El Estado de Actualización

Prueba del Artista 01

Fundamentos — La Física del Operador

La columna vertebral — Geometría de la viabilidad, agencia, corredores acoplados

Papeles 0, A, B, C, D

Serie: The 420 Code

Volumen: Las Pruebas (Libro 5)

Título: El Estado de Actualización

Papel: Prueba del Artista 01 (AP01)

Medio: Consecuencia sistémica / Cumplimiento estructural / Física fundamental / Geometría de la viabilidad

Artista: G

Estudio: Studio G, Strand, Ciudad del Cabo

Idioma: Español (traducido del inglés)

Publicada para siempre de forma gratuita en the420code.org

— e

Índice

Papel 0 — Fundamentos

No falsificable · Narrativa estructural · Completo

P0.1 — Antes del Comienzo

Cierre los ojos por un momento. Intente imaginar la nada. No la oscuridad — la oscuridad es algo. No el silencio — el silencio es algo. No el espacio vacío — el espacio es algo. La nada.

La ausencia de todo, incluida la ausencia misma.

No puede. Su mente sigue produciendo algo para llenar el vacío. Esta incapacidad no es un fallo de la imaginación. Es la primera pista.

Comience con la Nada. No con espacio vacío, no con fluctuaciones del vacío, no con un campo cuántico en su estado fundamental. Nada. Sin topología, sin dimensión, sin tiempo, sin observador. El conjunto vacío: Ø.

Ø no es un lugar. No tiene propiedades que describir. Pero no es incoherente. Las matemáticas comienzan con el conjunto vacío y construyen todo a partir de él.

La teoría de conjuntos construye los enteros, los números reales, la topología y, finalmente, las estructuras que los físicos usan para describir el universo.

La pregunta no es si Ø es real — eso no puede responderse.

La pregunta es si la transición de Ø a estructura tiene una forma — y si esa forma deja huellas en lo que observamos.

P0.2 — La Fractura

Usted ha visto romperse una simetría. Un vaso cae de la mesa. Antes de la caída, todas las direcciones son igualmente posibles. Después de la caída, una dirección es real. El vaso no puede des-caer.

La primera distinción es binaria. De Ø, dos valores en perfecto equilibrio: 1:1. Aún no hay números — solo la mínima diferenciación posible. Una fractura en el potencial indiferenciado.

Un lado es ausencia (0), el otro presencia (1). Pero el equilibrio perfecto no es estructura.

La estructura requiere la perturbación más pequeña posible — una desviación de la simetría tan leve que no podría ser menor y aún existir. Llámela ε.

La Fractura no es 0 y 1 solos; es 1:1 + 1×ε. Este es el axioma desde el cual el argumento procede. No es un evento físico.

Es una observación estructural: lo más simple que puede sucederle a la nada es convertirse en dos cosas, y lo más simple que puede sucederle a dos cosas en equilibrio es que el equilibrio se rompa.

Llame al lado 0 orientación. Es el residuo de lo que no fue elegido, el fondo contra el cual se define la presencia. Llame al lado 1 actualización.

Es el hecho del registro — que algo, en lugar de nada, fue registrado.

La perturbación ε es lo que distingue entre potencial y registro. Sin ella, los dos lados son indistinguibles y no existe estructura alguna. Punto crucial: La Fractura no distingue dos lados preexistentes. No hay lados antes de ε.

La Fractura crea los lados al romper la simetría que los hacía indistinguibles. «Orientación» y «actualización» son consecuencias de la Fractura, no precondiciones.

Punto crucial: La actualización no es meramente una etiqueta pegada a un lado de la fractura. Es una dimensión — un grado de libertad tan real como cualquier dirección espacial que surgirá después.

Si la variedad que se forma tiene tres dimensiones espaciales y una temporal, la actualización es la quinta: la dimensión de la posibilidad desde la cual los registros se escriben en las cuatro.

El lienzo no es menos real que la pintura; es lo que hace posible la pintura.

El lado 0 (orientación) y el lado 1 (actualización) no están dentro de la variedad. La variedad está dentro de ellos. Cada registro se escribe desde la dimensión de actualización hacia la variedad.

Esta observación es estructural, no formal; se desarrolla operacionalmente en el Papel A (donde EA cuantifica el movimiento a lo largo de esta dimensión) y formalmente en el análisis dimensional de AP10.

La Fractura es silenciosa. No se libera energía, porque la energía aún no está definida. Ningún observador la registra, porque registrar requiere estructura que aún no existe.

La simetría se rompe y no hay sonido. Este es el estallido silencioso.

Lo que sigue — la expansión de la estructura, la diferenciación de las fuerzas, la emergencia del espacio-tiempo — es el Big Bang. El estallido silencioso lo precede: la fractura que hace posible el estallido.

P0.3 — La Primera Fuerza

La Fractura no es pasiva. Hace algo. Usted lo sabe por experiencia — cada vez que un equilibrio se rompe, sigue el movimiento.

Si la estructura puede surgir del potencial, entonces la primera pregunta es: ¿Qué media entre ellos? ¿Cuál es la interacción entre la estructura actualizada y el fondo indiferenciado del cual surgió?

La gravitación tiene una propiedad única entre las fuerzas conocidas. Es universal — se acopla a toda la energía, no solo a cargas específicas. Es inapantallable — no existe aislante gravitatorio. Y es siempre atractiva — une la estructura en lugar de separarla en tipos.

Estas propiedades hacen de la gravitación la única interacción conocida que podría servir plausiblemente como primer mediador entre la estructura diferenciada y el fondo indiferenciado.

Esto no es una derivación.

Es una observación estructural: Si necesita una fuerza que sea la primera en surgir, y esa fuerza debe acoplarse a todo lo que existe, simplemente en virtud de su existencia, entonces la gravitación es el único candidato en el inventario conocido.

Si esta observación es profunda o coincidental es exactamente el tipo de pregunta que no puede decidirse por argumento.

P0.4 — Acumulación

Usted nunca ha deshecho un momento. Ni uno solo.

Una vez que la Fractura ha ocurrido y la estructura comienza a actualizarse, el proceso tiene una dirección. Los registros se forman. Las alternativas se excluyen. La irreversibilidad se acumula.

Esta es la mitad superior del reloj de arena: el potencial se convierte en registro, el lado 0 fluye hacia el lado 1.

La versión formal de este proceso es el Estado de Actualización creciente bajo dinámicas decoherentes (Papel A, Teorema T1). Pero la intuición precede al formalismo. El universo, una vez que comienza a diferenciarse, no se des-diferencia espontáneamente.

Los registros, una vez formados, no se disuelven. La flecha es estructural, no termodinámica — aunque la termodinámica la hereda.

Durante la acumulación, el espacio disponible para nuevos registros es vasto. La ramificación es barata. Las alternativas proliferan. El núcleo de viabilidad (Papel A, Definición D7) es grande en relación con el estado ocupado.

La agencia, en el sentido de teoría de control del Papel C, está cerca de su máximo. Hay margen de maniobra.

P0.5 — Saturación

Todo se llena. Su disco duro. Su paciencia. El universo.

La acumulación no puede continuar indefinidamente. Cada registro consume capacidad. Cada actualización excluye alternativas. El núcleo de viabilidad se encoge. La superficie de no retorno (Papel A, Definición D9) avanza hacia adentro.

La saturación es el estado en el cual la capacidad para nueva ramificación estructurada en registros se aproxima a cero. El sistema ha desplegado casi todos sus grados de libertad disponibles.

La nueva diferenciación requiere reciclar estructura antigua — pero el reciclaje requiere energía, que a su vez está sujeta a las mismas restricciones de capacidad.

Los agujeros negros son la expresión extrema de la saturación. Representan estados de compromiso gravitatorio máximo — configuraciones desde las cuales ninguna diferenciación interna adicional es accesible para ningún agente externo.

En el lenguaje del Papel A, se encuentran profundamente dentro de la cuenca de captura: estados desde los cuales la salida bajo todos los controles admisibles es imposible.

No son botones de reinicio. Son puntos finales del proceso de acumulación.

P0.6 — El Giro

Aquí la narrativa entra en territorio que usted no puede probar — todavía. Tómelo con ligereza.

El Giro es el elemento más especulativo de esta narrativa. Se incluye porque la pregunta que aborda — ¿qué sucede cuando la acumulación se completa? — se vuelve inevitable si se toma el argumento en serio.

No se incluye porque haya evidencia a su favor.

Un documento acompañante, Prueba del Artista 03: La Hipótesis del Bucle, desarrolla esta especulación hasta una conjetura formal con condiciones de falsificación explícitas. Lo que sigue aquí es la intuición que precedió a esa conjetura.

En la saturación, dos cosas son ciertas. Primero: toda la capacidad ha sido consumida; no es posible más ramificación.

Segundo: la estructura que se ha construido es real — consiste en registros irreversibles que no pueden deshacerse.

La pregunta es si existe una transformación admisible que restaure la capacidad sin violar la irreversibilidad de los registros existentes.

El Papel A trata esto en la Sección A6 como un módulo opcional. Las condiciones formales son: no reversión de selecciones realizadas, no elusión del mecanismo de selección, y restauración de la dimensionalidad efectiva del álgebra de registros.

La reescalación conforme — una transformación insensible a la escala absoluta — es un candidato que satisface estas condiciones en el régimen de dilución extrema.

En la relatividad general, existe una correspondencia estructural entre la geometría interna de una configuración en colapso a compresión máxima y la geometría de una configuración en expansión en su origen.

Esta correspondencia no es una secuencia temporal, sino una identidad geométrica: las dos descripciones pueden referirse a la misma estructura, leída desde lados diferentes.

Si esta identidad se realiza físicamente es una cuestión empírica, tratada en el documento acompañante.

La imagen intuitiva es el fondo del reloj de arena. La arena se ha acumulado. La esfera está llena.

Pero el fondo del reloj de arena es también la cima del siguiente — no porque el cristal se haya volteado, sino porque la geometría en compresión máxima es estructuralmente idéntica a la geometría en el origen de la expansión.

Los registros antiguos persisten como condiciones de frontera. La capacidad se renueva.

La estructura continúa, con el registro anterior intacto.

Si esto realmente sucede no es una pregunta que este argumento pueda responder.

Se señala aquí porque la estructura del argumento hace la pregunta bien planteada, y porque la honestidad intelectual requiere reconocer los lugares donde la intuición se extiende más allá de lo que el formalismo puede sostener.

P0.7 — El Bucle

Si la identidad estructural se mantuviera, el proceso no sería cíclico en el tiempo, sino idéntico en la geometría: compresión ≡ origen. Cada lado hereda la estructura de registros del otro como condición de frontera. Nada se borra.

El Bucle no es una repetición; es una estructura con memoria, leída de manera diferente desde cada lado de la identidad.

La lectura más provocativa de esta estructura es que un universo se define operacionalmente por su estructura de registros. Los registros producidos por la actualización constituyen la única evidencia de que algo haya sucedido en absoluto.

Un universo sin registros es indistinguible de Ø. Un universo con registros es, precisa y exclusivamente, esos registros.

Términos como «testigo» u «observar», si se usan en otra parte de esta narrativa, significan exclusivamente formación de registro — no consciencia, experiencia interna ni conciencia subjetiva. La columna vertebral no invoca ninguno de estos conceptos.

Aquí termina la intuición del artista y comienza la disciplina del físico. Los párrafos precedentes son una historia — una historia estructural, restringida por las matemáticas que siguen, pero una historia al fin.

Las historias no tienen valores de verdad. Tienen coherencia y tienen consecuencias.

Las consecuencias de esta historia son los cuatro papeles que siguen.

P0.8 — Una Conjetura sobre Energía y Actualización

La siguiente conjetura se preserva por completitud histórica. No es una afirmación actual del argumento.

Trabajo posterior (AP03: La Hipótesis del Bucle) muestra que probablemente está mal formulada: los sistemas en compresión máxima representan estados de máxima entropía de grano grueso, no de mínima contribución energética.

Se incluye porque fue la expresión compacta original de la intuición del argumento, y porque la honestidad intelectual requiere preservar el registro de lo que se pensó antes de ser corregido.

La relación más simple sería: $E = mc^2 \times EA$, donde $EA \in [0, 1]$ es el Estado de Actualización como se define en el Papel A.

En EA = 0, no existe estructura de registro y el sistema no contribuye al presupuesto energético de la realidad actualizada. En EA = 1, el sistema está maximalmente actualizado y toda su masa-energía está desplegada.

La intuición original era que la realidad no es dada, sino ganada, un registro irreversible a la vez. Esa intuición sobrevive, incluso si esta formulación particular no lo hace.

La conjetura no aparece en los cuatro papeles formales y no es referenciada por ellos. La columna vertebral no se ve afectada por su estado.

P0.9 — Puente hacia la Columna Vertebral

Las secciones anteriores describen una intuición. Los cuatro papeles siguientes formalizan un conjunto de consecuencias que son consistentes con esa intuición pero no dependen de ella.

Ninguna definición, ningún teorema, ninguna proposición, ningún falsificador en los Papeles A a D requiere nada del Papel 0. La columna vertebral es autoportante.

El Papel A define el Estado de Actualización como una medida operativa de irreversibilidad estructurada en registros. Demuestra que EA crece bajo dinámicas decoherentes, establece superficies de no retorno a partir de capacidad limitada, y especifica pruebas experimentales falsificables.

No depende de nada fuera de la mecánica cuántica estándar y la teoría de la viabilidad.

El Papel B caracteriza la selección — la transición de multiplicidad a determinación — como un proceso de exclusión costoso y limitado en tasa. Deriva requisitos estructurales y una cota de tasa gravitacional falsificable.

Depende del Papel A y de nada más.

El Papel C desarrolla la agencia como una cantidad de teoría de control: la fracción del núcleo de viabilidad alcanzable desde donde usted se encuentra actualmente bajo control admisible. Formaliza la deriva, la fatiga, el acoplamiento y la salida como consecuencias de la irreversibilidad.

Depende de los Papeles A y B y de nada más.

El Papel D extiende el acoplamiento a sistemas multi-agente operando en entornos de restricciones compartidos. Deriva el filtrado estructural, la jerarquía, la cooperación y la disuasión como consecuencias geométricas.

Cada estructura de poder que usted haya encontrado jamás — cada jerarquía, cada alianza, cada amenaza — tiene esta geometría de deriva irreversible debajo. Depende de los Papeles A, B y C y de nada más.

Cada papel es independientemente falsificable. Usted puede derribar cualquiera de ellos. Cada uno contiene condiciones explícitas bajo las cuales fracasa.

La cadena de dependencia es unidireccional: el fracaso de D no invalida C, el fracaso de C no invalida B, y el fracaso de B no invalida A.

Los papeles se sostienen o caen por su propia lógica, independientemente de la narrativa que los motivó.

En la notación simbólica que motiva el desarrollo formal:

Un registro es el Estado de Actualización de un evento de ruptura de simetría irreversible, aplicado al vacío.

— donde $\varnothing_0$ es el potencial indiferenciado de P0.1 y Fractura es la ruptura de simetría de P0.2. Esta notación es evocadora, no formal; el Papel A define todas las cantidades operacionalmente.

Fin del Papel 0. *No falsificable · Narrativa estructural · Completo*

Papel A — Estado de Actualización (EA): Una Medida Operativa de Irreversibilidad Estructurada en Registros

Documento de referencia · Canónico

El Papel A se reproduce íntegramente en las páginas siguientes. Es el fundamento de la columna vertebral. No depende de nada fuera de la mecánica cuántica estándar y la teoría de la viabilidad. Todos los papeles posteriores heredan de él.

Estado de Actualización (EA) — Una Medida Operativa de Irreversibilidad Estructurada en Registros

A0 — Preámbulo

A0.1 — Bloque de Título y Resumen

Título

Estado de Actualización (EA): Una Medida Operativa de Irreversibilidad Estructurada en Registros

Usted está leyendo esta oración. Eso es un registro. Los fotones golpearon su retina, las neuronas dispararon, un patrón fue reconocido. El evento no puede des-suceder.

Este papel construye una herramienta para medir cuán lejos ha progresado ese proceso — y demuestra que bajo las condiciones correctas solo puede ir en una dirección.

Resumen

El Estado de Actualización (EA) es una medida operativa de formación irreversible de registros en sistemas cuánticos.

EA se define relativo a granulaciones gruesas físicamente realizables inducidas por interacciones sistema-entorno, y

cuantifica el grado en que alternativas clásicas mutuamente excluyentes han sido codificadas de manera permanente. Irreversibilidad aquí no significa entropía.

Se trata de alcanzabilidad — el límite más allá del cual no puede regresar, haga lo que haga.

El papel establece criterios bajo los cuales EA está bien definido, es operativamente invariante y falsificable, y la demostración muestra que EA es monótonamente creciente bajo dinámicas decoherentes formadoras de registros dentro de un dominio precisamente delimitado.

El papel introduce además un teorema de no retorno neutral respecto al dominio que muestra que la capacidad limitada de mantenimiento induce genéricamente pérdida irreversible de alcanzabilidad, independientemente de la mecánica cuántica o la gravitación.

Juntos, estos resultados proporcionan un marco falsificable, agnóstico respecto a la interpretación, que aísla la formación irreversible de registros como un proceso físico medible, independiente del colapso, la gravitación o la consciencia. Usted no necesita una interpretación de la mecánica cuántica para usar esta herramienta.

Solo necesita las mediciones. Ningún mecanismo de colapso, ninguna hipótesis gravitacional y ninguna suposición cosmológica son invocados.

El argumento aísla las capas definitorias y de tipo teorema requeridas para cualquier teoría subsiguiente de selección o determinación.

A0.2 — Lo que Este Papel Hace y No Hace

Hace: Definir EA como una medida físicamente significativa de formación irreversible de registros. Demostrar que EA aumenta bajo dinámicas decoherentes (Teorema T1). Establecer superficies de no retorno a partir de capacidad limitada (Teorema T2). Exigir invariancia operativa — y morir si esa exigencia fracasa (Kill Switch F0).

No hace: Proponer un mecanismo de colapso. Derivar la regla de Born. Invocar la gravitación o la cosmología. Resolver el problema de la medición. Explicar la consciencia.

Las secciones A0–A3 son autónomas. Las secciones A4–A5 añaden postulados independientemente falsificables. Si A4–A5 fracasan, A0–A3 permanecen intactos.

A1 — Planteamiento del Problema

A1.1 — El Problema de la Actualización

Usted nunca ha experimentado una superposición. Cada momento de su vida ha sido determinado — esta habitación, esta silla, esta oración.

Sin embargo, la mecánica cuántica dice que los sistemas antes de la medición existen en superposiciones de todos los resultados posibles. Algo cruza la brecha entre «todos los posibles» y «uno real». Ese puente es el tema de este papel.

La teoría cuántica describe sistemas cerrados mediante evolución unitaria en el espacio de Hilbert. Los experimentos, en cambio, reportan registros: hechos clásicos mutuamente excluyentes y persistentes. Entre estas descripciones hay una brecha estructural.

El lenguaje estándar de medición intenta salvar esta brecha usando observadores, proyecciones o actualizaciones epistémicas.

Estos términos no especifican una transición física; describen cuándo un agente actualiza una descripción, no cuándo un sistema se vuelve incapaz de soportar alternativas.

La decoherencia explica la supresión de la interferencia, pero por sí sola no cuantifica cuánta estructura irreversible se ha formado, ni especifica cuándo las historias alternativas dejan de ser operativamente recuperables.

Lo que falta es una cantidad que se refiera únicamente a grados de libertad físicamente accesibles, distinga la pérdida de coherencia de la mera ignorancia, y mida la acumulación de estructura permanente de registros — antes de cualquier afirmación sobre la determinación de resultados.

