

Teoría de la Distinción

Realizabilidad física elemental

Fernando Figueroa Gutiérrez — Investigador Independiente

2026

Table of Contents

Prólogo

Este documento es el cierre de un camino que comenzó con una sola pregunta:

¿Qué condición mínima debe cumplir algo para ser considerado físicamente real?

La respuesta, desarrollada a lo largo de estas páginas, es:

Lo físico es aquello que admite un procedimiento operacional finito que lo distinga de su ausencia.

A partir de esa única definición — que no es un axioma sobre el mundo, sino una definición de alcance — se demuestra, sin añadir ningún postulado adicional, que:

- Existe un cuanto mínimo de realidad: $B > 0$
- B , información y área son la misma cosa
- Toda medida es un múltiplo entero de B : $A = BN$
- Dos distinciones distintas no pueden ocupar el mismo soporte: $B_i \cap B_j = \emptyset$
- No hay exterior físico, ni antes, ni fuera, ni más allá
- El espacio es la suma de las distinciones: $\sum_i B_i$
- El tiempo es la acumulación irreversible de distinciones: $\Delta N \geq 0$
- La dimensionalidad del espacio es $D = 3$, demostrada por topología algebraica pura desde la Inmanencia Operativa
- La correlación fundamental es $C(i, j) = \Phi_{ij} e^{i\theta_{ij}}$ con fase $U(1)$
- La gravedad emerge de la saturación de la red: RSGM, $z^* = 6$
- La radiación de Hawking es expulsión de correlaciones
- La entropía es $S = k_B N \ln 2$, sin correcciones logarítmicas

- Todo es $\mathcal{C}(B)$: materia, energía, espacio, tiempo, información, campos, curvatura
- El electromagnetismo emerge de la estructura de fase $U(1)$ de los gaps
- La materia es protección topológica: $q_\gamma \neq 0$
- La energía y la masa son casos particulares de una misma expresión en gaps activos

No hay axiomas sobre el mundo. Solo definiciones y teoremas.

La única hipótesis empírica de la teoría — introducida al final del documento — es falsable: si el futuro la refuta, la estructura deductiva sobrevive intacta.

Tabla de contenidos

Prólogo	1
Tabla de contenidos	2
Parte 0: Primitivas y definiciones fundamentales	4
Capítulo 0 — La identidad fundamental: B Información Área Distinción	4
Capítulo 1 — Definición de ámbito y primeras consecuencias	5
Capítulo 2 — Teorema del cuanto: $B > 0$	6
Capítulo 3 — Inexistencia previa a B y ausencia de distancia previa a B	7
Capítulo 4 — Realizabilidad: $A = BN$	8
Parte I: Exclusión, inmanencia y consecuencias ontológicas	9
Capítulo 5 — Teorema de inmanencia operativa	9
Capítulo 6 — Exclusión de identidad: $BiBj = \emptyset$	10
Capítulo 7 — Confinamiento inmanente	11
Capítulo 8 — Equilibrio ontológico fundamental	11
Capítulo 9 — No destrucción, tiempo y expansión	12
Parte II: Estructura relacional y geometría emergente	13
Capítulo 10 — Estructura relacional fundamental	13
Capítulo 11 — Teorema de emergencia tridimensional: $D=3$ (vía inmanencia)	14
Capítulo 12 — Formalización matemática adicional	15
Capítulo 13 — Gap, $U1$ y correlación fundamental: $C=ei$	16
Capítulo 14 — Repulsión electromagnética	17
Capítulo 15 — Acción de red y RSGM: $z^*=6$	18
Capítulo 16 — Radiación de Hawking y expansión	18
Resumen de la Parte II	19
Parte III: Emergencia del electromagnetismo desde la holonomía	20
Capítulo 17 — La reorganización relacional como única evolución posible	20
Capítulo 18 — El gap como relación física irreducible	21
Capítulo 19 — La orientación como propiedad necesaria del gap	22

