al sujeto** en la presentación final del resultado (lo que aparece como “objetivo” y replicable).

7.1 Modelo formal de una categoría científica

Una categoría científica C puede modelarse como una quintupla $C = (T, O, R, I, \Pi)$ donde T es el conjunto de términos (conceptos primitivos, variables, constantes), O el conjunto de operaciones (constructivas, transformadoras), R el conjunto de relaciones (ecuaciones, implicaciones), I el conjunto de identidades sintéticas (teoremas, leyes, resultados validados) y Π el conjunto de protocolos de validación (pruebas, experimentos, criterios de aceptación). El cierre categorial ocurre cuando existen operaciones Gen y Val tales que, aplicadas iterativamente sobre un núcleo inicial $K_0 \subseteq I$, producen el corpus completo de identidades sintéticas K^* mediante saturación.

7.2 Cierre como punto fijo

La definición formal del cierre:

$$Cl(K) = \mu X. (K \cup Gen(X) \cup Val(X))$$

donde μX denota el punto fijo mínimo. $Gen(X)$ genera nuevas identidades candidatas a partir de X mediante operaciones de O . $Val(X)$ valida identidades mediante protocolos Π . El cierre se alcanza cuando $X = Cl(K)$: no se producen nuevas identidades sintéticas validables. Si Gen y Val son funciones computables, el cierre puede calcularse mediante iteración: K_0 = núcleo inicial, $K_{n+1} = K_n \cup Gen(K_n) \cup Val(K_n)$, hasta que $K_{n+1} = K_n$.

Pseudocódigo de saturación:

```
función SATURAR_CIERRE( $K_0$ ,  $Gen$ ,  $Val$ ,  $max\_iter$ ):
     $K = K_0$ ;  $iter = 0$ 
    mientras  $iter < max\_iter$ :
         $K\_candidatas = Gen(K)$ 
         $K\_validadas = Val(K\_candidatas)$ 
        si  $K\_validadas \subseteq K$ : retornar  $K$ , 'CONVERGENCIA'
         $K = K \cup K\_validadas$ ;  $iter += 1$ 
    retornar  $K$ , 'MAX_ITER_ALCANZADA'
```

En la práctica, Gen incluye deducciones lógicas, cálculos numéricos y simulaciones computacionales. Val incluye pruebas formales, experimentos reproducibles y revisión por pares.

7.3 Aplicación al deep learning supervisado

Aplicando el modelo: T (términos): red neuronal, capa, activación, gradiente, pérdida, backprop, epoch, batch, learning rate, regularización. O (operaciones): forward pass, backward pass, actualización de pesos, dropout, data augmentation. R (relaciones): $\partial L/\partial w$ = gradiente, $w_{t+1} = w_t - \eta \nabla L$. I (identidades sintéticas): teorema de aproximación universal, cotas PAC-learning, convergencia de SGD, experimentos en ImageNet/MNIST. Π (protocolos): train/validation/test split, cross-validation, benchmarks con código reproducible.

El cierre de deep learning es parcial: existen problemas abiertos — convergencia de redes no convexas de gran escala, generalización fuera de distribución, interpretabilidad—. Pero el núcleo está cerrado: arquitecturas estándar, algoritmos con garantías verificadas, protocolos de evaluación reproducibles.

7.4 Métricas de cierre

Para evaluar cuantitativamente el grado de cierre pueden proponerse métricas como: tasa de crecimiento $\rho = |K^*|/|K_0|$; velocidad de convergencia $n_{\text{conv}} = \text{iteraciones hasta } K_{n+1} = K_n$; estabilidad temporal $\delta_{\text{stab}} = 1 - |K(t+\Delta t) - K(t)|/|K(t)|$; obsolescencia $\text{Ver}_C(t) = \sum \lambda^{(t-i)} \cdot I_{\{s_i\}}$ donde $\lambda \in (0,1)$. En categorías altamente estabilizadas (p. ej. geometría euclídea), δ_{stab} tiende a 1. En categorías técnico-científicas con alta dependencia infraestructural, δ_{stab} puede ser menor por cambios en instrumentación y protocolos. En el marco de este ensayo (1931–1998), esa variación puede ilustrarse con hitos internos al corpus (perceptrón $\rightarrow$ backprop $\rightarrow$ CNN), sin necesidad de incorporar desarrollos posteriores que quedan fuera de la delimitación.

8. Redes e infraestructura: de protocolos a mundo

Vint Cerf y Bob Kahn publicaron en 1974 el protocolo TCP/IP que fundamenta Internet. TCP garantiza entrega confiable de datos mediante segmentación, numeración, confirmación y retransmisión. IP define direccionamiento y enrutamiento de paquetes entre redes heterogéneas (Cerf y Kahn, 1974). TCP/IP constituye un cierre categorial en telecomunicaciones distribuidas: sus términos incluyen paquete, puerto, socket, ruta, TTL; sus operaciones incluyen fragmentación, enrutamiento, control de congestión; sus identidades sintéticas son teoremas de corrección y resultados empíricos de escalabilidad a miles de millones de dispositivos.