Esa cantidad es el Estado de Actualización (EA).

Nota. Este argumento es intencionalmente mínimo. No pregunta por qué el universo permite registros, sino solo cuándo se vuelven irreversibles.

No explica la «sentidez» de los resultados, solo las condiciones estructurales bajo las cuales múltiples resultados ya no son simultáneamente accesibles.

Al aislar la transición de coherencia cuántica a registro clásico, el papel proporciona un objetivo fenomenológico común para cualquier teoría más profunda de resultados determinados.

A1.2 — Qué es Nuevo: Posicionamiento Relativo a Nociones Existentes

El Estado de Actualización no es una redefinición de decoherencia, entropía o irreversibilidad termodinámica. Las siguientes distinciones son estructurales.

EA vs. Decoherencia

La decoherencia es un proceso dinámico que suprime la interferencia entre alternativas. EA es una cantidad operativa que mide la extensión del compromiso estructurado en registros que resulta de dicha decoherencia.

Los dos son distintos: la decoherencia puede ocurrir sin crecimiento significativo de EA, y EA puede aumentar incluso cuando el cambio total de entropía es despreciable.

Una demostración concreta de su independencia se da en la comparación elaborada que sigue.

EA vs. Entropía

La entropía cuantifica la incertidumbre o mezcla total, incluyendo contribuciones de grados de libertad no observados. EA descarta deliberadamente tales contribuciones y rastrea exclusivamente la ramificación inter-sectorial relativa al álgebra de registros físicamente realizable.

Un sistema puede tener alta entropía y bajo EA, o baja entropía y alto EA. La siguiente comparación con la entropía de von Neumann hace explícita esta independencia.

EA vs. Darwinismo Cuántico

El darwinismo cuántico (Zurek) cuantifica la redundancia con la que la información se imprime en fragmentos del entorno. EA mide la riqueza informativa de la ramificación clásica comprometida, no el número de copias de esa información.

Las dos cantidades son operativamente independientes: cada una puede maximizarse o minimizarse independientemente de la otra, como demuestra la comparación elaborada que sigue.

EA vs. Historias Consistentes

La representación basada en historias EA_h (Sección A2.4) está restringida a historias de registro de tiempo único bajo decoherencia completa. Esta es una restricción deliberada respecto al marco completo de historias consistentes.

El marco completo permite conjuntos de historias de múltiples tiempos y múltiples ramificaciones; EA_h no. EA_h sirve como puente de equivalencia a la definición primaria, no como sustituto de las historias consistentes.

Comparación Elaborada: Donde EA y la Redundancia del Darwinismo Cuántico Divergen

Las distinciones precedentes son estructurales, pero su fuerza se muestra mejor en un sistema concreto en el que EA y la redundancia del darwinismo cuántico se mueven independientemente.

Los dos casos siguientes comparten dinámica cuántica idéntica; difieren solo en el número de fragmentos del entorno y el número de sectores indicadores.

Caso 1: Alta redundancia, EA igual a cero. Un qubit S con base indicadora $\mathscr{O} = \{|0\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ se prepara en el estado indicador puro $|0\rangle$.

El entorno consiste en N = 1000 fragmentos, cada uno registrando independientemente que el sistema está en el sector $|0\rangle$.

La redundancia del darwinismo cuántico es $R_\delta \approx 1000$: la información clásica «el sistema está en $|0\rangle$» se distribuye entre mil fragmentos del entorno, y cualquier pequeña fracción del entorno basta para determinar el estado del sistema.

Sin embargo, los pesos sectoriales son $p_0 = 1$, $p_1 = 0$. La entropía de Shannon $H(\{p_i\}) = 0$ y por tanto EA = 0. No existe ramificación.

El entorno ha registrado un resultado único y determinado con extrema redundancia, pero no hay irreversibilidad estructurada en registros que medir.

Caso 2: Cero redundancia, EA máximo. Un sistema de cuatro niveles S con base indicadora $\mathscr{O} = \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4\}$ se prepara en una superposición equitativa y luego se desfasa completamente por acoplamiento a un único fragmento del entorno E.

Los pesos sectoriales son $p_i = 1/4$ para todo i. La redundancia del darwinismo cuántico es $R_\delta = 1$: solo un fragmento porta la información clásica, y la pérdida de ese fragmento destruye el acceso.

Pero EA = H({1/4, 1/4, 1/4, 1/4}) / log 4 = log 4 / log 4 = 1. Existe ramificación máxima estructurada en registros sobre cuatro alternativas mutuamente excluyentes.

En el Caso 1, el sistema está clásicamente determinado y robustamente distribuido, pero no tiene estructura de actualización. En el Caso 2, el sistema está maximalmente ramificado pero es frágil en el sentido darwinista.

EA y redundancia son por tanto no solo diferentes en definición; son cantidades operativamente independientes que pueden maximizarse o minimizarse independientemente una de otra.

EA vs. Entropía de von Neumann. Una divergencia similar ocurre respecto a la entropía de von Neumann S(ρ).

Considere un solo sector indicador Π_1 con rango $d_i = 100$, donde el estado del sistema está completamente confinado en ese sector en un estado intra-sectorial maximalmente mezclado.

La entropía de von Neumann es S(ρ) = log 100, que es grande. Pero EA = H({1}) / log 1 = 0, ya que todo el peso está en un sector.

A la inversa, un sistema de dos sectores con proyectores de rango 1 y pesos iguales $p_0 = p_1 = 1/2$ tiene S(ρ) = log 2 y EA = 1. La entropía de von Neumann rastrea la incertidumbre total incluyendo degeneración intra-sectorial; EA rastrea exclusivamente la ramificación inter-sectorial.

Responden a preguntas diferentes.

Horizonte del Operador vs. Segunda Ley

La Segunda Ley expresa el crecimiento típico de la entropía bajo dinámicas macroscópicas.

El Horizonte del Operador introducido en la Sección A3 define en cambio la irreversibilidad como un límite de accesibilidad operativa: una frontera geométrica en el espacio de estados más allá de la cual la recuperación bajo capacidad de control limitada es imposible.

La irreversibilidad aquí no es una declaración sobre probabilidad o tipicidad, sino sobre alcanzabilidad bajo operaciones admisibles. Este concepto aplica igualmente a sistemas cuánticos, clásicos y abstractos de control, y es independiente de suposiciones termodinámicas.

A1.3 — Clarificación de Alcance

El papel no propone un mecanismo de colapso, no deriva la regla de Born y no presupone ninguna hipótesis cosmológica o gravitacional.

Aísla la estructura definicional y de tipo teorema mínima requerida para hacer de la formación irreversible de registros un concepto bien definido y operativamente testable.

Cualquier teoría subsiguiente de selección de resultados o determinación debe construirse sobre este fundamento — o fracasar ante él.

A2 — Definiciones

Lo que sigue son las herramientas. Cada definición nombra una cosa específica y dice exactamente lo que hace. Si pierde el hilo, regrese aquí. Las definiciones no se mueven.

A2.1 — D1: Granulación Gruesa Físicamente Realizable $\mathscr{O}$

Sea ℋ_s el espacio de Hilbert del sistema y ℋ_e su entorno.

Una granulación gruesa físicamente realizada $\mathscr{O}$ es un conjunto finito de proyectores mutuamente ortogonales $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ que satisfacen todas las condiciones siguientes:

$\mathscr{O}$ no es elegida por el observador. Es seleccionada por la física del acoplamiento. Usted no elige lo que se mide. La interacción elige.

El punto crucial: $\mathscr{O}$ no es su elección. Es la elección de la naturaleza. La física de la interacción determina lo que se mide. Usted no puede seleccionar la base. El acoplamiento la selecciona por usted.

Nota de cálculo. En la práctica, la granulación gruesa físicamente realizable se identifica como el álgebra estable generada por los observables indicadores del hamiltoniano de interacción — por ejemplo, mediante el tamiz de predecibilidad (Zurek, 1993) o análisis de estabilidad bajo el acoplamiento sistema-entorno.

La Definición D5 (Invariancia Operativa) entonces prueba la robustez sobre todos los candidatos co-admisibles que sobreviven esta selección.

La identificación del álgebra indicadora para un hamiltoniano dado es un problema de investigación, no un algoritmo cerrado; D5 convierte esta apertura en una condición falsificable en lugar de dejarla como ambigüedad.

A2.2 — D2: Mapa de Desfase $\Delta\_\mathscr{O}$

Dada una matriz de densidad ρ sobre $\mathcal{H}\_s$. El mapa de desfase relativo a $\mathscr{O}$ se define como $\Delta\_\mathscr{O}(\rho) \equiv \Sigma_i \Pi_i \rho \Pi_i$. Elimina la interferencia cuántica entre sectores de registro y preserva las probabilidades clásicas.

Clarificación crítica. Preste atención — aquí es donde surge la mayor confusión. $\Delta\_\mathscr{O}$ no mide ignorancia.

Impone la proyección sobre el álgebra de registros, aislando la entropía atribuible a ramificación irreversible en lugar de falta de conocimiento. Este paso impide la mezcla de incertidumbre clásica con actualización física.

A2.3 — D3: Estado de Actualización — Definición Primaria

Enunciado de la Definición

Sea ρ la matriz de densidad reducida de un sistema tras trazar los grados de libertad inaccesibles. Sea $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ una granulación gruesa físicamente realizable, seleccionada por la interacción sistema-entorno (Definición D1).

Defina el mapa de desfase relativo a este álgebra de registros: $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho) \equiv \Sigma_i \Pi_i \rho \Pi_i$. El Estado de Actualización (EA) se define como EA = S_eff / S_max, donde S_eff es la entropía efectiva de registro definida abajo.

Entropía efectiva. Cuando los sectores de registro Π_i tienen rango mayor que uno, la entropía desfasada se descompone, donde $p_i = \mathrm{Tr}(\Pi_i \rho)$ y σ_i es el estado intra-sectorial normalizado. EA rastrea únicamente la ramificación inter-sectorial.

Lo que ocurre dentro de cada sector es invisible para EA — intencionalmente. La entropía efectiva que entra en EA se define con la entropía intra-sectorial descartada por construcción. Para sectores de rango 1, $S(\Delta_{\mathscr{O}}(\rho)) = H(\{p_i\})$ y no surge distinción.

Simplificación de rango 1. Para sectores de rango 1 (estados indicadores puros), la definición se simplifica a: $EA = H(\{p_i\}) / \log N$, donde H es la entropía de Shannon y $N = |\mathscr{O}|$ es el número de sectores de registro.

Normalización y cotas físicas

Sea $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ el álgebra de registro físicamente realizable con dimensión total $d_{\mathscr{O}} \equiv \Sigma_i \,\mathrm{rango}(\Pi_i)$. Defina: $S_{max}(\mathscr{O}) = \log d_{\mathscr{O}}$, $S_{min}(\mathscr{O}) = 0$, donde el mínimo corresponde al caso en que todo el peso reside en un único sector de registro.

Clarificación crucial. $S_{min}(\mathscr{O}) = 0$ se alcanza siempre que el estado accesible del sistema es puro y está confinado en un único sector de registro, incluso si Π_i tiene rango mayor que uno.

La degeneración interna o los grados de libertad no monitoreados dentro de un sector no contribuyen a la actualización. EA se anula por tanto en la selección completa hacia un único sector de registro, independientemente del rango interno de ese sector.

Interpretación: La Inversión del EA

Por qué entropía relativa al desfase (y no solo pureza). La pureza $\mathrm{Tr}(\rho^2)$ mezcla dos situaciones distintas: un sistema que nunca fue coherente pero está clásicamente mezclado debido a ignorancia, y un sistema que fue coherente y ha decoherido irreversiblemente hacia alternativas consistentes con registros.

Ambos pueden compartir la misma pureza. Solo el segundo representa actualización. Al aplicar $\Delta_{\mathscr{O}}$ antes del cálculo de entropía, la definición aísla la supresión de interferencia relativa a registros físicamente realizados. La ignorancia sola no cuenta como actualización.

Significado operativo

EA responde una pregunta y solo una: ¿En qué medida el sistema ha desarrollado compromiso estructurado en registros respecto a las alternativas que su entorno físico puede distinguir?

Piénselo así. Una moneda girando tiene EA = 1 — ramificación máxima, ambos lados igualmente posibles. Una moneda posada tiene EA = 0 — un lado, sin alternativas.

EA mide cuánto giro queda. No qué lado caerá. Solo: cuánto giro.

No le dice qué resultado ocurrirá. No le dice cuándo. Le dice cuánta ramificación existe ahora. Eso es todo.

Crucialmente: EA se calcula a partir del estado desfasado $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho)$, no directamente del estado físico ρ. Un sistema puede tener EA = 1 antes de que la decoherencia haya ocurrido físicamente, porque los pesos sectoriales del estado desfasado ya están maximalmente distribuidos.

EA mide estructura de ramificación, no progreso de decoherencia; este último se rastrea mediante la superficie de no retorno (D13).

Clarificación. EA mide estructura de ramificación inter-sectorial en el álgebra de registros. No mide por sí mismo irreversibilidad operativa, que se determina separadamente por pérdida de alcanzabilidad (Definición D13, Sección A4.1).

EA se define como un escalar. Pero el espacio que mide — el espacio de configuraciones de registro posibles — es un genuino grado de libertad.

En el corpus completo (AP10) es la quinta dimensión: tres espaciales, una temporal, una de actualización. La variedad vive en 3+1 dimensiones; el sector cuántico vive en la quinta.

Cada registro se escribe desde la dimensión de actualización hacia la variedad. EA mide cuán lejos a lo largo de esta dimensión ha progresado un sistema: desde pura posibilidad (EA = 0 en un solo sector) a través de ramificación máxima (EA = 1).

Esta interpretación no es requerida por las definiciones en A0–A3, que son autónomas. Se ofrece como orientación estructural para lectores que sitúen AP01 en el corpus más amplio.

La quinta dimensión precede a la variedad — es la precondición para la existencia de la variedad — pero no es menos real porque precede. Es la dimensión desde la cual se escribe la física.

Alcance y Kill Switch

EA se define relativo a una granulación gruesa. EA absoluto, libre de base, no tiene sentido. La legitimidad física se impone mediante la Definición D5 (Invarianza Operativa):

si EA varía más allá de la tolerancia experimental entre $\mathscr{O}$ físicamente realizables, el argumento fracasa.

Esta es la condición de aborto incorporada.

Ejemplo Elaborado: Desfase de Dos Qubits

Los números hacen reales las abstracciones. Siga este ejemplo y entenderá EA mejor de lo que cualquier cantidad de lectura de definiciones podría ofrecer.

Considere dos qubits, S_1 y S_2, cada uno acoplado a un fragmento independiente del entorno, con base indicadora $\mathscr{O} = \{\Pi_{00}, \Pi_{01}, \Pi_{10}, \Pi_{11}\}$ donde $\Pi_{ij} = |ij\rangle\langle ij|$ e i, j $\in$ {0, 1}. El álgebra de registros tiene $d_{\mathscr{O}} = 4$ sectores.

Estado inicial: $|\psi(0)\rangle = (|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle)/2 \otimes |E_0\rangle$. El estado reducido tras desfase es $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho_s) = \mathrm{diag}(¼, ¼, ¼, ¼)$. Pesos sectoriales: $p_{ij} = ¼$ para todo (i,j).

Entropía efectiva: $S_{eff} = H(\{¼, ¼, ¼, ¼\}) = \log 4$. Normalización: $S_{max} = \log 4$. Por tanto EA = log 4 / log 4 = 1. Ramificación máxima sobre cuatro sectores de registro.

Ahora suponga que solo S_1 ha decoherido, mientras S_2 permanece coherente. El estado accesible es $\rho_s = ½(|0\rangle\langle 0| \otimes |+\rangle\langle +|) + ½(|1\rangle\langle 1| \otimes |+\rangle\langle +|)$ donde $|+\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$. Tras desfase en la base de cuatro sectores: $p_{00} = p_{01} = p_{10} = p_{11} = ¼$.

EA = 1 de nuevo. Los pesos sectoriales son idénticos a pesar de la decoherencia parcial. Esto ilustra el punto central: EA rastrea la estructura de ramificación del estado desfasado, no el progreso físico de la decoherencia.

La distinción entre estas dos situaciones no es capturada por EA, sino por la superficie de no retorno (D13): en el primer caso el sistema la ha cruzado; en el segundo no.

Finalmente, suponga que la decoherencia está completa, pero un sector ha sido despoblado por disipación: $p_{00} = ½$, $p_{01} = ¼$, $p_{10} = ¼$, $p_{11} = 0$.

Entonces $S\_eff = H(½, ¼, ¼, 0) = ½ \log 2 + ½ \log 4 = ½ \log 2 + \log 2 = ¾ \log 2$, y $EA = (¾ \log 2) / \log 4 = ¾ = 0{,}75$. La disipación ha reducido la ramificación.

Esto es consistente con la Proposición T1b: las dinámicas no unitales pueden disminuir EA.

A2.4 — D4: Representación Basada en Historias de EA (EA_h)

Sea $\{\alpha\}$ un conjunto de historias de grano grueso, definidas por $\mathscr{O}$, con funcional de decoherencia $D(\alpha, \beta)$.

Defina la representación basada en historias del Estado de Actualización como $EA\_h = H(\{p_a\}) / \log N$, donde $p_a = D(\alpha, \alpha)$, $H(\{p_a\})$ es la entropía de Shannon y N es el número de historias admisibles.

$EA\_h = 0$: una única historia trivial (sin ramificación). $EA\_h = 1$: ramificación máxima estructurada en registros. Bajo decoherencia completa en el álgebra $\mathscr{O}$, la entropía desfasada se reduce a $H(\{p_i\})$.

En este régimen, EA_h coincide con la definición primaria de EA salvo normalización. Las condiciones formales para la equivalencia se establecen en el Apéndice A.

Si usted sigue el argumento estructural, la definición primaria es todo lo que necesita. La representación en historias existe para lectores que trabajan dentro del marco de historias consistentes.

Convenciones de Aproximación y Criterios Operativos

A lo largo de esta obra, términos cualitativos como «efectivo», «operativo» o «inaccesible» son abreviaturas de condiciones cuantitativamente definidas.

Ortogonalidad efectiva. Dos estados ρ y σ son efectivamente ortogonales si y solo si $½||\rho - \sigma||_1 \geq 1 - \varepsilon$, para tolerancia operativa fija $\varepsilon > 0$.

Inaccesibilidad operativa. Una propiedad es operativamente inaccesible si y solo si ningún mapa CPTP admisible Λ, actuando sobre el sistema accesible, puede cambiar el estado reducido en más de ε en norma de traza: $||\Lambda(\rho_s) - \rho_s||_1 \leq \varepsilon$ para todo Λ admisible.

El parámetro ε representa resolución experimental y se mantiene fijo dentro de cualquier análisis dado.

A2.5 — D5: Prueba de Invariancia Operativa (Kill Switch F0)

Planteamiento

Sean $\mathscr{O}_1 = \{\Pi_i^{(1)}\}$ y $\mathscr{O}_2 = \{\Pi_j^{(2)}\}$ dos granulaciones gruesas físicamente realizables del mismo sistema experimental, cada una admisible bajo la Definición D1 para el mismo protocolo de preparación y control.

Sea ρ el estado reducido inferido de datos experimentalmente accesibles y $\delta_{exp} > 0$ la tolerancia experimentalmente justificada.