Capítulo 20 — La holonomía como invariante fundamental	23
Capítulo 21 — Periodicidad de la holonomía y emergencia de U_1	24
Capítulo 22 — U_1 y la estructura del gap	25
Capítulo 23 — Emergencia del campo electromagnético	25
Capítulo 24 — El electromagnetismo como consecuencia necesaria	26
Resumen de la Parte III	27
Parte IV: Cierre — identificación empírica de B	28
Capítulo 25 — Entropía de distinción y ausencia de correcciones logarítmicas	28
Capítulo 26 — Identificación empírica de B: $B=4\ell P^2 \ln 2$ (hipótesis)	31
Resumen de la Parte IV	32
Parte V: Todo es distinción efectuada	32
Capítulo 27 — Principio de identidad: todo es CB	32
Capítulo 28 — Materia y energía son dos nombres para la misma trama	33
Capítulo 29 — El espacio no es un recipiente donde están las cosas	34
Capítulo 30 — Los campos no son una sustancia que vibra sobre el espacio	35
Capítulo 31 — La energía no es una cosa, es qué tan rápido cambia la trama	35
Capítulo 32 — La masa no es una cosa, es lo difícil que es deshacer una forma	36
Capítulo 33 — El tiempo no fluye, es el orden en que se efectúan las distinciones	36
Capítulo 34 — Principio de traducción universal	36
Resumen de la Parte V	37
Parte VI: Holonomía, carga topológica y protección de la materia	38
Capítulo 35 — Teorema de no escala intermedia	38
Capítulo 36 — Lazo y holonomía	38
Capítulo 37 — Teorema de unificación de las definiciones de energía y materia	40
Parte VII: Teoremas universales de realizabilidad física	42
Capítulo 38 — Teorema universal de realizabilidad física	42
Capítulo 39 — Teorema de exclusión de realizaciones	43
Capítulo 40 — Teorema de irreversibilidad	43
Capítulo 41 — Teorema de la distinción como condición trascendental	44
Capítulo 42 — Teorema de la cardinalidad mínima	44
Capítulo 43 — Teorema del costo de la distinción	45
Capítulo 44 — Teorema de geometrización de la información	45
Capítulo 45 — Teorema de exclusión informacional (límite holográfico)	46
Capítulo 46 — Teorema de la cota entrópica	46
Capítulo 47 — Teorema de la cota de curvatura	47
Capítulo 48 — Teorema de unicidad de la acción gravitacional	48
Capítulo 49 — Teorema de emergencia del tiempo e irreversibilidad	49

Capítulo 50 — Teorema de la mecánica cuántica como límite de distinguibilidad	50
Capítulo 51 — Teorema de la densidad de energía del vacío	51
Parte VIII: Conexión con la gravedad y cosmología	52
Capítulo 55 — De la red de distinciones a la acción gravitacional	52
Capítulo 56 — Propiedades de la acción $fR=R/1+\ell P^2R$	53
Capítulo 57 — Ecuaciones de campo completas	55
Capítulo 58 — Cosmología: ecuaciones de Friedmann modificadas	56
Capítulo 59 — Régimen débil: recuperación de CDM	57
Capítulo 60 — Régimen fuerte: estructuras estelares y objetos compactos	57
Capítulo 61 — Ondas gravitacionales y modos de polarización	58
Capítulo 62 — Energía oscura como presión entrópica del sustrato	59
Capítulo 63 — Predicciones falsables de la teoría	60
Capítulo 64 — La cadena completa: de la distinción a la cosmología	61
Conclusiones finales	64
Resumen completo de la teoría	64
Cadena fundamental	64
Estatus de cada concepto	64
Conclusión general	66
Epílogo	66
Apéndice A — El estatus de B: teorema, no axioma	66
A.1 — La demostración del Teorema del Cuanto	66
A.2 — ¿Qué presupone esta demostración?	67
A.3 — B no es un axioma	67
A.4 — La jerarquía de estatus	67
A.5 — El argumento en una línea	68
A.6 — El valor fundamental de B	68
Motivo de la identificación con el área de Planck	68
Importancia conceptual	69
Referencias	69

Parte 0: Primitivas y definiciones fundamentales

Capítulo 0 — La identidad fundamental: $B \equiv \text{Información} \equiv \text{Área} \equiv \text{Distinción}$

Definición (Primitiva única). La única primitiva de la teoría es la distinción físicamente realizable con costo mínimo B .

Teorema (Identidad fundamental).

$$B \equiv \text{Información} \equiv \text{Área} \equiv \text{Distinción}$$

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que información, área y B son tres entidades distintas.