El subterráneo del cierre TCP/IP reproduce la estructura trigenérica: cables submarinos de fibra óptica con amplificadores ópticos (M1), organizaciones de estandarización —IETF, ICANN— que coordinan decisiones técnicas mediante procesos de consenso documentados en RFCs (M2), y especificaciones formales de protocolo que definen comportamiento correcto bajo condiciones de fallo (M3). Internet no es una idea platónica ni una emanación cultural: es infraestructura material operada por instituciones concretas con presupuestos, jerarquías y conflictos de interés reales.

El mito de Internet como 'cultura etérea' proyecta totalidades ficticias sobre infraestructura técnica. El 'ciberspacio', la 'aldea global', la 'inteligencia colectiva' son construcciones retóricas que oscurecen condiciones materiales precisas: consumo energético de centros de datos en el orden de los teravatios anuales, control corporativo de plataformas con capitalización de mercado superior al PIB de muchos estados, vigilancia estatal de tráfico mediante acuerdos con operadores de backbones.

9. Aparato crítico: objeciones fuertes y respuestas

Objeción 1: Lectura retrospectiva

La objeción más seria contra el uso del MF como herramienta historiográfica afirma que aplicar categorías filosóficas desarrolladas en los años 1990 a textos de 1936–1998 es anacronismo metodológico. Shannon no pensaba en términos de M1/M2/M3 cuando escribió su paper de 1948.

La respuesta distingue dos usos que la objeción confunde. El uso prescriptivo —'Shannon debería haber pensado con estas categorías'— sería efectivamente anacrónico e indefendible. El uso descriptivo-analítico —'el cierre que Shannon construyó tiene esta estructura material cuando lo analizamos desde fuera del contexto de producción'— es legítimo con la misma legitimidad con que un ingeniero de materiales puede analizar la microestructura de una espada medieval con instrumentos que el herrero desconocía. El límite del ensayo es preciso: no afirma que los actores históricos tuvieran una ontología trigenérica implícita; afirma que sus productos tienen una estructura material que el MF permite articular con precisión.

Objeción 2: El MF como marco demasiado especulativo

Una segunda objeción sostiene que el Materialismo Filosófico es un sistema filosófico entre otros, con compromisos ontológicos propios que no son los de la historiografía de la ciencia ni los de los ingenieros. Aplicarlo equivale a imponer un marco externo sobre materiales que tienen sus propias lógicas.

La respuesta tiene dos partes. Toda historiografía de la ciencia opera con marcos conceptuales; la ausencia de marco explícito no equivale a neutralidad sino a uso implícito de categorías no examinadas. La narrativa del genio individual también es un marco filosófico —con compromisos sobre agencia, creatividad y causalidad— que suele pasar desapercibido porque no se enuncia. El MF tiene una ventaja operatoria específica para este dominio: su ontología trigenérica permite articular explícitamente las dimensiones física, operatoria y formal de los cierres técnicos sin reducir unas a otras. El límite declarado: el MF provee categorías ontológicas, no categorías de análisis social exhaustivo; aspectos como relaciones laborales en Bell Labs o economía política de la Guerra Fría quedan fuera del análisis.

Objeción 3: La ingeniería no 'cierra' como las ciencias

Una tercera objeción señala que los cierres analizados son ingeniería, no ciencia en sentido estricto. La ingeniería produce artefactos que funcionan, no identidades sintéticas universalmente válidas. Un protocolo TCP/IP puede ser reemplazado; ninguna de estas 'verdades' tiene la robustez de un teorema matemático.

Esta objeción merece acuerdo parcial. Los cierres de ingeniería tienen propiedades distintas a los de matemáticas puras: mayor sensibilidad a condiciones M1 específicas, obsolescencia más rápida (λ más bajo), identidades sintéticas condicionadas a supuestos de diseño que pueden no mantenerse. Estas diferencias son de grado dentro del mismo marco analítico, no de clase. Los teoremas de corrección de TCP/IP tienen la misma estructura lógica que los teoremas de computabilidad de Turing, aunque operen en un dominio más acotado. Las métricas de estabilidad y obsolescencia son precisamente los parámetros que cuantifican esas diferencias dentro del modelo de cierre.

10. Conclusión

La genealogía computación–información–cibernética–IA constituye la consolidación de cierres operatorios categoriales sostenidos por M1/M2/M3. La afirmación inversa —que esa genealogía es la historia de genios individuales que 'descubrieron' verdades universales— es una narrativa ideológica que suprime las mediaciones materiales constitutivas de cada cierre.

Tres resultados del análisis merecen enunciación directa. Primero: la cientificidad emerge de la triangulación entre materia operatoria (M1), sujetos operantes con objetivos e instituciones (M2) y formas simbólicas (M3). Cualquier reducción a un solo género produce objetos teóricos amputados. Segundo: los tres mitos tecnológicos analizados comparten la misma estructura de error: hipostasiar una categoría de un cierre parcial, extraerla de su contexto operatorio y elevarla a principio ontológico universal. Tercero: el subterráneo del cierre en IA no es infraestructura accesoria; los datasets anotados, los GPU especializados, los protocolos de benchmark y las instituciones de estandarización son constitutivos del cierre.