Definición D5 (Requisito de Invariancia Operativa)

EA es operativamente invariante si y solo si para todos los pares admisibles $(\mathscr{O}_1, \mathscr{O}_2)$ y todos los ρ experimentalmente accesibles se cumple: $|EA(\rho; \mathscr{O}_1) - EA(\rho; \mathscr{O}_2)| \leq \delta_{exp}$.

Si dos granulaciones gruesas son ambas físicamente realizadas por el mismo acoplamiento sistema-entorno y restricciones del aparato, no deben producir valores de EA incompatibles más allá de la tolerancia experimental.

Falsificador F0 (Kill Switch Global)

Si existe algún sistema experimentalmente realizable y algún par co-admisible $(\mathscr{O}_1, \mathscr{O}_2)$ tal que ensayos repetidos producen $|EA(\rho; \mathscr{O}_1) - EA(\rho; \mathscr{O}_2)| > \delta_{exp}$ de forma persistente, entonces EA no es una cantidad operativa bien definida y el argumento está falsificado.

Esa es una condición de aborto global.

Notas de Alcance

Lea F0 de nuevo. Es la oración más importante de este papel. Si dos métodos legítimos de medición del mismo sistema arrojan valores de EA diferentes más allá de la tolerancia experimental, el PROGRAMA ENTERO está muerto.

No solo este papel. Todo lo que se construye sobre él. Cada prueba subsiguiente. Cada conclusión ética. Todo.

Así es como se ve un argumento honesto — le da las herramientas para destruirlo.

D5 no requiere invariancia bajo refinamientos arbitrarios, particiones matemáticas burdas o bases elegidas por el observador. D5 requiere robustez solo sobre álgebras de registro físicamente realizadas dentro del mismo contexto experimental.

El fracaso de postulados dinámicos posteriores no afecta a D5; a la inversa, el fracaso de D5 invalida todo el programa de EA.

Ejemplo Elaborado: Invariancia Operativa en Circuit QED

Considere un qubit transmon acoplado dispersivamente a un resonador de microondas.

La interacción sistema-entorno selecciona la base de paridad de carga como álgebra indicadora: $\mathscr{O}_1 = \{|g\rangle\langle g|, |e\rangle\langle e|\}$, donde $|g\rangle$ y $|e\rangle$ son el estado fundamental y excitado del transmon.

Esta es una granulación gruesa físicamente realizable en el sentido de D1: es seleccionada por el hamiltoniano dispersivo $H_{int} = \chi a^\dagger a \sigma_z$, que entrelaza número de fotones con estado del qubit.

Considere ahora una segunda granulación gruesa que emerge del mismo montaje físico. Para la interacción dispersiva, el desplazamiento de fase condicional $\varphi = \chi t$ sobre el campo de la cavidad genera estados indicadores que permanecen como los autoestados de energía $|g\rangle$, $|e\rangle$, independientemente de los parámetros de excitación.

Toda granulación gruesa co-admisible $\mathscr{O}_2$ que emerge del mismo acoplamiento dispersivo debe por tanto coincidir con $\mathscr{O}_1$ salvo renombramiento de sectores.

Prueba de invariancia operativa. Prepare el qubit en el estado $|\psi\rangle = \alpha|g\rangle + \beta|e\rangle$ y permita decoherencia vía desfase dependiente del número de fotones. El estado reducido es $\rho_s = |\alpha|^2|g\rangle\langle g| + |\beta|^2|e\rangle\langle e|$.

$EA(\rho; \mathscr{O}_1) = H(|\alpha|^2, |\beta|^2) / \log 2$. Dado que para este acoplamiento $\mathscr{O}_2$ coincide con $\mathscr{O}_1$, $EA(\rho; \mathscr{O}_2) = EA(\rho; \mathscr{O}_1)$ exactamente. D5 se satisface con $\delta_{exp} = 0$.

El ejemplo es intencionalmente simple: en Circuit QED el acoplamiento dispersivo determina unívocamente la base indicadora, de modo que las granulaciones gruesas co-admisibles son trivialmente equivalentes. Ese es el punto.

La invariancia operativa es más fácil de verificar en sistemas donde el hamiltoniano de acoplamiento restringe fuertemente el álgebra indicadora.

Las pruebas interesantes de D5 surgen en sistemas con estructuras de acoplamiento más ricas — y esos son los sistemas que confirmarán o matarán el argumento, donde múltiples candidatos indicadores compiten y pequeñas diferencias en EA sobre bases co-admisibles pueden medirse contra δ_{exp}.

A3 — Teoremas: Irreversibilidad y No Retorno

Las definiciones están establecidas. Ahora las pruebas. Lo que sigue no puede discutirse con argumentos — solo puede someterse a prueba.

A3.1 — Teorema T1: Monotonía de EA bajo Dinámicas Decoherentes

Planteamiento

Sea $\rho(t)$ el estado reducido de un sistema que evoluciona bajo un semigrupo dinámico completamente positivo y que preserva la traza (CPTP) $\{\mathcal{E}_t\}_{t\geq 0}$ con generador $\mathcal{L}$.

Sea $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ un álgebra de registros físicamente realizable (Definición D1), y sea $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho)$ el mapa de desfase asociado.

Teorema T1 (Enunciado)

Este es el resultado central del Papel A. Todo lo anterior fue preparación. Todo lo posterior es consecuencia.

El resultado dice: Bajo tres condiciones precisamente enunciadas, la ramificación solo puede crecer. La moneda no puede des-posarse. La tinta no puede des-secarse. El registro no puede des-escribirse.

La posibilidad se convierte en hecho, y la transición es unidireccional.

No porque la física prohíba la reversión — sino porque las condiciones que producen registros son las condiciones que hacen valer la desigualdad.

El Estado de Actualización es monótonamente no decreciente a lo largo de la evolución ρ(t), siempre que se cumplan las siguientes condiciones mínimamente suficientes:

(1) Decoherencia relativa al álgebra de registros. La interferencia entre sectores de registro no se regenera: $(d/dt)\, C_{\mathscr{O}}(\rho(t)) \leq 0$, donde $C_{\mathscr{O}}$ es cualquier monótono de coherencia que se anula en $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho)$.

Equivalentemente: los elementos fuera de la diagonal en la base $\mathscr{O}$ decaen monótonamente.

(2) Clausura del álgebra de registros. $\Delta\_\mathscr{O} \circ \mathcal{E}\_t = \mathcal{E}\_t \circ \Delta\_\mathscr{O}$ para todo $t \geq 0$.

Esto asegura que las poblaciones en los sectores de registro evolucionan autónomamente una vez que han decoherido.

(3) Dinámicas unitales (mezcladoras) sobre el álgebra de registros. Los pesos sectoriales $p_i(t) = \mathrm{Tr}(\Pi_i\ \rho(t))$ evolucionan bajo un mapa doblemente estocástico: $p(t) = M(t)\ p(0)$, donde M preserva la distribución uniforme.

En palabras simples: La mezcla es justa. Ningún sector es favorecido. Las dinámicas distribuyen probabilidad en lugar de concentrarla.

Conclusión. Bajo las condiciones (1)–(3), el Estado de Actualización es monótono a lo largo de dinámicas decoherentes formadoras de registros.

Alcance del teorema. El Teorema T1 es un enunciado condicional. Su dominio de aplicación es exactamente el conjunto de dinámicas que satisfacen las condiciones (1)–(3).

Las dinámicas fuera de este dominio — incluyendo evolución disipativa, no unital o controlada por retroalimentación — pueden disminuir EA.

Esto no contradice el teorema; indica que las dinámicas no son puramente formadoras de registros en el sentido definido arriba.

Nota sobre novedad y alcance. Las condiciones (1)–(3) son suficientes pero no necesarias. La monotonía de la entropía de Shannon bajo mezcla doblemente estocástica es un resultado estándar (convexidad de Schur), y este papel no afirma otra cosa.

Lo nuevo no es la desigualdad matemática, sino su aplicación física: la identificación de las condiciones bajo las cuales la mezcla doblemente estocástica es la descripción efectiva correcta de la decoherencia en un álgebra de registros físicamente realizada, el aislamiento de la entropía de ramificación inter-sectorial (vía mapa de desfase $\Delta\_\mathscr{O}$) de la entropía termodinámica, y la cota de tasa explícita (T1a) y la reversión (T1b) que transforman la monotonía en una herramienta diagnóstica.

El teorema es una desigualdad conocida aplicada en un nuevo contexto físico; la contribución es el contexto, no la desigualdad.

Usted ve una herramienta matemática conocida aplicada a una nueva pregunta física — y la respuesta que da es crucial.

Lema T1.1 (Mezcla Doblemente Estocástica)

Bajo las condiciones (2) y (3), los pesos sectoriales p(t) evolucionan bajo una matriz doblemente estocástica M(t) para todo $t \geq 0$. La prueba es breve, y es el motor que impulsa todo.

Prueba. Por la condición (2), la evolución conmuta con el desfase: $\Delta\_\mathscr{O} \circ \mathcal{E}\_t = \mathcal{E}\_t \circ \Delta\_\mathscr{O}$. Por tanto los elementos diagonales evolucionan autónomamente: existe un mapa lineal M(t) con p(t) = M(t) p(0).

El mapa es estocástico porque $\mathcal{E}\_t$ preserva la traza: $\Sigma_i\, p_i(t) = 1$ para todo t. La unitalidad (condición 3) significa $\mathcal{E}\_t(I/d) = I/d$. Aplicando $\Delta\_\mathscr{O}$ a ambos lados y usando la condición (2): $\Delta\_\mathscr{O}(\mathcal{E}\_t(I/d)) = \mathcal{E}\_t(\Delta\_\mathscr{O}(I/d)) = \mathcal{E}\_t(I/d) = I/d$. En pesos sectoriales: la distribución uniforme es fija: $M(t)(1/N, \ldots, 1/N)^T = (1/N, \ldots, 1/N)^T$.

Una matriz estocástica que preserva la distribución uniforme es doblemente estocástica. □

El lema es breve. Su consecuencia no. Una vez que sabe que la mezcla es doblemente estocástica, la desigualdad de Shannon hace el resto.

La monotonía de EA se sigue de una cadena de implicaciones, cada eslabón forjado por matemáticas estándar. Con el Lema T1.1 establecido, la monotonía de la entropía de Shannon bajo mezcla doblemente estocástica se sigue como resultado estándar (convexidad de Schur de −H). El teorema se sigue.

La prueba es matemáticas estándar aplicadas a un nuevo contexto físico. Lo nuevo no es la desigualdad, sino la percepción de que las dinámicas formadoras de registros satisfacen exactamente las condiciones que hacen valer la desigualdad.

Interpretación

Cuando la interferencia entre alternativas distinguibles por registros es suprimida, el álgebra de registros es dinámicamente cerrada, y las probabilidades de sector de registro se mezclan sin reflujo coherente, la riqueza informativa de la ramificación clásica comprometida no puede disminuir.

Este crecimiento monótono define la flecha de la actualización. Usted ha vivido toda su vida dentro de esta flecha. Cada momento fue hacia adelante.

Cada registro fue permanente. El teorema dice por qué: Bajo las condiciones que producen registros, la ramificación solo puede crecer.

Límite de alcance explícito

Fuera de estas tres condiciones, la garantía es nula. EA puede disminuir bajo enfriamiento, decaimiento, relajación, control por retroalimentación o cualquier dinámica que canalice probabilidad hacia menos sectores. El teorema no reclama universalidad. Reclama precisión.

Estos casos no contradicen el teorema; están fuera de su alcance por construcción.

Por qué el alcance es exacto

Preste atención. Es la diferencia entre un teorema real y una mano agitada.

EA mide ramificación, no determinación. La decoherencia genera ramificación — EA aumenta. La selección resuelve la ramificación — EA disminuye. T1 aplica solo a la fase de generación.

El teorema no afirma que EA siempre aumente en todas partes para siempre. Afirma algo mucho más preciso: Bajo exactamente estas tres condiciones, EA no puede disminuir. Si viola las condiciones, la garantía es nula.

Las condiciones no son detalles técnicos. Son la física. Y la física es testable.

Afinamiento Cuantitativo: Cotas de Tasa y Reversión

El Teorema T1 establece monotonía pero no cuantifica la tasa a la que EA se aproxima a su valor de equilibrio, ni caracteriza condiciones bajo las cuales EA debe disminuir. Los dos resultados siguientes afinan T1 en ambas direcciones.

Corolario T1a (Tasa de Convergencia)

Bajo las condiciones (1)–(3), sea la dinámica clásica inducida sobre los pesos sectoriales dada por una matriz de tasas doblemente estocástica en tiempo continuo W, tal que $dp/dt = Wp$.

Sea $\lambda_2 < 0$ el segundo mayor autovalor de W (la brecha espectral). Entonces la desviación de EA respecto a su valor de equilibrio $EA\_eq = 1$ satisface: $|EA(t) - 1| \leq C \cdot \exp(\lambda_2 t)$, donde C depende de la condición inicial.

Derivación: Para cualquier distribución inicial $p(0)$, su desviación de la distribución uniforme satisface: $||p(t) - \pi||_1 \leq \sqrt{N} \cdot \exp(\lambda_2 t)$ (por cotas de contracción estándar para cadenas de Markov reversibles).

La entropía de Shannon $H(p)$ es Lipschitz en la norma L_1 sobre el símplex de probabilidad: $|H(p) - H(q)| \leq ||p - q||_1 \cdot \log N$ (cota de continuidad de la entropía; Cover y Thomas 2006).

Por tanto $|EA(t) - 1| = |H(p(t)) - \log N| / \log N \leq ||p(t) - \pi||_1 \leq \sqrt{N} \cdot \exp(\lambda_2 t)$, donde la constante $C = \sqrt{N}$ absorbe la dependencia dimensional.

La tasa de convergencia hacia ramificación máxima está por tanto controlada por la brecha espectral de la dinámica de mezcla, no por una propiedad intrínseca de la definición de EA.

Para el modelo simétrico de d sectores con tasa de mezcla inter-sectorial uniforme w, la brecha espectral es $\lambda_2 = -dw$, y el tiempo de convergencia a $EA \approx 1$ escala como $\tau \sim 1/(dw)$.

Esto conecta el crecimiento de EA directamente con la tasa de decoherencia física del álgebra de registros.

Cuanto más rápido el entorno registra el sistema, más rápido sube EA. Usted puede medir esto. La brecha espectral es una cantidad física. La tasa de convergencia es una predicción.

Proposición T1b (Reversión: Condiciones para la Disminución de EA)

Si la condición (3) se viola — específicamente si las dinámicas clásicas inducidas sobre los pesos sectoriales son gobernadas por una matriz estocástica M que no es doblemente estocástica, con distribución estacionaria $\pi \neq$ distribución uniforme — entonces existen distribuciones iniciales $p(0)$ para las cuales EA disminuye estrictamente.

Físicamente, la Proposición T1b corresponde a dinámicas disipativas que canalizan poblaciones preferentemente hacia un subconjunto de sectores de registro (p.ej., amortiguamiento de amplitud, decaimiento espontáneo hacia un sector de estado fundamental).

Tales dinámicas violan la condición unital (3) y empujan EA hacia abajo.

Esta reversión confirma que la condición (3) no es una mera conveniencia técnica, sino un requisito físico: la monotonía de EA es una signatura de mezcla simétrica impulsada por el entorno, no de relajación disipativa.

Si EA disminuye, algo está canalizando probabilidad hacia menos ramas — enfriamiento, decaimiento, relajación. Si EA aumenta, el entorno está escribiendo registros. La dirección le dice qué proceso es dominante.

Resumen. T1, T1a y T1b juntos establecen que la monotonía de EA es la huella dactilar exacta de dinámicas doblemente estocásticas formadoras de registros. T1 da la dirección, T1a da la tasa, y T1b da la reversión.

Ninguna caracterización adicional de la monotonía es necesaria ni se reclama.

A3.2 — El Horizonte del Operador: No Retorno como Desigualdad (Teorema T2)

Planteamiento

Sea $x(t) \geq 0$ una variable escalar que representa el grado de estructura mantenida de un sistema — desviación de su equilibrio sin mantenimiento.

Asuma dinámicas deterministas: $dx/dt = -a\,x + u$, donde a es una tasa intrínseca de decaimiento/deriva hacia el equilibrio, u es una entrada de control/mantenimiento, y $u_{max} \geq 0$ es un límite duro de la capacidad de control.

Teorema T2 (Horizonte del Operador)

Usted ha sentido este teorema en su cuerpo. Todo sistema con recursos limitados — todo cuerpo, toda empresa, toda civilización — tiene un punto más allá del cual ninguna estrategia puede salvarlo.

El teorema nombra ese punto. Defina el Horizonte del Operador $x_h = u_{max} / a$.

Si en algún momento t_0 el sistema satisface $x(t_0) > x_h$, entonces para todos los controles admisibles $u(t)$: $x(t)$ decrece. Una vez que cruza el horizonte, $x(t)$ decrece sin importar lo que haga. El esfuerzo máximo desacelera el declive, pero no puede revertirlo. La recuperación solo por control es imposible.

Prueba

De las dinámicas: $dx/dt = -a x + u \leq -a x + u_{max}$.

Si $x > u_{max}/a$, entonces $-a x + u_{max} < 0$, luego $dx/dt < 0$. En $x = x_h$ el control máximo produce $dx/dt = 0$; la continuidad implica aproximación monótona a x_h desde arriba. □

Interpretación

x_h es un límite de capacidad, no un muro físico. Es la estructura máxima sostenible bajo esfuerzo máximo de mantenimiento.

Más allá de x_h, el sistema decae hacia el horizonte independientemente de la estrategia: La irreversibilidad surge de la insuficiencia del control admisible, no de la prohibición de dinámicas inversas.

Generalizaciones

Decaimiento no lineal: Si $dx/dt = -g(x) + u$ con $g(0) = 0$, $g(x)$ creciente, el horizonte se define implícitamente por $g(x_h) = u_{max}$.

Su cuerpo opera bajo decaimiento no lineal — los costes de mantenimiento de la salud crecen con la edad, y el horizonte se desplaza. El resultado cualitativo de no retorno no cambia.

Capacidad dependiente del tiempo: Si $a(t)$ o $u_{max}(t)$ varían, $x_h(t) = u_{max}(t)/a(t)$ define un horizonte dependiente del tiempo; exceder el horizonte instantáneo durante tiempo suficiente produce comportamiento de no retorno práctico.

Usted lo sabe. Ha visto un jardín descontrolarse más allá del punto donde podía cuidarlo. Ha visto deudas crecer más allá del punto donde los ingresos podían servirlas.

Ha visto un cuerpo deteriorarse más allá del punto donde la medicina podía restaurarlo. Las matemáticas confirman lo que su experiencia ya sabe: hay una línea, y una vez que la cruza, el esfuerzo no es suficiente.

Analogía clásica: Considere un balde con fuga y una tasa limitada de rellenado. El horizonte es el nivel máximo que puede mantenerse bombeando al máximo. Una vez por encima, el balde se vacía independientemente del esfuerzo.

A3.3 — Superficies de No Retorno e Irreversibilidad Operativa

Planteamiento

El horizonte escalar es el caso simple. Los sistemas reales tienen muchas dimensiones. La generalización utiliza la teoría de la viabilidad (Aubin, 1991) — las matemáticas de la supervivencia bajo restricciones.

Definición D6: Espacio de estados y dinámicas admisibles. Sea $X \subseteq \mathbb{R}^n$ el espacio de estados. Los controles admisibles satisfacen $u(t) \in U$, donde U es compacto. Dinámicas: $dx/dt = f(x, u)$, $u \in U$, con f localmente Lipschitz continua en x. Sea $R \subset X$ el conjunto recuperable (seguro).

Definición D7: Núcleo de viabilidad. $\mathrm{Viab}(R) \equiv \{x_0 \in R \mid \exists\, u(\cdot) \in U$ tal que $x(t; x_0, u) \in R\ \forall\, t \geq 0\}$. Estados desde los cuales el sistema puede mantenerse en R indefinidamente mediante control admisible.

Definición D8: Cuenca de captura. $\mathrm{Cap}(R) \equiv \{x_0 \in X \mid \forall\, u(\cdot) \in U, \exists\, t \geq 0: x(t; x_0, u) \notin R\}$. Estados desde los cuales la salida de R bajo todos los controles admisibles es inevitable.

Definición D9: Superficie de no retorno. $\Sigma\_h \equiv \partial \mathrm{Viab}(R)$. Esta es la generalización geométrica del horizonte escalar x_h.

Proposición P3.3

Bajo las condiciones estándar de viabilidad (continuidad Lipschitz local de f, U compacto): (1) Viab(R) consiste en estados desde los cuales al menos un control admisible evita la pérdida indefinidamente; Cap(R) consiste en estados desde los cuales todos los controles admisibles conducen a la pérdida en tiempo finito.

Cruzar Σ_h transfiere el sistema de una región donde la recuperación es alcanzable a una región donde no lo es. Salvedad: Viab(R) y Cap(R) particionan X salvo la frontera Σ_h. Los estados fronterizos pueden ser marginales.

Definición D10: Irreversibilidad Operativa (Cuantificada). Un estado x_0 es operativamente irreversible respecto a R si y solo si $x_0 \notin \mathrm{Viab}(R)$. La transición inversa a R no existe bajo controles admisibles.

La irreversibilidad operativa depende de la alcanzabilidad bajo restricciones, no de la simetría temporal microscópica. La diferencia es crucial. Un jarrón roto no es irreversible porque la física prohíba el ensamblaje.

Es irreversible porque usted no tiene los recursos, la precisión ni el tiempo para ensamblarlo. La irreversibilidad se trata de lo que usted puede hacer, no de lo que la naturaleza prohíbe.

Consistencia con A3.2

A3.2 se recupera como caso especial: $n = 1$, $f(x, u) = -ax + u$, $R = [0, x\_h]$. Entonces $\mathrm{Viab}(R) = [0, x\_h]$, $\Sigma\_h = \{x\_h\}$.

El horizonte escalar es exactamente la superficie de no retorno unidimensional.

Usted ahora tiene la geometría de no retorno completa. El horizonte escalar (T2) es el caso simple. El núcleo de viabilidad (D7) es el caso general. La superficie de no retorno (D9) es la frontera entre donde aún puede recuperarse y donde no puede.

Todo sistema que le haya importado jamás — su cuerpo, sus relaciones, su trabajo — tiene esta geometría. Las matemáticas nombran lo que su experiencia ya sabe.

Notas de robustez. Bajo perturbación estocástica, reemplace viabilidad por viabilidad casi segura o probabilística; Σ_h se convierte en una frontera probabilística. El concepto no cambia; solo el cuantificador cambia. Viab(R) y Σ_h son calculables mediante métodos de alcanzabilidad de Hamilton-Jacobi.

A4 — Instanciación Mecánico-Cuántica

Las Secciones A0–A3 están completas. Se sostienen por sí solas. Lo que sigue añade postulados independientemente falsificables — cada uno una invitación a destruir un reclamo específico. Si un postulado en esta sección cae, todo lo anterior sobrevive.

Usted pierde la extensión, no el fundamento.

Las Secciones A0–A3 establecen definiciones y teoremas que son autónomos: dependen solo de definiciones operativas, mecánica cuántica estándar y teoría de la viabilidad. Nada en A0–A3 requiere el contenido de A4 o A5.

La transición de teorema a postulado se marca explícitamente en cada punto de introducción.

A4.1 — Irreversibilidad Operativa en Sistemas Cuánticos Abiertos

La geometría de viabilidad de la Sección A3 se encuentra ahora con la mecánica cuántica. Lo abstracto se vuelve concreto.

Planteamiento: Dinámicas accesibles. Usted tiene acceso al sistema, pero no al entorno. Esta restricción es la fuente de la irreversibilidad.

El espacio de Hilbert total factoriza como $\mathcal{H} = \mathcal{H}_s \otimes \mathcal{H}_e$, donde el estado total evoluciona unitariamente bajo H_{se}. El estado accesible del sistema — el que usted realmente puede medir — es $\rho_s(t) = Tr_e[U(t)\, \rho_{se}(0)\, U^\dagger(t)]$.

Las operaciones admisibles están restringidas a mapas CPTP locales al sistema — las operaciones que usted realmente puede realizar sobre el sistema sin acceder al entorno.

Definición D11: Estados restaurables en coherencia. Un estado del sistema ρ_s es restaurable en coherencia relativo a $\mathscr{O}$ si y solo si existe un mapa CPTP admisible Λ con $||\Lambda(\rho_s) - \rho_{coh}||_1 \leq \varepsilon$, para un estado ρ_{coh} con $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho_{coh}) \neq \rho_{coh}$.

Definición D12: Conjunto recuperable y núcleo de viabilidad. $K_\varepsilon(\mathscr{O}) := \{\rho_s \mid \rho_s$ es restaurable en coherencia$\}$. $K_\varepsilon(\mathscr{O})$ es el núcleo de viabilidad de la coherencia bajo control admisible. Los estados fuera de $K_\varepsilon(\mathscr{O})$ son operativamente irreversibles.

Proposición P4.1: Trazar induce pérdida de alcanzabilidad.

Cuando la interacción sistema-entorno produce correlaciones tales que diferentes sectores de registro se correlacionan con estados del entorno ortogonales (o separados en distancia de traza), entonces para ε suficientemente pequeño: $\rho_s(t) \notin K_\varepsilon(\mathscr{O})$.

Una vez que la información de qué-registro está codificada en grados de libertad inaccesibles, ninguna operación admisible sobre S solo puede restaurar la coherencia entre sectores de registro.

Usted lo ha sentido. Una vez que las palabras salen de su boca, no puede des-decirlas. El entorno las ha registrado — en la memoria de la otra persona, en las vibraciones del aire, en la radiación electromagnética que abandonó la habitación a la velocidad de la luz.

Ninguna operación sobre su boca sola puede deshacer lo que el entorno ahora contiene.

Definición D13: Superficie de No Retorno Operativa (Cuántica). La superficie de no retorno operativa relativa a $\mathscr{O}$ es la frontera $\partial K\_\varepsilon(\mathscr{O})$.

Cruzar esta frontera transfiere el sistema de una región donde la coherencia es restaurable a una región donde no lo es. La irreversibilidad se identifica con pérdida de alcanzabilidad. No con disipación de energía. No con aumento de entropía. Sino con el hecho de que usted no puede regresar.

Interpretación. La irreversibilidad operativa en la mecánica cuántica surge no de la no unitariedad, sino del acceso restringido.

Trazar los grados de libertad inaccesibles remueve estados del conjunto recuperable K_ε y genera una superficie de no retorno en el espacio de estados, exactamente análoga a los horizontes del operador de la Sección A3.

A4.2 — Canales Objetivos de Actualización y Dinámica de Selección

Imposibilidad de selección determinista por dinámicas CPTP lineales.

Proposición. Ningún mapa CPTP determinista y lineal actuando sobre el estado del sistema puede transformar una mezcla diagonal sobre sectores de registro en un único sector realizado en ejecuciones individuales.

La evolución CPTP lineal preserva mezclas convexas: $\mathcal{E}(\Sigma_i p_i \rho_i) = \Sigma_i p_i \mathcal{E}(\rho_i)$. Cualquier mapa CPTP lineal que actúe idénticamente sobre cada componente preserva la estructura de mezcla y no puede producir determinación de resultado único en realizaciones individuales.

Todo mecanismo que resuelva una mezcla decoherida — todo mecanismo que produzca la determinación que usted experimenta — hacia una única rama realizada debe involucrar un desdoblamiento estocástico o una evolución efectiva explícitamente no lineal a nivel de trayectorias individuales.

Lea eso de nuevo. La mecánica cuántica estándar — lineal, determinista, que preserva la traza — no puede producir determinación en ejecuciones individuales. Se requiere algo más.

Definición D14: Decoherencia vs. Selección.

La decoherencia suprime la interferencia entre alternativas distinguibles por registros, produciendo una mezcla diagonal estable en el álgebra de registros $\mathscr{O}$. **La selección** es la transición ulterior de una mezcla diagonal a una única rama realizada.

La decoherencia es suficiente para la irreversibilidad. La selección es necesaria para la determinación. Usted vive en un mundo determinado. Algo selecciona.

Estos son procesos diferentes. Usted los experimenta como diferentes. El formalismo confirma su experiencia.

Postulado P: Canal Objetivo de Actualización.

El papel postula un canal objetivo de actualización que actúa sobre el estado reducido después de la decoherencia. Los requisitos estructurales (S0–S4):

(S0) Condición de activación. $A\_\mathscr{O} \approx 0$ hasta que la condición de decoherencia (D13) se satisface dentro de la tolerancia ε. La selección se activa solo después de que las ramas son operativamente distintas.

(S1) Localidad del álgebra de registros. $A\_\mathscr{O}(\rho\_s) = A\_\mathscr{O}(\Delta\_\mathscr{O}(\rho\_s))$. La selección nunca genera interferencia.

(S2) Puntos fijos sectoriales. $A\_\mathscr{O}(\Pi_i\ \rho\_s\ \Pi_i) = 0$ para todo i. Una vez que una rama se realiza, las dinámicas cesan.

(S3) Contractilidad (resolución en ejecución individual). Bajo el desdoblamiento estocástico, la entropía de Shannon $H(\{p_i\})$ es un supermartingala: disminuye a lo largo de trayectorias individuales casi seguramente.

(S4) Condición de frontera de Born. Para un ensamble de preparaciones idénticas al inicio de la selección, la distribución de ramas realizadas converge a $\{p_i\}$. S4 es una condición de frontera, no una derivación.

Note lo que esto dice y no dice. No explica por qué vale la regla de Born. Dice: sea lo que sea la selección, debe producir estadísticas de Born a nivel de ensamble. La restricción es estructural. La explicación es problema de otro.

Cinco requisitos estructurales. Ningún mecanismo — una interfaz. Sea lo que sea la selección, debe satisfacer estas cinco restricciones. Las restricciones son testables. El mecanismo es asunto de la naturaleza.

Relación con el Estado de Actualización. La selección reduce EA.

La decoherencia aumenta EA creando ramificación estructurada en registros (A3.1). La selección disminuye EA colapsando esa ramificación en una única historia realizada. No hay contradicción: EA mide riqueza de ramificación, no determinación de resultado.

La decoherencia abre el abanico. La selección lo cierra. EA rastrea el abanico.

Falsificabilidad.

F1 (Fallo indicador): La selección no respeta el álgebra de registros $\mathscr{O}$.

F2 (Violación de Born): Las estadísticas de ensamble de ramas realizadas se desvían de $\{p_i\}$.

F3 (Dependencia del contexto): La selección depende de la intervención del observador en lugar de dinámicas objetivas.

El fracaso del postulado no invalida EA, ni T1–T2, ni A4.1.

A4.3 — Restricciones Físicas sobre las Tasas de Selección (Gravitación como Limitador)

Definición D15: Distinguibilidad por auto-energía gravitacional. Sean dos sectores de registro decoheridos i y j con densidades de masa-energía $\rho_i(x)$ y $\rho_j(x)$. La diferencia de auto-energía gravitacional ΔE_G cuantifica el grado en que las dos configuraciones de campo son distinguibles.

ΔE_G = 0: los dos registros son gravitacionalmente indistinguibles. Mayor ΔE_G: mayor distinguibilidad gravitacional.

Postulado G: Tasa de Selección Limitada por Gravitación.

La tasa de selección objetiva entre dos sectores de registro está acotada superiormente por su distinguibilidad gravitacional: $\lambda_{ij} \leq \Delta E\_G/\hbar$.

La cota es una desigualdad limitante, no una ecuación. La selección puede ser más lenta. La selección no puede ser más rápida sin invocar un acoplamiento más fuerte que la gravitación.

Motivación física. Esta cota no se deriva de primeros principios; es un postulado. Pero no es arbitraria.

Dos sectores de registro con diferentes distribuciones de masa-energía son fuente de diferentes campos gravitacionales. Si estos sectores están en superposición, el campo gravitacional mismo está en superposición de configuraciones distinguibles.

La relación energía-tiempo $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ implica entonces que el tiempo mínimo requerido para que cualquier proceso físico resuelva esta distinguibilidad es $\Delta t \sim \hbar/\Delta E_G$.

Piense en lo que esto significa para objetos cotidianos. Un gato en una caja tiene una enorme diferencia de auto-energía gravitacional entre las configuraciones «vivo» y «muerto» — diferentes distribuciones de masa, diferentes campos gravitacionales.

La cota dice: la selección ocurre casi instantáneamente. Usted nunca ve un gato en superposición porque la gravitación lo resuelve antes de que pueda notarlo.

Un espín electrónico tiene esencialmente cero diferencia de auto-energía gravitacional entre «arriba» y «abajo» — misma masa, misma distribución. La cota dice: la selección es despreciable. Los electrones permanecen en superposición indefinidamente.

Una desigualdad. Tanto el mundo clásico como el cuántico explicados.

Falsificabilidad.

G1: La selección ocurre más rápido que $\Delta E_G/\hbar$ para registros gravitacionalmente distinguibles. G2: La selección ocurre entre registros con $\Delta E_G = 0$. G3: Las tasas de selección escalan universalmente con parámetros no gravitacionales a través de registros macroscópicos.

El fracaso aquí invalida solo la hipótesis del limitador gravitacional, no el postulado de selección ni los resultados anteriores.

A5 — Regímenes Experimentales y Caminos de Falsificación

A5.1 — Orientación: Exclusiones antes que Ajustes

Hasta A4.3 el argumento especifica lo que debe ser cierto si la teoría es correcta. A5 especifica cómo puede fracasar y cómo se observaría ese fracaso. Principios:

Exclusiones cualitativas antes que ajustes cuantitativos. Pruebas de ausencia antes que pruebas de tasa. Dependencia de base indicadora antes que escalamiento gravitacional. Signaturas operativas antes que interpretación.

Si algún régimen abajo fracasa, el componente teórico correspondiente está muerto — limpia y localmente.

A5.2 — Mapa de Pruebas (R0–R5)

R0 — Invariancia Operativa de EA (Kill Switch Global)

Prepare un sistema con dos granulaciones gruesas físicamente realizables $\mathscr{O}_1$ y $\mathscr{O}_2$. Calcule EA(ρ; $\mathscr{O}_1$) y EA(ρ; $\mathscr{O}_2$). Predicción: $|EA(\rho; \mathscr{O}_1) - EA(\rho; \mathscr{O}_2)| \leq \delta\_exp$. Falsificador F0: discrepancia persistente más allá de la tolerancia → todo el marco fracasa.

Orden de prioridad. Las pruebas se listan en orden de dependencia lógica, pero deben ejecutarse en orden de poder discriminatorio. R0 (invariancia operativa) es el kill switch global y debe probarse primero.

R1 — Base Indicadora vs. Base de Posición

Montaje: Sistemas donde el álgebra indicadora $\mathscr{O}$ seleccionada por el entorno no es la posición. Ejemplos concretos: qubits superconductores, QED de cavidades, ensambles de espín colectivo. Predicción: La selección apunta a $\mathcal{O}$, no a la posición. Falsificador F1: Si la determinación aparece consistentemente en posición aunque $\mathcal{O} \neq$ posición, el postulado de selección fracasa.

R2 — Caso Nulo Gravitacional ($\Delta E\_G = 0$)

Montaje: Registros decoheridos que difieren solo por grados de libertad internos con distribuciones de masa idénticas. Candidatos: estados de espín nuclear, estados de polarización de fotones, estados hiperfinos con perfiles espaciales idénticos. Predicción: $\Delta E\_G = 0 \Rightarrow \lambda_{ij} = 0$. Sin dinámicas de selección más allá de la decoherencia estándar.

R3 — Prueba de Tasa de Cota Superior (Límite de Velocidad)

Montaje: Superposiciones mesoscópicas/macroscópicas con distribuciones de masa controladas (nanoesferas levitadas, resonadores optomecánicos). Calcule: $\Delta E\_G \Rightarrow \tau\_min = \hbar/\Delta E\_G$. Predicción: $\tau_{ij} \geq \tau\_min$. Falsificador G1: Selección más rápida que $\hbar/\Delta E\_G$.

Estimaciones concretas: Para una nanopartícula esférica de radio $R = 100$ nm de tungsteno ($\rho \approx 19$ g/cm^3), con dos sectores de registro separados por $\Delta x \sim R$, se obtiene $\tau\_min \sim 1$–10 segundos — dentro del alcance de plataformas criogénicas de levitación actuales.

R4 — Condición de Frontera de Born

Preparaciones repetidas de mezclas decoheridas idénticas $\{p_i\}$. Predicción: El ensamble final de ramas realizadas converge a $\{p_i\}$. Falsificador F2: Desviación sistemática de los pesos de Born.

R5 — Prueba de Orden de Operaciones

Sintonice continuamente el acoplamiento con el entorno para controlar el grado de decoherencia. Predicción: La selección es despreciable hasta que la decoherencia ha hecho los sectores indicadores operativamente distintos

(D13). Falsificador F3: Detección de signaturas de selección antes de la irreversibilidad operativa.

Esto mata modelos en los que se invoca el colapso para causar decoherencia.

A5.3 — Signatura Operativa de la Selección

La selección corresponde a dinámicas no lineales o estocásticas a nivel de trayectoria individual después de completarse la decoherencia, produciendo efectos no reproducibles por ningún mapa CPTP lineal sobre $\mathcal{H}$_s.

Las signaturas detectables incluyen: anomalías de trayectoria individual, pérdida irreversible de capacidad de reactivación de interferencia, y estabilización tipo telegráfico.

A5.4 — Qué Cuenta como Confirmación vs. Supervivencia

Pasar una prueba no confirma el argumento. Solo le permite sobrevivir. La confirmación requeriría éxito conjunto a través de múltiples regímenes. Aun así, lo que se establece es estructura, no interpretación.

El fracaso, en cambio, es inmediato y definitivo.

A5.5 — Cronograma de Falsificación

R0 (Invariancia Operativa): Corto plazo (0–2 años). Las plataformas de Circuit QED ya producen sistemas con múltiples bases indicadoras co-admisibles.

R1 (Base Indicadora vs. Posición): Corto plazo (0–3 años). Experimentos con qubits superconductores y QED de cavidades.

R5 (Orden de Operaciones): Corto a mediano plazo (1–5 años). Requiere acoplamiento con entorno continuamente sintonizable con lectura de trayectoria individual.

R4 (Condición de Frontera de Born): Mediano plazo (2–5 años). Requiere grandes ensambles de sistemas idénticamente preparados y completamente decoheridos.

R2 (Caso Nulo Gravitacional): Mediano a largo plazo (3–10 años). Requiere registros decoheridos con grados de libertad internos gravitacionalmente indistinguibles.

R3 (Prueba de Tasa de Cota Superior): Largo plazo (5–15 años). Requiere mantener superposiciones espaciales de nanopartículas de alta densidad durante segundos. La levitación criogénica y las plataformas espaciales son plausibles pero aún no operativas en la escala requerida.