Dos límites deben enunciarse sin elusiones. La formalización propuesta — $CI(K) = \mu X.(K \cup \text{Gen}(X) \cup \text{Val}(X))$ — es una estructura lógica, no una implementación empírica; los parámetros λ , ρ , δ_{stab} requieren calibración mediante estudios longitudinales que este ensayo no puede proveer. El análisis también se ha centrado en cierres estabilizados; quedan por explorar cierres emergentes y campos en crisis.

Tres líneas de investigación quedan abiertas: implementaciones computacionales del modelo de saturación para campos científicos concretos; aplicación del marco MF a la auditoría crítica de sistemas de IA en producción; extensión del análisis a la economía política de la infraestructura computacional — concentración corporativa, extracción de datos, trabajo precarizado de anotadores y moderadores—.

El Materialismo Filosófico no ofrece soluciones técnicas inmediatas. Ofrece claridad conceptual: la capacidad de distinguir qué hace un sistema técnico de lo que se afirma ideológicamente que hace. En un campo saturado de hype tecnológico, esa

distinción es la condición de posibilidad para la crítica rigurosa y la práctica científica responsable.

11. Glosario

Cierre categorial. Proceso mediante el cual una categoría científica alcanza autonomía operatoria al producir identidades sintéticas mediante operaciones sobre sus propios términos, sin apelar a categorías externas para validarlas (Bueno, 1992).

Hipostatización. Error filosófico que consiste en tomar una propiedad o relación definida operatoriamente en un contexto específico y convertirla en entidad o sustancia autónoma.

Identidad sintética. Resultado gnoseológico que conecta términos de una categoría mediante operaciones, produciendo una verdad que no es puramente analítica ni puramente empírica.

M1, M2, M3. Los tres géneros irreductibles de materialidad según el MF. M1: materia corpórea-física. M2: operaciones, praxis, vida interior objetivada. M3: objetos abstractos, estructuras lógico-matemáticas.

Materialismo Filosófico (MF). Sistema filosófico de Gustavo Bueno que opera como filosofía de segundo grado sobre ciencias ya constituidas, distinguiendo Ideas filosóficas de conceptos científicos y postulando una ontología de tres géneros de materialidad irreductibles (Bueno, 1992).

Subterráneo del cierre. Conjunto de operaciones, instrumentos, protocolos e infraestructuras que sostienen la producción de identidades sintéticas pero quedan neutralizados en la presentación final del conocimiento científico (Bueno, 1992).

Symploké. Principio filosófico según el cual no todo está conectado con todo ni todo está desconectado de todo. Establece conexión parcial y discontinuidad parcial entre dominios categoriales.

Tesis de Church-Turing. Tesis filosófica (no teorema matemático) que afirma que toda función efectivamente computable puede ser calculada por una máquina de Turing, estableciendo los límites lógicos de la computación algorítmica.

12. Referencias (APA 7)

- Ashby, W. R. (1956). *An introduction to cybernetics*. Chapman & Hall.
- Bueno, G. (1992). *Teoría del cierre categorial* (Vol. 1). Pentalfa.
- Bueno, G. (1996). *El mito de la cultura: ensayo de una filosofía materialista de la cultura*. Prensa Ibérica.
- Cerf, V., & Kahn, R. (1974). A protocol for packet network intercommunication. *IEEE Transactions on Communications*, 22(5), 637–648. <https://doi.org/10.1109/TCOM.1974.1092259>
- Church, A. (1936). An unsolvable problem of elementary number theory. *American Journal of Mathematics*, 58(2), 345–363. <https://doi.org/10.2307/2371045>
- Gödel, K. (1931). Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, 38, 173–198. <https://doi.org/10.1007/BF01700692>
- LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278–2324. <https://doi.org/10.1109/5.726791>
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115–133. <https://doi.org/10.1007/BF02478259>
- Minsky, M., & Papert, S. (1969). *Perceptrons: An introduction to computational geometry*. MIT Press.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386–408. <https://doi.org/10.1037/h0042519>
- Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323(6088), 533–536. <https://doi.org/10.1038/323533a0>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3–4), 379–423, 623–656. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>

Turing, A. M. (1936). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. Proceedings of the London Mathematical Society, s2-42(1), 230–265. <https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.230>

Wiener, N. (1948). Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine. MIT Press.

Kolmogorov, A. N. (1965). Tres enfoques a la definición del concepto 'cantidad de información': número de revista exacto en traducción al inglés y DOI.

Penrose, R. (1989). The Emperor's New Mind. verificar editorial y ISBN de edición referenciada.

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. (2012). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. NeurIPS Proceedings.: DOI exacto del repositorio oficial.

Bueno, G. (1978). Gnoseología de las ciencias humanas. Oviedo. Fundación Juan March

Atelier Vélazquez