A5.6 — Condición de Parada

Las definiciones son operativas. Usted puede medir cada una. Los teoremas tienen alcance acotado. Cada uno le dice exactamente dónde aplica y dónde no. Los postulados están aislados. Mate uno y el resto sobrevive.

Las cotas son testables. Usted puede verificarlas con equipo existente. Los falsificadores son explícitos. Usted sabe exactamente qué mataría cada reclamo.

Nada más puede clarificarse por argumento. Las matemáticas han hablado. Los experimentos están especificados. Los kill switches están publicados. Lo que queda es la respuesta de la naturaleza. El argumento le ha dicho todo lo que puede decir.

El argumento espera. Se ha entregado al juicio del experimento. Ese es el único lugar al que pertenece un argumento honesto.

A6 — Módulo Opcional: El Giro

Estado: Módulo opcional. No estructural. Incluido para completitud conceptual; el fracaso deja intacto todo el programa de laboratorio.

A6.1 — Saturación de Capacidad

Sea K el núcleo de viabilidad de estructura sostenible (A3.3). La saturación de capacidad se presenta cuando el espacio de estados accesible para la generación de nuevos sectores de registro permanentes tiene medida cero bajo controles admisibles.

Operativamente: puede ocurrir más decoherencia, pero no pueden escribirse nuevos registros independientes.

La saturación de capacidad corresponde a la muerte térmica termodinámica en el límite donde todos los gradientes de energía libre se han agotado. No es en general idéntica a la muerte térmica: la saturación puede ocurrir local o estructuralmente antes del equilibrio térmico global.

A6.2 — Restauración sin Reversión

Cualquier giro admisible debe satisfacer: (1) Sin reversión: Las selecciones previamente realizadas no se deshacen. (2) Sin elusión de selección: A4.2 permanece localmente válido. (3) Restauración de capacidad: El álgebra de registros efectiva recupera espacio para nuevas ramas independientes.

Esta es una especificación de interfaz, no una ley dinámica.

A6.3 — Reescalación Conforme

En dilución extrema, las dinámicas se vuelven insensibles a la escala absoluta. Una identificación conforme puede mapear una configuración saturada en capacidad a una configuración inicial con capacidad de ramificación renovada, sin invertir el orden causal. Prueba de existencia, no afirmación de factualidad.

«Los registros se comprimen, no se borran» significa: los sectores de registro distinguibles en tiempos tardíos se mapean bajo la identificación conforme a un álgebra de registros efectiva de menor resolución, preservando relaciones de ortogonalidad y precedencia causal mientras se reduce la distinguibilidad accesible.

A6.4 — Relación con la Muerte Térmica

Los agujeros negros son sumideros de capacidad, no botones de reinicio. Localizan la saturación y demuestran límites de no retorno (A3.3). Cualquier giro global, si existe, debe respetar la misma restricción de no reversión.

A6.5 — Por Qué Este Módulo es Opcional

El programa central responde cómo surge la irreversibilidad, cómo surge la determinación y cuán rápido puede surgir la determinación. El Módulo T aborda únicamente si la capacidad global puede alguna vez restaurarse.

El fracaso del Módulo T deja intacto todo el programa de laboratorio.

Papel A — Referencia Canónica Bloqueada · Ejecución Completa

Apéndices del Papel A

Apéndice E — Glosario de Términos y Notación

Estado de Actualización (EA). Un escalar operativo ∈ [0, 1] que mide el grado de ramificación inter-sectorial en el álgebra de registros. EA = 0: todo el peso en un sector de registro. EA = 1: ramificación máxima sobre todos los sectores de registro. Definido en D3 (A2.3).

Operación admisible. Un mapa CPTP que actúa sobre el sistema accesible, opcionalmente con ancila fresca, pero sin acceso al entorno original. El conjunto de operaciones admisibles define lo que un agente puede hacer, y por tanto lo que cuenta como operativamente irreversible.

Cuenca de captura, Cap(R). El conjunto de estados desde los cuales la salida del conjunto recuperable R bajo todos los controles admisibles es inevitable. Definida en D8 (A3.3).

Estado restaurable en coherencia. Un estado del sistema desde el cual la coherencia entre sectores de registro puede restaurarse por operaciones admisibles dentro de la tolerancia ε. Definido en D11 (A4.1).

Granulación gruesa, físicamente realizable ($\mathscr{O}$). Un conjunto finito de proyectores mutuamente ortogonales, seleccionado por la física del acoplamiento sistema-entorno, no por elección del observador. Definida en D1 (A2.1).

Mapa de desfase, $\Delta_\mathscr{O}$. El mapa $\Delta_\mathscr{O}(\rho) \equiv \Sigma_i \Pi_i \rho \Pi_i$, que elimina la interferencia cuántica entre sectores de registro y preserva las probabilidades clásicas. Definido en D2 (A2.2).

Entropía efectiva, S_eff. La entropía de Shannon $H(\{p_i\})$ de los pesos sectoriales, con entropía intra-sectorial descartada. Esta es la entropía que entra en la definición de EA. Definida en A2.3.

Falsificador (F0, F1, F2, F3, G1, G2, G3). Una condición experimentalmente observable cuya ocurrencia invalidaría un componente específico del argumento. F0 es global (mata EA mismo); F1–F3 apuntan al postulado de selección; G1–G3 apuntan al limitador gravitacional. Listados en A5.2.

Distinguibilidad por auto-energía gravitacional, ΔE_G. La auto-energía newtoniana de la distribución de masa diferencial entre dos sectores de registro. Definida en D15 (A4.3). El Apéndice C proporciona formas explícitas.

Superficie de no retorno, Σ_h. La frontera del núcleo de viabilidad. Los estados más allá de esta superficie no pueden regresar al conjunto recuperable bajo ningún control admisible. Definida en D9 (A3.3) y D13 (A4.1).

Horizonte del operador, x_h. La especialización escalar de la superficie de no retorno: x_h ≡ u_max/a, la estructura máxima sostenible bajo esfuerzo máximo de mantenimiento. Definido en T2 (A3.2).

Invariancia operativa. El requisito de que los valores de EA calculados a partir de diferentes granulaciones gruesas físicamente realizables del mismo sistema coincidan dentro de la tolerancia experimental. Definida en D5 (A2.5). La violación activa el kill switch global F0.

Irreversibilidad operativa. Un estado es operativamente irreversible respecto a un conjunto recuperable R si y solo si se encuentra fuera del núcleo de viabilidad de R. La irreversibilidad se define por pérdida de alcanzabilidad bajo control admisible, no por aumento de entropía ni violación de simetría temporal. Definida en D10 (A3.3).

Álgebra de registros. El álgebra generada por la granulación gruesa físicamente realizable $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$. Los estados en este álgebra son diagonales en la base de registros. El álgebra de registros define lo que el entorno puede distinguir físicamente.

Selección. La transición de una mezcla diagonal sobre sectores de registro (después de decoherencia) a una única rama realizada (determinación). Distinguida de la decoherencia en D14 (A4.2). El mecanismo se especifica por el Postulado P; la tasa se acota por el Postulado G.

Núcleo de viabilidad, Viab(R). El conjunto de estados desde los cuales el sistema puede mantenerse dentro del conjunto recuperable R indefinidamente mediante control admisible. Definido en D7 (A3.3).

ε (tolerancia operativa). Un parámetro positivo fijo que representa la resolución experimental. Todas las definiciones operativas (ortogonalidad efectiva, inaccesibilidad, restaurabilidad) se cuantifican relativas a ε. Definida en A2.4.

Apéndice A — Equivalencia de las Representaciones de EA

A.1 Propósito. Este apéndice establece las condiciones precisas bajo las cuales EA(ρ; $\mathscr{O}$) primaria coincide con la representación basada en historias EA_h(D). Ninguna equivalencia se asume en el texto principal.

A.2 Objetos y restricciones. Las historias {α} se toman en correspondencia uno a uno con los sectores de registro $\{\Pi_i\}$ en un único punto temporal. No se incluyen historias de múltiples tiempos ni de árbol de ramificación. Bajo esta restricción: $N = d_{\mathscr{O}}$. Esta restricción es explícita e intencional.

A.3–A.4 Condición de decoherencia y entropía de bloque. Asumiendo decoherencia completa: $D(\alpha, \beta) \approx 0$ para $\alpha \neq \beta$. Bajo esta condición, el estado desfasado tiene forma de bloque $\Delta_{\mathscr{O}}(\rho) = \Sigma_i\, p_i\, \sigma_i$.

La entropía de von Neumann se descompone exactamente como $S(\Delta_{\mathscr{O}}(\rho)) = H(\{p_i\}) + \Sigma_i\, p_i\, S(\sigma_i)$. No se asume mezcla máxima dentro de los sectores.

A.5–A.6 Enunciado de equivalencia. EA usa $S\_eff(\rho; \mathscr{O}) \equiv H(\{p_i\})$ con normalización $EA(\rho; \mathscr{O}) = H(\{p_i\}) / \log d\_\mathscr{O}$.

A.7 Regímenes de no equivalencia. La equivalencia falla cuando: la decoherencia es incompleta, las historias abarcan múltiples tiempos, o se intenta incluir la entropía intra-sectorial como «actualización».

En estos regímenes, $EA(\rho; \mathscr{O})$ permanece bien definido; EA_h(D) deja de ser una representación fiel. $EA(\rho; \mathscr{O})$ se prefiere en todos los casos ambiguos porque requiere solo el estado reducido y el álgebra de registros, no un espacio completo de historias.

Apéndice B — Antecedentes de Teoría de la Viabilidad

Dinámicas: $dx/dt = f(x, u)$, $u \in U$. Núcleo de viabilidad: $Viab(K) = \{x_0 \in K \mid \exists\ u(t): x(t) \in K\ \forall\ t \geq 0\}$.

Cuenca de captura: $Cap(K^c) = \{x_0 \mid \forall\ u(t), \exists\ t: x(t) \notin K\}$. Superficie de no retorno: $\Sigma\_NR = \partial\ Viab(K)$. La partición vale salvo conjuntos fronterizos de medida cero.

Para más información, véase Aubin (1991), Viability Theory.

Apéndice C — Auto-Energía Gravitacional

C.1 Definición. Para dos sectores de registro i, j con densidades de masa $\mu_i(x)$, $\mu_j(x)$: ΔE_G se define como la auto-energía newtoniana de la distribución de masa diferencial.

C.3 Casos especiales. Distribuciones de masa idénticas: $\Delta E\_G = 0$. Esfera rígida (radio R, desplazamiento $\Delta x \ll R$): $\Delta E\_G \sim Gm^2/R \cdot (\Delta x/R)^2$ (estimación de orden de magnitud).

C.4 Positividad. Por construcción, $\Delta E\_G \geq 0$.

Apéndice D — Estimaciones de Factibilidad Experimental

D.1 Régimen de nanopartículas de alta densidad.

Considere una nanopartícula esférica con radio $R = 100$ nm, compuesta de un material de alta densidad (tungsteno u osmio, $\rho \approx 19–22$ g/cm³). Para comparación: el dióxido de silicio tiene $\rho \approx 2$ g/cm³.

Con dos sectores de registro separados por $\Delta x \sim R$ y usando $\Delta E_G \sim Gm^2/\Delta x$ con $m \propto \rho R^3$, la auto-energía escala como $\Delta E_G \propto \rho^2 R^5$.

Un aumento de densidad de diez veces produce ~100× aumento de ΔE_G. Escala temporal resultante: $\tau_{min} \sim \hbar/\Delta E_G$ produce $\tau_{min} \sim 1–10$ s para $R \sim 100$ nm con partículas de alta densidad.

D.2 Plataformas experimentales.

Las escalas temporales en el rango de segundos a decenas de segundos están dentro del alcance de: levitación óptica o magnética criogénica de nanopartículas pesadas, trampas optomecánicas híbridas con enfriamiento activo por retroalimentación, y propuestas espaciales o de microgravedad (plataformas de caída libre de larga coherencia, p.ej. concepto de misión MAQRO).

D.3 Interpretación.

El propósito de esta estimación es demostrar que el régimen relevante es experimentalmente accesible. La observación de selección más rápida que la cota falsifica la hipótesis del limitador gravitacional. La ausencia de selección restringe la relevancia de la gravitación sin socavar el marco central de EA.

Apéndice F — Ejemplo Elaborado: Cálculo de EA para un Qubit en Desfase

Este apéndice proporciona un cálculo de EA completo y explícito para el caso no trivial más simple, concebido como ancla pedagógica.

F.1 Montaje.

Sistema: un único qubit S con espacio de Hilbert $\mathcal{H}_s = \mathbb{C}^2$, acoplado a un entorno E. Base indicadora (seleccionada por acoplamiento): $\mathscr{O} = \{|0\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$. Dimensión del álgebra de registros: $d_\mathscr{O} = 2$.

F.2 Estado inicial.

$|\psi(0)\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2} \otimes |E_0\rangle$. El sistema está en superposición coherente. El estado reducido es $\rho_s(0) = |+\rangle\langle +|$. Tras desfase: $\Delta_\mathscr{O}(\rho_s(0)) = \mathrm{diag}(½, ½)$. Pesos sectoriales: $p_0 = p_1 = ½$.

F.3 Antes de la decoherencia.

Los elementos fuera de la diagonal están presentes. Sin embargo: $S_{eff} = H(\{p_i\}) = H(½, ½) = \log 2$. Normalización: $S_{max} = \log 2$. Por tanto $EA = \log 2 / \log 2 = 1$.

Incluso antes de que la decoherencia se complete, los pesos sectoriales ya están maximalmente distribuidos. EA mide la estructura de ramificación del estado desfasado, no si la decoherencia ha ocurrido físicamente.

F.4 Después de la decoherencia.

El entorno registra la información de cuál-camino: $|\psi\rangle \to (|0\rangle|E_0\rangle + |1\rangle|E_1\rangle)/\sqrt{2}$ con $\langle E_0|E_1\rangle \approx 0$. Estado reducido: $\rho_s = \mathrm{diag}(½, ½)$. Los elementos fuera de la diagonal han sido físicamente suprimidos.

EA = 1. Mismo valor numérico, pero ahora el sistema ha cruzado la superficie de no retorno: la coherencia no es restaurable. La irreversibilidad operativa ha sido establecida.

F.5 Después de la selección.

La selección resuelve la mezcla en el sector $|0\rangle$ (digamos). Ahora $p_0 = 1$, $p_1 = 0$. $H = 0$. $EA = 0$. Una historia permanece. El sistema ha pasado de ramificación máxima a determinación.

F.6 Resumen.

EA rastrea riqueza de ramificación, no determinación. Sube durante la decoherencia (fase de ramificación) y baja durante la selección (fase de determinación).

El ejemplo elaborado ilustra que $EA \approx 0$ y $EA \approx 1$ son ambos puntos finales físicamente significativos de procesos diferentes, no una jerarquía de «más actualizado» vs. «menos actualizado».

Papel B — La Selección como Exclusión Irreversible

Tasas, costes y restricciones de la determinación. Depende del Papel A y de nada más.

El Papel A midió la ramificación. Demostró que la ramificación solo puede crecer bajo las condiciones correctas. Estableció el punto de no retorno.

Pero dejó una pregunta sin responder — la pregunta que persigue a toda interpretación de la mecánica cuántica.

Si la determinación ocurre en ejecuciones individuales — y lo hace, todos los experimentos jamás realizados lo dicen — ¿qué debe ser la selección?

No qué podría ser. Qué debe ser. ¿Qué requisitos estructurales debe satisfacer todo mecanismo de selección? ¿Qué debe costar? ¿Cuán rápido puede actuar?

¿Y existe una cota universal para esa velocidad?

Ningún mecanismo de colapso se propone. Ninguna interpretación se invoca. Ningún resultado del Papel A se re-deriva. Todas las hipótesis son independientemente falsificables. El fracaso de cualquiera no invalida el Papel A.

B0 — Dependencia y Propósito

B0.1 — Declaración de Dependencia

Esta obra es una continuación rigurosa del Papel A y presupone como establecidos: la definición operativa y validez del Estado de Actualización (EA), la irreversibilidad operativa como pérdida de alcanzabilidad bajo control admisible, la existencia de superficies de no retorno inducidas por capacidad limitada, y la separación entre ramificación (aumento de EA) y determinación.

Como referencia, el álgebra de sectores de registro $\mathcal{R}$ es el álgebra generada por los proyectores $\{\Pi_i\}$ de una granulación gruesa físicamente realizable $\mathscr{O}$ (Papel A, Definición D1), que representa el conjunto de observables de registro operativamente accesibles.

Todas las normas y mapas en este papel que referencian $\mathcal{R}$ actúan sobre este álgebra.

Ningún constructo del Papel A se redefine ni re-deriva aquí.

B0.2 — Propósito

El Papel A establece irreversibilidad sin determinación: después de la decoherencia y pérdida de recuperabilidad, múltiples sectores de registro mutuamente excluyentes pueden persistir simultáneamente en la descripción reducida.

Este papel aborda la pregunta física restante: Si la determinación ocurre, ¿qué debe ser la selección, dadas las restricciones ya establecidas?

Una segunda pregunta sigue necesariamente: ¿Qué recursos físicos deben gastarse para imponer tal selección?

Esta obra no argumenta que la selección deba existir. Caracteriza la estructura y restricciones de la selección, si es que existe.

B0.3 — Duras No-Afirmaciones

El papel no: redefine el Estado de Actualización, propone un mecanismo de colapso, deriva o asume la regla de Born, invoca observadores, consciencia o actualización epistémica, introduce agencia, toma de decisiones o control, ni afirma que la gravitación cause la selección.

El fracaso de este papel no invalida el Papel A.

B1 — El Problema de la Determinación (Reformulado)

B1.1 — Lo que Queda después del Papel A

Después de los resultados del Papel A, lo siguiente está establecido:

(1) La interferencia está suprimida entre alternativas distinguibles por registros (Papel A, T1). (2) La recuperabilidad se ha perdido una vez que la información de registro está codificada en grados de libertad inaccesibles (Papel A, D13). (3) El Estado de Actualización aumenta durante la fase de ramificación y cuantifica la multiplicidad estructurada en registros (Papel A, T1).

Sin embargo, nada de esto implica que en una ejecución experimental individual solo un registro persista.

Un estado reducido diagonal de la forma $\rho\_s = \Sigma_i\, p_i\, \Pi_i\, \rho\, \Pi_i$, donde $\{\Pi_i\}$ son los proyectores de sector de registro definidos en el Papel A (Definición D1) y $\{p_i\}$ son los coeficientes diagonales correspondientes, es completamente consistente con todos los resultados del Papel A.

B1.2 — Por qué Decoherencia No es Determinación

La decoherencia explica por qué los términos de interferencia se vuelven inaccesibles. No explica por qué las alternativas se excluyen.

Operativamente: La decoherencia responde: por qué las alternativas no pueden interferir. La determinación pregunta: por qué las alternativas ya no son alcanzables.

Estas son restricciones diferentes. El Papel A resuelve la primera y se detiene ahí intencionalmente.

B1.3 — Realizaciones Individuales (Definición Operativa)

Una realización individual (o ejecución individual) se define como: una ejecución experimental única que produce un flujo de registros definido, ordenado temporalmente, en el entorno, el cual subsecuentemente restringe todo el comportamiento futuro accesible del sistema.

Esta definición es puramente operativa y se refiere únicamente a la estructura de registros.

B1.4 — La Selección como Exclusión Irreversible

Si la determinación existe, debe corresponder a un proceso de exclusión física que actúa después de establecerse la irreversibilidad, porque todos los resultados experimentales subsiguientes en el flujo de registros dependen causalmente de qué sector se obtiene (B1.3).

La selección se define aquí como: La transición del estado del sistema a una región alcanzable restringida del espacio de estados (bajo control admisible), en la cual solo un sector de registro permanece alcanzable. Equivalentemente: la selección es la eliminación irreversible de sectores de registro alternativos de la accesibilidad operativa en una única realización.

Una vez que la selección ha ocurrido, ninguna operación admisible local al sistema puede restaurar la alcanzabilidad de sectores excluidos.

B1.5 — Consecuencia para el Estado de Actualización

La selección tiene una consecuencia precisa para EA: La decoherencia aumenta EA creando ramificación estructurada en registros (Papel A, T1). La selección reduce el EA accesible de una realización individual restringiendo la alcanzabilidad a un único sector de registro.

Esto no implica borrar registros del entorno. Refleja el colapso de la accesibilidad operativa futura, no la destrucción de estructura pasada.

B1.6 — Costes de Selección (Anticipación)

La exclusión no es gratuita.

Todo proceso que elimina la alcanzabilidad de alternativas debe gastar recursos físicos para imponer esa restricción. Esto se denomina genéricamente el coste de la selección: el gasto mínimo de recursos físicos requerido para imponer la exclusión irreversible.

Este coste no tiene por qué ser energía térmica; puede aparecer como tiempo, intensidad de interacción o consumo de capacidad de distinguibilidad. Su forma precisa depende de la interacción limitante y se cuantifica a continuación.

B2 — El Requisito de No Linealidad y Costes de Selección

B2.1 — Restricción de Linealidad

Las dinámicas CPTP lineales deterministas que actúan sobre el estado reducido del sistema preservan la estructura convexa. En consecuencia, la evolución lineal de ensamble por sí sola no puede imponer determinación de sector único en realizaciones individuales.

Formalmente, para cualquier mapa CPTP lineal determinista $\mathcal{E}$: la linealidad preserva mezclas convexas. Ningún mapa tal puede seleccionar un único componente de una mezcla diagonal en ejecuciones individuales. Esta es una consecuencia estructural de la linealidad y no depende de la interpretación.

B2.2 — Linealidad de Ensamble vs. Resolución de Trayectoria

La implicación de la restricción de linealidad es precisa: La evolución a nivel de ensamble puede permanecer lineal y CPTP. La selección, si ocurre, debe actuar a nivel de trayectoria, resolviendo realizaciones individuales a través de dinámicas estocásticas o efectivamente no lineales.

No hay contradicción con la linealidad cuántica a nivel de ensamble.

B2.3 — Cuantificación de la Desviación de Selección

La selección es un fenómeno a nivel de trayectoria. Su signatura no es una desviación del estado de ensamble — la consistencia de ensamble se requiere (B3.5) y el estado de ensamble se preserva por construcción.

La signatura de la selección es que las trayectorias individuales se resuelven a resultados que ningún mapa CPTP determinista podría producir desde el mismo estado inicial.

Sea $\mathcal{E}$_ens la evolución CPTP a nivel de ensamble. Sea Φ un proceso de selección estocástico que, para un estado inicial ρ, produce una trayectoria aleatoria con estado final dependiente de la realización ρ^W(ρ). La consistencia de ensamble (B3.5) requiere $\mathbb{E}$[ρ^W] = $\mathcal{E}$_ens(ρ).

Defina la desviación de selección: δ_sel = $\mathbb{E}$[||ρ^W(ρ) − $\mathcal{E}$_ens(ρ)||²_$\mathcal{R}$]. Esta es la desviación cuadrática esperada de los resultados de trayectoria individual respecto al promedio de ensamble, medida en el álgebra de registros.

Para todo mapa CPTP determinista: δ_sel = 0. Para selección: δ_sel > 0.

Compatibilidad con consistencia de ensamble. δ_sel mide la dispersión de los resultados de trayectoria, no la desviación de su media. La consistencia de ensamble (B3.5) restringe el primer momento. La desviación de selección restringe el segundo momento. Estos son independientes: un proceso puede tener desviación media nula y dispersión de trayectoria no nula. La selección es precisamente tal proceso.

Verificación (modelo de juguete de qubit). Para la SDE de selección $dp = \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p)\, dW$ (Papel A, Sección A4.2), las trayectorias se resuelven a $p = 0$ o $p = 1$ con probabilidades $1-p_0$ y p_0 respectivamente. La media de ensamble se preserva: $\mathbb{E}[\rho^W] = \mathrm{diag}(p_0, 1-p_0)$. La varianza de trayectoria es $\delta_{sel} = p_0(1-p_0) > 0$ para cualquier mezcla inicial no trivial.

La selección requiere $\delta_{sel} > 0$. Si $\delta_{sel} = 0$ para todos los estados accesibles, toda trayectoria produce el mismo resultado que el mapa de ensamble, y no ha ocurrido resolución hacia sectores individuales.

B2.4 — Definición: Coste de Selección

El coste de la selección se define como el gasto mínimo de recursos físicos requerido para producir varianza de trayectoria no nula ($\delta_{sel} > 0$) suficiente para resolver realizaciones individuales en sectores de registro únicos.

Este coste puede expresarse como: una escala temporal (tasa de exclusión), una intensidad de acoplamiento a interacciones de imposición, o un presupuesto de recursos requerido para mantener la exclusión.

B2.5 — Falsificador B2: Selección Pre-Irreversibilidad

Si aparecen signaturas de exclusión antes de que el sistema cruce la superficie de no retorno (D13), el modelo de selección entero está muerto. La selección debe esperar a la irreversibilidad. Si no espera, el modelo está equivocado.

La selección no puede preceder a la irreversibilidad.

B3 — Requisitos Estructurales de las Dinámicas de Selección

Toda dinámica de selección admisible debe satisfacer un conjunto mínimo de requisitos estructurales implicados conjuntamente por el Papel A y las Secciones B1–B2. Estos requisitos son necesarios, no suficientes.

El fracaso de cualquier requisito falsifica la hipótesis de selección sin afectar los resultados de irreversibilidad del Papel A.

B3.1 — Activación Post-Irreversibilidad

La selección solo puede actuar después de que se haya establecido la irreversibilidad operativa. Sea $K_\varepsilon(\mathscr{O})$ el conjunto ε-recuperable definido en el Papel A (Definición D12). Para todos los estados $\rho \in K_\varepsilon(\mathscr{O})$: no se permite desviación de selección mientras la recuperación permanezca alcanzable bajo control admisible. Las dinámicas de selección pueden activarse solo una vez que $\rho \notin K_\varepsilon(\mathscr{O})$.

B3.2 — Localidad del Álgebra de Registros

La selección debe actuar solo sobre grados de libertad que distinguen sectores de registro, y solo durante la selección activa. Sea $\Delta_\mathscr{O}$ el mapa de desfase sobre el álgebra de registros $\mathscr{O}$. Durante la selección activa: $\Phi(\rho) = \Phi(\Delta_\mathscr{O}(\rho))$.

Esta condición es consistente con B3.1: para cuando la selección se activa, los términos fuera de la diagonal en la base de registros ya son operativamente inaccesibles. La selección no puede generar ni reintroducir interferencia, ni actuar sobre grados de libertad intra-sectoriales no monitoreados.

B3.3 — Sectores de Registro Absorbentes

La selección es un proceso absorbente. Una vez que un sector de registro Π_i se realiza, la pertenencia sectorial debe permanecer fija bajo la dinámica de selección subsiguiente. Esta condición impone confinamiento irreversible al sector realizado mientras permite evolución intra-sectorial arbitraria.

B3.4 — Contractilidad de la Multiplicidad

La selección resuelve la multiplicidad; no debe amplificarla. Sean $\{p_i(t)\}$ los coeficientes diagonales del estado reducido en la base de sectores de registro, tratados aquí como pesos de registro. La entropía de Shannon $H(\{p_i(t)\})$ se usa estrictamente como medida de multiplicidad, no como entropía termodinámica o epistémica.

Toda dinámica de selección admisible debe ser tal que, a lo largo de trayectorias individuales, $H(\{p_i(t)\})$ sea un supermartingala, con disminución estricta durante la selección activa. Esto es un requisito sobre la clase de dinámicas admisibles: cualquier proceso candidato cuyas trayectorias amplifiquen la multiplicidad queda excluido.

Note que la contractilidad de H a lo largo de trayectorias es consecuencia del carácter a nivel de trayectoria establecido en B2.2: el proceso estocástico Φ debe resolver la mezcla, lo cual requiere que H disminuya a lo largo de realizaciones individuales.

B3.5 — Consistencia de Ensamble

Mientras las trayectorias individuales se resuelven en sectores únicos, la descripción de ensamble debe permanecer consistente con la evolución lineal. Promediar sobre todas las realizaciones de trayectoria debe reproducir el mapa de ensamble: 𝔼[ρ^W] = ℰ_ens(ρ), asegurando compatibilidad con las predicciones cuánticas estándar a nivel de ensamble.

El requisito restringe el primer momento de la distribución de trayectorias. No restringe el segundo momento: la dispersión de trayectoria ($\delta_{sel} > 0$) es completamente compatible con la consistencia de ensamble. La selección se caracteriza por la combinación de media de ensamble preservada y varianza de trayectoria no nula.

B3.6 — Condición de Frontera de Resultados (BC1)

El papel no deriva estadísticas de resultados. Sin embargo, las dinámicas de selección admisibles deben producir una distribución bien definida sobre sectores de registro realizados.

El análisis se restringe a la clase de dinámicas de selección que son Born-consistentes: bajo la medida de trayectoria inducida por las dinámicas, la distribución marginal sobre sectores realizados converge a los pesos diagonales $\{p_i\}$ heredados de la decoherencia.

Esta es una restricción definitoria de la clase de modelos estudiada aquí, no un resultado derivado. La Born-consistencia es experimentalmente testable: preparaciones repetidas de sistemas idénticamente decoheridos deben producir frecuencias de sectores realizados que converjan a $\{p_i\}$. La desviación persistente falsifica la clase Born-consistente, no la selección misma.

B3.7 — Resumen de Requisitos Estructurales

Las dinámicas de selección, si existen, deben ser: Post-irreversibles — inactivas mientras la recuperación permanezca alcanzable. Protocolo-locales — actuando solo sobre el álgebra de registros durante la selección activa. Absorbentes — una vez que un sector se realiza, la pertenencia sectorial permanece fija. Contractivas — reduciendo monótonamente la multiplicidad a lo largo de trayectorias. Consistentes con el ensamble — preservando la evolución lineal de ensamble.

Todo proceso candidato que viole estas condiciones no es una forma de selección físicamente admisible bajo el argumento establecido por el Papel A.

Ejemplo Elaborado: Requisitos Estructurales Aplicados a Selección de Qubit

El Papel A (Sección A4.2) define un modelo de juguete de selección estocástica sobre un qubit con base indicadora $\mathscr{O} = \{|0\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ y dinámicas de selección $dp = \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p)\, dW$. La verificación muestra que este modelo satisface los cinco requisitos de B3.

B3.1 (Activación post-irreversibilidad): La tasa de selección γ se fija a cero mientras el sistema permanece dentro de $K_\varepsilon(\mathscr{O})$. La SDE se activa solo después de que la decoherencia ha hecho los sectores indicadores operativamente distintos. Antes de la activación, $\delta_{sel} = 0$ idénticamente.

B3.2 (Localidad del álgebra de registros): La SDE actúa enteramente sobre el peso sectorial diagonal p. No se generan ni acceden términos de coherencia fuera de la diagonal. El proceso es protocolo-local por construcción.

B3.3 (Sectores absorbentes): En $p = 0$ y $p = 1$, el coeficiente de difusión $\sigma(p) = \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p)$ se anula idénticamente. Ambos estados sector-puros son puntos fijos absorbentes.

B3.4 (Contractilidad): Por el cálculo completo de Itô: $dH = -(\gamma/2)\, p(1-p)\, dt + \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p) \cdot \log[(1-p)/p]\, dW$. El término de deriva $-(\gamma/2)\, p(1-p)$ es estrictamente negativo para $p \in (0, 1)$. H es un supermartingala con disminución estricta durante la selección activa.

B3.5 (Consistencia de ensamble): La SDE $dp = \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p)\, dW$ es un martingala: $\mathbb{E}[p(t)] = p(0)$ para todo t. Promediar sobre trayectorias reproduce el estado de ensamble $\rho_{ens} = \mathrm{diag}(p(0), 1-p(0))$ en todo momento. El mapa de ensamble es lineal y CPTP.

Esto confirma que los requisitos B3.1–B3.5 son conjuntamente satisfactibles. El modelo de juguete no es la única solución; es una prueba de existencia. Todo candidato de dinámicas de selección debe pasar los cinco requisitos para ser admisible.

B4 — Cotas de Tasa Universales de la Selección

La selección, si existe, no puede ocurrir arbitrariamente rápido. Esta sección establece cotas superiores necesarias sobre la tasa a la que las dinámicas de selección admisibles pueden actuar, sin introducir nueva física.

B4.1 — Tasa de Selección como Cantidad Operativa

Para dos sectores de registro i y j, defina el tiempo de selección inter-sectorial τ_{ij} como la duración mínima requerida, en una realización individual, para que el comportamiento accesible del sistema se vuelva operativamente indistinguible del confinamiento en el sector i. La tasa de selección correspondiente es: $\lambda_{ij} = 1/\tau_{ij}$.

Esta tasa es operativamente medible: caracteriza cuán rápidamente se impone la exclusión entre sectores de registro en competencia.

B4.2 — Requisitos para un Limitador de Tasa Universal

Todo candidato a limitador de tasa universal debe satisfacer: Universalidad (aplica a todos los registros macroscópicos, independiente de composición o carga), Independencia de contexto (no depende de intervención del observador, elección de medición ni ajuste específico del aparato), y Relevancia discriminatoria (se acopla directamente a las características físicas que distinguen sectores de registro).

Estas restricciones no determinan unívocamente un limitador, pero restringen fuertemente los candidatos admisibles.

B4.3 — Gravitación como Candidato a Limitador Universal (Hipótesis)

Entre las interacciones conocidas, la gravitación satisface los tres requisitos: es universal, inapantallable y directamente sensible a la configuración de masa-energía que distingue registros macroscópicos.

La hipótesis: que la gravitación proporciona un límite superior universal para las tasas de selección. Esta es una afirmación empírica sobre interacciones conocidas, no una prueba de unicidad, y no afirma que la gravitación cause la selección.

B4.4 — Distinguibilidad Gravitacional de Sectores de Registro

La distinguibilidad por auto-energía gravitacional ΔE_G entre sectores de registro i y j se define en el Papel A (Definición D15, Apéndice C). Mide la auto-energía newtoniana de la distribución de masa diferencial entre dos sectores de registro y es cero cuando los sectores son gravitacionalmente indistinguibles.

B4.5 — Desigualdad de Tasa

La cota de selección limitada por gravitación (Papel A, Postulado G) establece: $\lambda_{ij} \leq \Delta E_G/\hbar$. Aquí la elevamos a candidata a limitador de tasa universal demostrando que la gravitación satisface los requisitos de universalidad, independencia de contexto y relevancia discriminatoria de B4.2 — requisitos que no fueron articulados en el Papel A.

La cota es limitante, no exacta. La selección puede ser más lenta; no puede ser más rápida sin invocar un acoplamiento más fuerte que la gravitación a la distinguibilidad de masa-energía.

B4.6 — Caso Nulo (Condicional)

Bajo la hipótesis limitada por gravitación, si dos sectores de registro son gravitacionalmente indistinguibles: $\Delta E_G = 0$, entonces la contribución gravitacional a la tasa de selección se anula. Si no aplica ningún limitador alternativo que satisfaga los requisitos de B4.2, tales superposiciones persisten indefinidamente.

Si existe un mecanismo no gravitacional consistente con B4.2, proporcionaría una cota de tasa independiente no cubierta por la hipótesis presente. Esto constituye una predicción condicional testable del marco limitado por gravitación.

B4.7 — Consistencia con Resultados Previos

La cota limitada por gravitación es consistente con todas las secciones anteriores: aplica solo después de la irreversibilidad operativa (B3.1), restringe tasas, no estadísticas de resultados (B3.6), preserva la linealidad de ensamble (B3.5), y no explica la decoherencia o la ramificación (Papel A). La gravitación aquí funciona únicamente como limitador de tasa, no como mecanismo causal.

B4.8 — Falsificadores (Nivel de Tasa)

La hipótesis limitada por gravitación está falsificada si se observa cualquiera de los siguientes:

FG1: La selección ocurre con $\lambda_{ij} > \Delta E_G/\hbar$. FG2: La selección ocurre entre registros con $\Delta E_G = 0$ en ausencia de cualquier limitador alternativo que satisfaga B4.2. FG3: Las tasas de selección escalan universalmente con parámetros no gravitacionales a través de registros macroscópicos.

El fracaso aquí invalida solo la hipótesis del limitador; no invalida la selección como se define en este papel, ni la irreversibilidad como se define en el Papel A.

B4.9 — Cierre

Si la selección ocurre, está restringida por límites físicos sobre cuán rápidamente las alternativas pueden distinguirse. La determinación no puede surgir arbitrariamente rápido; no puede surgir más rápido de lo que una interacción universal puede discriminar entre registros en competencia.

B5 — Regímenes Experimentales y Pruebas Discriminatorias

Esta sección traduce las restricciones estructurales y de tasa de las Secciones B1–B4 en regímenes experimentalmente discriminables. El objetivo no es ajuste de parámetros, sino especificar qué observaciones contarían como confirmación, supervivencia o falsificación.

B5.1 — Principio de Construcción de Pruebas

Los experimentos que prueban la selección deben satisfacer tres criterios: Régimen post-irreversibilidad (decoherencia y pérdida de recuperabilidad ya establecidas), Sensibilidad de trayectoria (debe sondear comportamiento de ejecución individual, no solo promedios de ensamble), y Sensibilidad de tasa (debe poder resolver escalas temporales comparables a la tasa predicha λ_{ij}^{-1}).

Solo experimentos que satisfagan los tres pueden restringir significativamente las dinámicas de selección.

Mapa de Pruebas Resumen

BT1 — Orden de Operaciones. Objetivo: la selección misma. Falsifica: selección como se define en B1.4. Método: sintonizar decoherencia continuamente y verificar si signaturas de selección aparecen antes de la salida del sistema de $K_\varepsilon(\mathscr{O})$. Plataforma: qubits superconductores con acoplamiento sintonizable.

BT2 — Signatura Activa de Selección. Objetivo: existencia de la selección. Método: comparar estadísticas de trayectoria individual contra todos los modelos lineales de Lindblad ajustados a los mismos datos de decoherencia. Observable: ruido telegráfico o vagabundeo difusivo inconsistente con cualquier desdoblamiento CPTP. Plataforma: qubits superconductores continuamente monitoreados o iones atrapados con lectura de fluorescencia.

BT3 — Régimen de Tasa Nula. Objetivo: hipótesis del limitador gravitacional. Falsifica: FG2. Método: preparar superposiciones decoheridas con $\Delta E_G = 0$ y monitorear selección. Observable: multiplicidad persistente vs. selección rápida. Plataforma: centros nitrógeno-vacancia en diamante, estados de espín nuclear.

BT4 — Régimen de Cota de Tasa. Objetivo: hipótesis del limitador gravitacional. Falsifica: FG1. Método: crear superposiciones espaciales de masas mesoscópicas, medir escala temporal de selección, comparar con $\tau_{min} = \hbar/\Delta E_G$. Observable: selección más rápida o más lenta que la cota. Plataforma: nanopartículas levitadas (tungsteno, $R \approx 100$ nm, $\tau_{min} \sim 1$–10 s) en vacío criogénico.

BT5 — Condición de Frontera de Born. Objetivo: consistencia Born de la selección. Falsifica: la clase de modelos Born-consistentes. Método: grandes ensambles de sistemas idénticamente preparados con lectura de disparo único. Observable: frecuencias de sectores realizados desviándose de $\{p_i\}$ más allá de tolerancia estadística.

B5.2 — Signatura de Selección Activa

La selección es operativamente distinta de la decoherencia. Una signatura de selección activa es cualquier comportamiento a nivel de trayectoria, ocurriendo después de la irreversibilidad operativa, que no puede reproducirse por ninguna evolución CPTP lineal local al sistema consistente con las dinámicas de decoherencia independientemente caracterizadas, y que impone confinamiento persistente a un único sector de registro bajo todos los controles admisibles locales al sistema.

Ejemplos de signaturas admisibles incluyen: pérdida irreversible de capacidad de reactivación de interferencia pese a control completo solo-sistema, estabilización estocástica de comportamiento de sector de registro inconsistente con dinámicas de Lindblad lineales, y comportamiento de trayectoria tipo telegráfico que se resuelve en un sector único sin cambio subsiguiente dentro de escalas temporales accesibles.

La ausencia de tales signaturas implica ausencia de selección en el régimen probado.

B5.3 — Régimen de Tasa Nula (Degeneración Gravitacional)

Considere sectores de registro operativamente decoheridos pero gravitacionalmente indistinguibles: $\Delta E_G = 0$. Bajo la hipótesis limitada por gravitación, la contribución gravitacional a la tasa de selección se anula. El argumento predice por tanto uno de dos resultados: Multiplicidad persistente (sin signaturas de selección), o Selección no gravitacional (selección a tasa más lenta gobernada por un limitador alternativo).

Ejemplo concreto: un centro nitrógeno-vacancia (NV) en diamante preparado en una superposición de estados de espín $|m_s = +1\rangle$ y $|m_s = -1\rangle$. Estos estados tienen distribuciones de masa idénticas ($\Delta E_G = 0$) pero son operativamente distinguibles vía espectroscopía de microondas. Después de la decoherencia ambiental, el estado reducido es $\rho = \frac{1}{2}|+1\rangle\langle+1| + \frac{1}{2}|-1\rangle\langle-1|$.

Bajo la hipótesis limitada por gravitación, no existe contribución gravitacional a la selección. Si el monitoreo de trayectoria individual revela estabilización rápida a un estado de espín inconsistente con cualquier modelo de Lindblad, la hipótesis está falsificada.

B5.4 — Régimen de Cota de Tasa (Distinguibilidad Macroscópica)

Para sectores de registro con distinguibilidad gravitacional significativa $\Delta E_G \gg \hbar/T$, la hipótesis predice una cota superior: $\tau_{ij} \geq \hbar/\Delta E_G$.

Sistemas candidatos: Una nanopartícula de tungsteno ($R = 100$ nm, $\rho \approx 19$ g/cm^3) en superposición espacial con separación $\Delta x \sim R$ produce $\Delta E_G \sim Gm^2/R$, dando $\tau_{min} \sim$ 1–10 segundos. Esto está dentro del alcance de experimentos de levitación criogénica.

Para sílice ($\rho \approx 2$ g/cm^3), $\tau_{min} \sim 10^2$–10^3 segundos, en la frontera de los tiempos de coherencia actuales. Los materiales de alta densidad son fuertemente preferidos para pruebas a corto plazo.

La observación de selección con $\tau < \tau_{min}$ falsifica la hipótesis (FG1). La ausencia de selección dentro de escalas temporales accesibles es consistente con la hipótesis pero no la confirma.

B5.5 — Prueba de Orden de Operaciones

La selección no debe preceder a la irreversibilidad. Experimentos que sintonicen continuamente el acoplamiento ambiental pueden probar si las signaturas de selección aparecen solo después de que el sistema sale del conjunto recuperable $K_\varepsilon(\mathscr{O})$.

Específicamente, si se observa confinamiento a nivel de trayectoria a un sector de registro único mientras el sistema permanece dentro de $K_\varepsilon(\mathcal{O})$, la selección como se define en B1.4 está falsificada.

Esta prueba apunta a la selección misma, no meramente a la hipótesis limitada por gravitación.

B5.6 — Clasificación de Resultados

Los resultados experimentales se particionan así: Sin selección observada: selección ausente en el régimen probado. Selección observada, tasa indeterminada: selección presente; hipótesis gravitacional ni confirmada ni falsificada. Selección observada dentro de la cota: presente y consistente con la hipótesis. Selección observada más rápida que la cota: hipótesis gravitacional falsificada. Selección observada en régimen de tasa nula sin limitador alternativo: hipótesis gravitacional falsificada o incompleta.

Ningún resultado rescata la hipótesis retroactivamente.

B5.7 — Cierre de Alcance

Este papel establece: qué debe ser la selección si existe, qué debe costar, cuán rápido puede ocurrir, y cómo puede falsificarse.

No determina si la selección realmente ocurre en la naturaleza. Esa pregunta es empírica.

B6 — Conclusiones y Estado del Programa

B6.1 — Lo que Se Ha Establecido

Si la selección existe, debe satisfacer todo lo siguiente: 1. Restricción post-irreversibilidad. 2. Carácter a nivel de trayectoria. 3. Localidad del álgebra de registros. 4.

Dinámicas absorbentes. 5. Contractilidad de la multiplicidad. 6. Restricciones de coste y tasa. 7. Limitador de tasa universal (Hipótesis): la gravitación como candidato, falsificable por pruebas de tasa explícitas.

Cada condición es necesaria. Ninguna se asume suficiente.

B6.2 — Lo que No Se Ha Asumido

Este papel no ha: asumido que la selección deba ocurrir, derivado estadísticas de resultados o la regla de Born, especificado un generador dinámico concreto, invocado observadores o consciencia, afirmado que la gravitación cause la selección, ni extendido la irreversibilidad más allá de lo establecido en el Papel A.

B6.4 — Cierre Programático

Junto con el Papel A, esta obra completa la caracterización a nivel de física de la selección:

El Papel A establece irreversibilidad sin determinación. El Papel B establece determinación como exclusión costosa, limitada en tasa, si existe.

Ningún progreso adicional sobre la selección puede lograrse solo por argumento. La incertidumbre restante es empírica.

B6.5 — Dependencia Futura

Si la selección está ausente o restringida, la pregunta restante no es sobre determinación sino sobre estructura: ¿cómo se desarrolla el comportamiento dentro de un sector de registro realizado único bajo restricción irreversible?

Esa pregunta concierne al control bajo irreversibilidad, no a la emergencia de la determinación. Se aborda en el Papel C.

Fin del Papel B.

Papel C — La Agencia como Control Restringido

Depende de los Papeles A y B.

Usted es un agente. Toma decisiones. Se mantiene contra el deterioro. Navega un espacio de posibilidades que se estrecha con cada paso irreversible. Tiene un presupuesto que se agota.

Se enfrenta a una deriva que nunca cesa. Y en algún lugar adelante, invisible pero real, hay una frontera más allá de la cual ninguna de sus decisiones puede salvarlo.

Todo lo que acaba de leer es geometría. No filosofía. No metáfora. Geometría — medible, calculable, falsificable.

Este papel despoja la filosofía de la agencia y la reemplaza por un número. El número mide la fracción de estados supervivientes que usted puede alcanzar desde su posición actual.

Ese número es más honesto que cualquier definición que la filosofía haya producido jamás, porque no le importan sus intenciones. Le importa su posición en el espacio de estados y el tamaño de su conjunto de control. El resto es aritmética.

C0 — Alcance y Dependencia

Esta obra depende explícita y exclusivamente de los resultados físicos establecidos en los Papeles A y B. Asume como dados: irreversibilidad como pérdida de alcanzabilidad (Papel A), existencia de superficies de no retorno (Papel A), y selección como proceso de exclusión costoso (Papel B).

El Papel C requiere solo que la selección produzca confinamiento a un único sector de registro; no depende del mecanismo, tasa o estadística de la selección. El Papel C opera enteramente dentro de un sector de registro realizado único.

El Papel C aborda una pregunta que no es de origen físico, sino de consecuencia estructural: Dada física irreversible y determinación costosa, ¿cómo puede persistir el comportamiento controlado dentro de un sector de registro realizado único?

La agencia se trata no como intención, creencia o elección, sino como una propiedad de control — un número que usted puede calcular para un sistema que evoluciona bajo restricciones irreversibles.

El papel no: introduce nuevas leyes físicas, modifica la mecánica cuántica, explica por qué ocurre la selección, invoca psicología, motivación, ética o significado, ni proporciona prescripciones o guía normativa. El fracaso del Papel C no invalida los Papeles A o B.

C1 — La Agencia como Cantidad Geométrica de Control

C1.1 — Definición de la Agencia

Dentro de un único sector de registro realizado, defina la agencia como: la fracción del núcleo de viabilidad alcanzable desde el estado actual bajo control admisible.

Sea $x(t)$ el estado del sistema restringido a un sector de registro realizado. Sea $\mathrm{Viab}(R)$ el núcleo de viabilidad y $\mathrm{Reach}(x)$ el conjunto de estados alcanzables desde x bajo control admisible. Defina: $\mathcal{M} = \mu(\mathrm{Reach}(x) \cap \mathrm{Viab}(R)) / \mu(\mathrm{Viab}(R))$, donde μ es la medida de volumen natural.

La normalización asegura que $\mathcal{M} \in [0, 1]$: $\mathcal{M} = 1$ cuando el núcleo de viabilidad completo es alcanzable, $\mathcal{M} = 0$ en la superficie de no retorno.

Supuestos de monotonía y regularidad. La medida μ es monótona respecto a la inclusión de conjuntos. $\mathrm{Reach}(x)$ varía continuamente con x en la métrica de Hausdorff, asegurando que $\mathcal{M}$ es continua. Condiciones estándar de regularidad en teoría de la viabilidad (Aubin, 1991).

C1.2 — Autoridad de Control

Sean los controles admisibles $u(t) \in U$ limitados por restricciones físicas y energéticas. La autoridad de control está determinada por: Ancho de banda (tasa máxima a la que el control puede contrarrestar la deriva), Alcanzabilidad (volumen restante de Viab(R) accesible desde $x(t)$), y Margen de maniobra (tiempo hasta la frontera desde $x(t)$ bajo control nulo, definido formalmente en C8.1).

Condición límite. Por definición de $\Sigma\_NR = \partial$ Viab(R) y continuidad: en la frontera, $\mathcal{M} \to 0$. Solo queda una única trayectoria futura.

C2 — La Deriva como Consecuencia de la Irreversibilidad

C2.1 — Deriva irreversible. Para sistemas abiertos con deriva irreversible no nula, los estados ordenados decaen hacia pérdida de estructura en ausencia de control sostenido. Esto se sigue directamente de la capacidad de control limitada y del resultado del horizonte del operador del Papel A (Teorema T2).

C2.2 — Dinámicas de base. Sin control ($u = 0$), el sistema evoluciona como $dx/dt = f(x)$, donde $f(x)$ es el campo de deriva irreversible que apunta hacia un atractor de pérdida estructural.

Proposición C2.1 (Deterioro de agencia bajo deriva). Sea $x(t)$ la evolución bajo $dx/dt = f(x) + u$ con $u(t) \in U$, y suponga que f apunta hacia un atractor $x^* \notin$ Viab(R). Si $|f(x)| \geq a||x - x^*||$ para algún $a > 0$, y si $\mu(\text{Reach}(x) \cap \text{Viab}(R))$ es Lipschitz en x con constante L, entonces: $d\mathcal{M}/dt \leq L(u\_max - a||x - x^*||)/\mu(\text{Viab}(R))$.

Cuando $||x - x^*|| > u\_max/a$, el lado derecho es estrictamente negativo: la agencia disminuye independientemente del control. Esto reproduce el horizonte del operador del Papel A en el marco de la agencia y cuantifica la tasa de pérdida de agencia más allá del horizonte.

C3 — Condiciones Necesarias para la Conservación de la Agencia

C3.1 — Costes de control continuos. Para sistemas abiertos con $f(x) \neq 0$ lejos de puntos fijos, mantener la distancia a Σ_{NR} requiere gasto continuo de control. Excepto en puntos fijos exactos de f, ninguna intervención finita detiene permanentemente la deriva.

C3.2 — Efectividad de control condicionada por varianza (Proposición condicional). Para sistemas de control admisibles con coste instantáneo $c(u)$ convexo en $|u|$, las trayectorias de control de baja varianza preservan $\mathcal{M}(x)$ más efectivamente que las estrategias de alta varianza o impulsivas con el mismo esfuerzo medio de control.

Prueba (bosquejo). Para c convexa, la desigualdad de Jensen da $\mathbb{E}[c(u)] \geq c(\mathbb{E}[u])$. Control variable con esfuerzo medio fijo incurre mayor coste acumulativo que control constante al nivel medio, agotando el presupuesto $B(t)$ más rápidamente. □

Corolario C3.1a (Condición de mantenimiento). Para $dx/dt = -ax + u$ con $a > 0$ y $u \in [0, u_{max}]$, la agencia $\mathcal{M}(x)$ se mantiene ($d\mathcal{M}/dt = 0$) si y solo si $u = ax$, es decir, el control equilibra exactamente la deriva. Esto requiere $x \leq u_{max}/a = x_h$ (el horizonte del operador). Para $x > x_h$, ningún control admisible puede mantener $\mathcal{M}$, y $d\mathcal{M}/dt < 0$ estrictamente.

C4 — Geometría de No Retorno dentro de un Sector Realizado

C4.1 — Geometría del horizonte. El horizonte del operador del Papel A aplica estrictamente dentro de un sector de registro realizado. Cruzar esta frontera elimina estados de Viab(R).

C4.2 — Ruina como estado absorbente. La ruina se define como $x \notin \mathrm{Viab}(R)$. Una vez que esto ocurre, la recuperación es imposible bajo control admisible. La ruina es una propiedad geométrica del espacio de estados, no una condición subjetiva.

Ejemplo elaborado: Geometría de no retorno en un sistema lineal 2D.

Considere un sistema bidimensional con estado $x = (x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2$, deriva $f(x) = (-a_1x_1, -a_2x_2)$ con $a_1, a_2 > 0$, y control $u \in [0, u_1^{max}] \times [0, u_2^{max}]$. El conjunto de restricción es $R = \{x : x_1 \geq 0, x_2 \geq 0\}$. El núcleo de viabilidad es el rectángulo $\mathrm{Viab}(R) = [0, x_{1\_h}] \times [0, x_{2\_h}]$ donde $x_{ih} = u_i^{max}/a_i$ es el horizonte del operador por eje.

La superficie de no retorno Σ_NR es la frontera de este rectángulo. La agencia varía continuamente de 1 (en el origen) a 0 (en la esquina del horizonte). Tres características: (i) la superficie de no retorno es separable por ejes en el caso lineal; (ii) la agencia varía continuamente; (iii) la posición dentro de Viab(R) determina cuánta flexibilidad futura queda, independientemente de la historia del sistema.

C5 — Presupuestos de Control y Fatiga

C5.1 — Presupuesto de control. Defina $B(t) = B_0 - \int_0^t c(u(s))\,ds$, donde $c(u)$ es el coste instantáneo y $B_0 > 0$ el presupuesto inicial. El control admisible requiere $B(t) \geq 0$.

C5.2 — Fatiga de control. Ocurre cuando $B(t) \to 0$. Control de alta frecuencia o magnitud acelera el agotamiento. Por la Proposición C3.2, las estrategias impulsivas con coste convexo agotan el presupuesto estrictamente más rápido que el control estable al mismo esfuerzo medio.

Teorema C5.1 (Cota de tiempo de supervivencia). Sea T^* el primer momento en que $B(T^*) = 0$ o $x(T^*) \notin \mathrm{Viab}(R)$. Entonces: $T^* \leq B_0/c\_min$.

Prueba. Dado $c(u) \geq c\_min$ para todo control no nulo, $dB/dt \leq -c\_min$. Si se requiere control continuo: $B(T^*) \leq B_0 - c\_min \cdot T^*$. Fijando $B(T^*) = 0$: $T^* \leq B_0/c\_min$. □

Presupuestos finitos implican supervivencia finita: ningún sistema con recursos limitados puede mantener la agencia indefinidamente contra deriva persistente.

Ejemplo elaborado (sistema escalar). $dx/dt = -ax + u$ con $a = 1$, $u\_max = 2$, $c(u) = u$, $B_0 = 10$, $x_0 = 1{,}5$: mantener $x = 1{,}5$ requiere $u = 1{,}5$, costando 1,5/unidad de tiempo. $T^* = 10/1{,}5 \approx 6{,}67$. Después del agotamiento, $u = 0$ y x decae exponencialmente.

C6 — Ruido y Silencio

C6.1 — Ruido. El ruido es entrada exógena no controlable que consume ancho de banda de control sin aumentar $\mathrm{Reach}(x) \cap \mathrm{Viab}(R)$. Formalmente, perturbación $\xi(t)$ añadida al campo de deriva.

Proposición C6.1 (Deterioro de agencia por ruido). Si el sistema gasta control adicional Δu para compensar ξ con $\mathbb{E}[|\xi|^2] = \sigma^2$, la tasa de agotamiento del presupuesto aumenta: $T\_ruidoso \leq B_0/(c\_min + \alpha\sigma^2) < T\_silencioso$. El ruido grava su presupuesto sin expandir volumen viable.

C6.2 — Silencio. Retener respuesta ($u(t) = 0$) es acción de control admisible. Cuando $f(x)$ es lento o favorable (dirigido lejos de Σ_NR), el silencio preserva presupuesto sin coste de agencia.

Esto no es inacción coloquial; es la política de control óptima cuando los costes marginales de intervención exceden los costes de la deriva.

Formalmente, el silencio se prefiere cuando $c(u)/|\partial\mathcal{M}/\partial u| > |d\mathcal{M}/dt|\_\{u=0\}$. En regímenes dominados por ruido, el silencio también puede prevenir bucles de retroalimentación amplificadores de ruido.

C7 — Acoplamiento y Rescate

C7.1 — Sistemas acoplados y transferencia de agencia. Cuando los sistemas están acoplados, sus campos de deriva se combinan y sus capacidades de control se gravan mutuamente. La agencia total no se conserva.

No conservación: dos ejemplos. (1) Acoplamiento cooperativo: dos sistemas con $a = 1$, $u_{max} = 1$ comparten control. u_{max} efectivo = 2, x_h se duplica. $\mathcal{M}_A + \mathcal{M}_B$ aumenta. (2) Acoplamiento parasítico: A ($a = 1$, $u_{max} = 2$) acoplado a B ($a = 3$, $u_{max} = 0$). B desvía capacidad de A. Ambos pierden agencia. La topología de acoplamiento y los cocientes deriva-control determinan si la agencia se expande, contrae o redistribuye. Ninguna ley de conservación gobierna la agencia total.

C7.2 — Inestabilidad de rescate. Condición suficiente para pérdida de viabilidad conjunta: $|f_A| + |f_B| > |u_A|_{max} + |u_B|_{max}$. La magnitud total de deriva excede el control total disponible.

C8 — Margen de Maniobra y Robustez

C8.1 — Margen de maniobra. $s(x) = \inf\{t \geq 0 : \varphi_t(x) \in \Sigma_{NR}\}$, donde φ_t es el flujo no controlado. Mide tiempo-hasta-la-frontera, no distancia euclídea.

Proposición C8.1. Para $dx/dt = -ax + u$, $s(x) = x/a$ y $x_h = u_{max}/a$ satisfacen: $\mathcal{M}(x)$ es monótonamente creciente en $s(x)$ para $x \in [0, x_h]$.

Mayor margen implica mayor agencia. Usted lo ha sentido — la diferencia entre tres meses de ahorros y tres días.

En dimensiones superiores, el margen es condición necesaria pero no suficiente: un estado puede tener gran tiempo-hasta-frontera pero estar rodeado de regiones sin trayectoria viable (callejones sin salida geométricos).

C8.2 — Redundancia. Un sistema tiene redundancia $r \geq 1$ si existen al menos r trayectorias admisibles distintas alcanzando el estado objetivo. La redundancia reduce sensibilidad a perturbaciones a costa de eficiencia.

C9 — Salida como Resultado de Control

C9.1 — Retiro. Cuando $\mathcal{M}(x(t))$ disminuye monótonamente bajo todos los controles admisibles en un sistema acoplado, el desacoplamiento preserva más volumen viable alcanzable que el acoplamiento continuado.

C9.2 — Entornos disipadores de agencia. Un entorno es disipador de agencia si $d\mathcal{M}/dt < 0$ para todos los controles admisibles.

Proposición C9.1 (Condición de desacoplamiento). El desacoplamiento preserva agencia para A si y solo si $|f_{acoplada,A}(x)| > |f_A(x)|$.

Usted lo sabe. La relación que cuesta más energía mantener de la que proporciona es una relación que aumenta su deriva. Las matemáticas dicen: salga. No porque salir sea moralmente correcto. Porque la geometría de su núcleo de viabilidad se contrae mientras permanece.

C10 — Falsificabilidad y Cierre

FC1: $\mathcal{M}(x)$ aumenta sin gasto de control. FC2: Pérdida irreversible revertida sin intervención externa. FC3: Control estable más allá de Σ_{NR}. FC4 (Almuerzo gratis): Supervivencia ilimitada con presupuesto finito bajo deriva persistente. FC5 (Resurrección): Recuperación de $\mathcal{M} > 0$ después de la ruina.

El Papel C no introduce nueva física. Aplica las restricciones irreversibles y selectivas de los Papeles A y B a dinámicas controladas dentro de un sector de registro realizado.

Instanciaciones Experimentales

Sistema 1: Quimiotaxis bacteriana. Estado: concentración de nutriente en la ubicación celular. Deriva: agotamiento por difusión. Control: conmutación del motor flagelar ($u \in \{\text{correr}, \text{girar}\}$). Presupuesto: reserva metabólica (ATP). Núcleo de viabilidad: concentraciones que sostienen crecimiento. Superficie de no retorno: umbral de inanición. Predicción testable: tiempo de supervivencia escala con reserva inicial dividida por tasa metabólica de mantenimiento (T5.1). Ruido: difusión rotacional browniana grava el presupuesto (C6.1).

Falsificador: si un mutante no móvil ($u_{max} = 0$) mantiene su posición sin intervención externa, la agencia como se define aquí está falsificada.

Sistema 2: Navegación robótica autónoma. Estado: (posición, nivel de batería) $\in \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}_+$. Deriva: gravedad o pendiente. Control: par motor. Presupuesto: carga de batería. Núcleo de viabilidad: estados desde los cuales el robot alcanza un cargador antes del agotamiento. Superficie de no retorno: batería insuficiente para alcanzar cualquier cargador. Predicción: conjunto viable alcanzable se encoge monótonamente con batería (C2.1). Políticas óptimas explotan silencio en pendientes favorables (C6.2).

Estas instanciaciones no son metáforas. Cada una mapea las cantidades abstractas a variables físicamente medibles con predicciones cuantitativas.

C11 — Cierre Estructural

Papel A: irreversibilidad como pérdida de alcanzabilidad. **Papel B:** selección como exclusión costosa. **Papel C:**

agencia como volumen viable alcanzable normalizado bajo control restringido.

El fracaso del Papel C no invalida el Papel B. El fracaso del Papel B no invalida el Papel A.

Lo que queda es empírico: qué sistemas realizan estas estructuras y con cuánta precisión.

Fin del Papel C. Referencia Canónica Bloqueada · Ejecución Completa

Papel D — Viabilidad Acoplada: Condiciones Estructurales para la Persistencia Multi-Agente bajo Dinámicas Irreversibles

Depende de los Papeles A, B y C. El fracaso del Papel D no invalida los Papeles A, B o C.

D0 — Dependencia, Alcance y Posicionamiento

El Papel D depende explícita y exclusivamente de los resultados de los Papeles A, B y C. Ningún constructo previo se redefine. El fracaso del Papel D no invalida ningún papel previo.

El Papel D aborda: Dados múltiples agentes operando en entornos de restricciones compartidos bajo física irreversible, ¿cuáles son las condiciones estructurales para dinámicas conjuntas persistentes, y qué formas de orden emergente son admisibles?

Esto es geometría de viabilidad, no sociología. No es teoría de juegos evolutiva, ni aprendizaje por refuerzo, ni diseño de mecanismos.

El papel no: introduce nuevas leyes físicas, invoca psicología o ética, asume racionalidad u optimización, modela comunicación o negociación, ni afirma que las estructuras emergentes sean diseñadas o intencionadas.

D0.5 — Términos Cargados: Definiciones Geométricas

«Cooperación» — condición geométrica donde las externalidades de registro mutuas expanden la viabilidad conjunta. **«Jerarquía»** — acoplamiento asimétrico donde las externalidades de agentes de mayor capacidad dominan el paisaje de restricciones de los inferiores. **«Disuasión»** — configuración donde los costes de desacoplamiento unilateral exceden los de acoplamiento continuado. **«Impedancia»** — $Z = u_{max} / a$. **«Resonancia»** — compatibilidad de frecuencia y fase entre estrategias de control acopladas.

D1 — Entornos de Restricciones Compartidos

D1.1 — Dominio de viabilidad compartido. Cuando múltiples agentes operan en un entorno físico común, sus núcleos de viabilidad pueden solaparse. El espacio de estados conjunto es el producto de los individuales. El núcleo de viabilidad conjunto es el conjunto de estados conjuntos desde los cuales existe control admisible conjunto que mantiene a todos los agentes dentro de sus restricciones.

D1.2 — Acoplamiento por restricciones. Cuando las acciones del Agente A modifican el entorno compartido de modo que alteran el campo de deriva, conjunto de control o núcleo de viabilidad de B, están acoplados por restricciones. No se requiere intercambio directo de energía.

Ejemplo: El Robot A ocupa la estación de carga. Las trayectorias admisibles de B se contraen. No fluyó energía de A a B. Pero el conjunto alcanzable de B cambió.

D1.3 — Externalidades de registro (Principio de Exclusión Geométrico). Para agentes acoplados con $K_A \cap K_B \neq \emptyset$: si A ejecuta una acción que escribe registro y cambia las coordenadas compartidas, K_B cambia genéricamente.

Prueba: (1) La acción de A modifica irreversiblemente coordenadas compartidas $e \to e'$. (2) $K_B = K_B(e)$ depende de estas coordenadas. (3) Bajo no degeneración y transversalidad, $K_B(e') \neq K_B(e)$. (4) El cambio puede ser positivo o negativo. (5) Por transversalidad, los cambios que preservan exactamente $\mu(K_B)$ tienen medida cero. □

Corolario D1.3: La externalidad neutral requiere ajuste fino de parámetros.

Falsificador D1: Si A ejerce externalidad negativa sobre B y B aumenta $\mathcal{M}_B$ sin cortar acoplamiento, aumentar presupuesto o recibir compensación de un tercero, el argumento está falsificado.

D2 — Composición de la Agencia

Proposición D2.1: La agencia conjunta es no aditiva. $\mathcal{M}_{conjunta} \neq \Sigma\ \mathcal{M}_i$ en general. Super-aditiva cuando derivas anti-alineadas y controles compatibles. Sub-aditiva cuando derivas co-alineadas o controles en conflicto.

D2.2 — Emparejamiento de impedancia. La eficiencia de acoplamiento se deteriora cuando $|Z_i/Z_j|$ se aleja de uno.

Teorema D2.3 (Modelo de juguete): Resonancia y fase. Para dos agentes sinusoidales acoplados, la viabilidad conjunta se maximiza en $\omega_1 = \omega_2$ y $\Delta\varphi = 0$ (resonancia en fase). Se contrae monótonamente con $|\Delta\varphi|$ creciente.

Prueba: Modos suma $S = x_1 + x_2$ y diferencia $D = x_1 - x_2$. Amplitud de control sobre suma: $2U\cdot\cos(\Delta\varphi/2)$. Sobre diferencia: $2U\cdot|\sin(\Delta\varphi/2)|$. La viabilidad requiere S grande y $|D|$ pequeño. Ambos se optimizan en $\Delta\varphi = 0$. □

D3 — Configuraciones Estables bajo Deriva

D3.1 — Equilibrio de Composición (EC). Configuración de estado-control conjunta en la cual todos los agentes mantienen $\mathcal{M}_i > 0$ indefinidamente. EC no invoca racionalidad. Es una condición geométrica de punto fijo.

EC ≠ EN: El Cargador que Requiere Operador. Dos robots, batería $b_i(t) \in [0, 100]$, ruina en $b_i \leq 10$.

Descarga: 12 u/h. Para cargar, el otro gira la manivela (+30 u/h, coste de manivela −4 u/h).

EC (Alternancia): R1 carga, R2 gira. Luego alternan. Ambos oscilan entre 84 y 100. Supervivencia indefinida.

Deserción Nash: Ganancia local +4/h. El compañero muere en $t \approx 6{,}375$ h. Sin compañero, el desertor muere en $t \approx 13{,}5$ h.

Conclusión: Viabilidad ≠ utilidad. Un agente racional puede calcularse hacia la extinción ignorando el horizonte del operador.

D3.2a — Condiciones necesarias para persistencia (bajo alineamiento). (N1) Control agregado excede deriva agregada. (N2) Compatibilidad de impedancia. (N3) Ninguna externalidad empuja a otro más allá de su superficie de no retorno más rápido de lo que puede compensar. (N4) Presupuesto conjunto suficiente. La violación implica que al menos un agente alcanza su superficie de no retorno en tiempo finito.

D3.2b — Condiciones suficientes (sin alineamiento). (S1) Cada agente satisface su condición de viabilidad independientemente. (S2) Todas las externalidades de registro son no negativas. (S3) Acoplamiento impedancia-compatible. (S4) Presupuesto conjunto excede coste de mantenimiento conjunto. Bajo estas condiciones, todos persisten.

D3.3 — Inestabilidad y fallo en cascada. El fallo del Agente i propaga a j si la eliminación de la contribución de i aumenta la deriva de j más allá de su margen de control. Contención: la cascada se detiene si j tiene margen suficiente para absorber el choque.

D4 — Orden Emergente sin Diseño

D4.1 — Modelo nulo y métrica de orden. Modelo nulo: agentes con políticas aleatorias bajo el mismo campo de deriva. Métrica: correlación de margen $\rho_{ij} = \mathrm{corr}(s_i(t), s_j(t))$. Supervivientes aleatorios: $\rho \approx 0$. Agentes coordinados: ρ positiva. Prueba estadística: p-valor empírico < 0,05 declara orden.

D4.2 — Filtrado estructural. Bajo deriva irreversible, las configuraciones que violan N1–N4 son eliminadas. Las sobrevivientes están sesgadas hacia las que satisfacen estas condiciones — no porque fueran seleccionadas para ello, sino porque todo lo demás abandonó el núcleo de viabilidad. Ninguna optimización, aptitud o teleología requerida.

D4.3 — Jerarquía como geometría de restricciones. Con capacidades asimétricas (diferentes Z), las configuraciones estables exhiben genéricamente estructura jerárquica: las externalidades de agentes de mayor capacidad dominan el paisaje de restricciones de los de menor capacidad. La jerarquía es geométrica, no intencional.

D4.4a — Cooperación. Los equilibrios cooperativos existen cuando las externalidades mutuas expanden los núcleos de viabilidad más de lo que los costes de acoplamiento los contraen. Observable: $\mathcal{M}_{\text{conjunta}} > \Sigma\, \mathcal{M}_i$.

D4.4b — Disuasión. Los equilibrios de disuasión existen cuando los costes de desacoplamiento unilateral exceden los de acoplamiento para ambos. Observable: $\mathcal{M}_i(\text{acoplado}) > \mathcal{M}_i(\text{desacoplado})$. Ambos son geométricos. Ninguno es normativo.

D5 — Instanciaciones Experimentales y Falsificadores

Sistema 1: Ecología microbiana (quimiostato). Dominio compartido: espacio nutriente-población. Externalidades: desechos que alteran pH/nutrientes. Impedancia: compatibilidad metabólica. Margen: tiempo-hasta-lavado. Cascada: propagación trófica.

Sistema 2: Cargador que requiere operador (dos robots). El ejemplo elaborado de D3.1. Cada constructo se mapea a una variable medible.

Falsificadores: F0 (Kill Switch Global): sistema multi-agente sobrevive indefinidamente violando todos N1–N4. D1 (Sin supervivencia gratuita). D2.1 (Aditividad bajo acoplamiento). D2.2 (Eficiencia independiente de impedancia). D2.3 (Optimalidad anti-resonancia). D3.3 (No propagación de cascada). D4 (Orden indistinguible de ruido). D4.2 (Violadores persistentes). D4.3 (Inversión de jerarquía). D4.4a (No existencia de cooperación). D4.4b (Salida de disuasión).

Cada proposición tiene al menos un falsificador testable con observable especificada. Falsificadores son independientes de A, B, C.

D6 — Cierre Estructural

Papel A: Irreversibilidad como pérdida de alcanzabilidad. Independiente de B, C, D. **Papel B:** Selección como exclusión costosa. Depende de A. **Papel C:** Agencia como control restringido. Depende de A; usa resultado de B. **Papel D:** Viabilidad acoplada. Depende de A, B, C.

La dependencia unidireccional se preserva. El fracaso de D no invalida C, B o A. Cada capa añade estructura. Ninguna añade física.

Fin del Papel D. Referencia Canónica Bloqueada · Ejecución Completa

Cierre Estructural

Juntos, la trilogía establece una cadena de dependencia estratificada y unidireccional:

Papel A: Irreversibilidad como pérdida de alcanzabilidad bajo control restringido. Define el Estado de Actualización, demuestra monotonía bajo dinámicas decoherentes y establece superficies de no retorno. Independiente de los Papeles B y C.

Papel B: Selección como exclusión costosa, limitada en tasa e irreversible de sectores de registro alternativos, si existe. Deriva requisitos estructurales y una cota de tasa gravitacional falsificable. Depende del Papel A; independiente del Papel C.

Papel C: Agencia como volumen viable alcanzable normalizado bajo control restringido dentro de un único sector de registro realizado. Establece proposiciones sobre deterioro de agencia bajo deriva, cotas de tiempo de supervivencia, agotamiento inducido por ruido, no conservación bajo acoplamiento y correspondencia margen-agencia. Depende del Papel A; usa resultado del Papel B, pero no su mecanismo.

Papel D: Viabilidad acoplada bajo restricción multi-agente. Depende de A, B, C. Extiende el acoplamiento (C7), introduce entornos de restricciones compartidos, deriva filtrado estructural, jerarquía, cooperación y disuasión como consecuencias geométricas.

El fracaso del Papel C no invalida el Papel B. El fracaso del Papel B no invalida el Papel A. Cada capa es independientemente falsificable.

Lo que queda es empírico: qué sistemas realizan estas estructuras y con cuánta precisión.

— e

Libro Mayor de Kill Switches

El siguiente libro mayor mapea cada reclamo falsificable en AP01 al sistema de numeración de kill switches del corpus. Cada kill switch tiene un identificador único (KS-N), un estado y una observable especificada.

Tipos de estado: CERRADO (demostrado dentro del argumento), LIVE-EMPÍRICO (testable por experimento), LIVE-DURO (problema teórico abierto).

Papel A — Kill Switches

F0 (Kill Switch Global): Invariancia operativa de EA. $|EA(\rho; \mathcal{O}_1) - EA(\rho; \mathcal{O}_2)| > \delta\_exp$ persistente → programa entero muerto. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

T1 (Monotonía): EA disminuye bajo condiciones (1)–(3). Estado: LIVE-EMPÍRICO.

T2 (Horizonte del Operador): Sistema se recupera más allá de x_h. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

F1 (Fallo indicador): La selección no respeta el álgebra de registros. Estado: LIVE-EMPÍRICO. Prueba: R1.

F2 (Violación de Born): Las estadísticas de ensamble se desvían de $\{p_i\}$. Estado: LIVE-EMPÍRICO. Prueba: R4.

F3 (Dependencia del contexto): La selección depende de intervención del observador. Estado: LIVE-EMPÍRICO. Prueba: R5.

G1: Selección más rápida que $\Delta E\_G/\hbar$. Estado: LIVE-EMPÍRICO. Prueba: R3.

G2: Selección entre registros con $\Delta E\_G = 0$. Estado: LIVE-EMPÍRICO. Prueba: R2.

G3: Escalamiento universal con parámetros no gravitacionales. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

Papel B — Kill Switches

B2: Selección pre-irreversibilidad. Estado: LIVE-EMPÍRICO. Prueba: BT1.

FG1: Tasa de selección excede $\Delta E\_G/\hbar$. Estado: LIVE-EMPÍRICO. Prueba: BT4.

FG2: Selección en $\Delta E\_G = 0$. Estado: LIVE-EMPÍRICO. Prueba: BT3.

Papel C — Kill Switches

FC1: $\mathcal{M}(x)$ aumenta sin gasto de control. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

FC2: Pérdida irreversible revertida sin intervención externa. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

FC3: Control estable más allá de Σ_NR. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

FC4 (Almuerzo gratis): Supervivencia ilimitada con presupuesto finito. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

FC5 (Resurrección): Recuperación de $\mathcal{M} > 0$ después de la ruina. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

Papel D — Kill Switches

D1 (Sin supervivencia gratuita): $\mu(K\_B)$ aumenta pese a externalidad negativa sin compensación. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

D2.1 (Aditividad bajo acoplamiento): $\mathcal{M}\_conjunta = \Sigma \mathcal{M}\_i$ con acoplamiento no nulo. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

D2.2 (Eficiencia independiente de impedancia): Eficiencia no degrada con cociente Z. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

D2.3 (Optimalidad anti-resonancia): Máxima viabilidad conjunta en antifase. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

D3.3 (No propagación de cascada): El fallo no propaga. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

D4 (Orden indistinguible de ruido): $p \geq 0{,}05$ para correlación de margen. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

D4.2 (Violadores persistentes): Configuración persiste violando N1–N4. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

D4.3 (Inversión de jerarquía): Agente bajo-Z domina paisaje de alto-Z. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

D4.4a (No existencia de cooperación): $\mathcal{M}$_conjunta ≤ Σ $\mathcal{M}$_i en sistemas de externalidad positiva. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

D4.4b (Salida de disuasión): Agente aumenta $\mathcal{M}$ por desacoplamiento unilateral. Estado: LIVE-EMPÍRICO.

Todas las pruebas declaradas en este documento se derivan de las definiciones y supuestos declarados localmente. Todas las proposiciones tienen observables especificadas y falsificadores testables. Todas las conjeturas están acotadas.

Papeles 0, A, B, C, D

Serie: The 420 Code

Prueba del Artista 01 — La Física del Operador

Artista: G

Publicada para siempre de forma gratuita