- **Caso 1.** Si la información pudiera existir sin área, tendríamos $I > 0$ y $A = 0$. Pero sin área no hay soporte físico sobre el cual la información pueda distinguirse de la inexistencia. Por la Definición de Ámbito, la información no sería físicamente realizable. Contradicción.
- **Caso 2.** Si el área pudiera existir sin información, tendríamos $A > 0$ e $I = 0$. Pero un área sin ninguna distinción es geoméricamente indistinguible de cualquier otra área; no hay nada físico allí. Por la Definición de Ámbito, no es física. Contradicción.
- **Caso 3.** Si B no fuera idéntico a la distinción, sería una entidad adicional que “porta” distinción o área, introduciendo un intermediario no derivado que la teoría no admite. Contradicción.

Por tanto, las tres nociones son la misma cosa descrita con nombres distintos. ■

Observación crucial. B no es “una cosa” que tiene información o área. B es información y es área. No hay separación ni dualidad.

Corolario (Toda física es medición de B). Toda magnitud física es, en última instancia, una medición de B y sus correlaciones.

Demostración. Por el Teorema de Realizabilidad (Capítulo 4), toda magnitud física es $A = BN$ para algún N . Por la Identidad Fundamental, A es B . Luego toda magnitud física es un conteo de B o una correlación entre B . ■

Corolario (Distancia, tiempo, volumen y velocidad como B).

Magnitud	Definición en términos de B
Distancia	número de B intermedios en una cadena relacional entre dos bits
Tiempo	acumulación de N : ΔN
Volumen	extensión $A = BN$ de una región en $D = 3$
Velocidad	$\Delta N(\text{espacio})/\Delta N(\text{tiempo})$

Todas se reducen a N , a B , o a su cociente — nunca a una sustancia adicional. ■

Capítulo 1 — Definición de ámbito y primeras consecuencias

Definición (Ámbito de lo físico). Se llama físico a aquello que admite un procedimiento operacional finito que lo distinga de su ausencia. Es una definición de alcance, no una hipótesis sobre el mundo: fija de qué habla la teoría, no afirma nada que requiera verificación.

Teorema (Existencia como distinción). Una entidad es físicamente existente si y sólo si es distinguible objetivamente de al menos otra entidad mediante un procedimiento físico finito.

Prueba. Es la Definición de Ámbito aplicada a la existencia misma: sin distinción realizable no hay procedimiento que detecte a la entidad como diferente de la nada, luego, por la Definición de Ámbito, la entidad no es físicamente existente. ■

Teorema (Contraste). Toda distinción requiere otra distinción respecto a la cual contrastar.

Prueba. Una distinción sin contraste no es verificable por ningún procedimiento, luego, por la Definición de Ámbito, no es física. ■

Teorema (Información). Toda distinción $X \neq Y$ realizable es información física, $I > 0$.

Prueba. Por el Teorema de Existencia como Distinción, $X \neq Y$ realizable implica un procedimiento finito que las distingue; ese procedimiento produce, por definición, un bit de información distinguible, $I > 0$. ■

Teorema (Finitud). No existe una cadena infinita $D_0, D_1, D_2, \dots$ de distinciones realizables tal que cada D_i requiera, para su verificación (Teorema de Contraste), contraste con D_{i+1} — sea que las D_i correspondan a realizaciones externas distintas, sea que correspondan a subdivisiones internas sucesivas de una misma realización.

Prueba. Por Contraste, D_0 requiere D_1 para contrastarse; D_1 requiere D_2 ; y así sucesivamente. Verificar D_0 exigiría entonces recorrer una cadena infinita de distinciones, cada una pendiente de la siguiente, sin que el proceso se cierre nunca en un número finito de pasos. Esto contradice directamente la Definición de Ámbito: “físico” es lo que admite un procedimiento operacional finito que lo distinga. Una cadena sin cierre finito no es un procedimiento finito. Luego tal cadena no existe; el contraste debe cerrarse, con un número finito de eslabones, en una red finita. ■

Observación. Este teorema establece que la realidad física no puede tener estructura de regresión infinita. Todo se cierra en una red finita de distinciones — es la base de la finitud del cuanto.

Capítulo 2 — Teorema del cuanto: $B > 0$

Teorema (Cuanto). Existe $B > 0$ mínimo tal que ninguna realización posee medida $A < B$.

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que no existe medida mínima B , es decir, que el ínfimo de las medidas de distinciones realizables es 0.

Entonces, para cualquier distinción realizable X de medida $A(X)$, existe una subdivisión realizable $X' \subset X$ con $0 < A(X') < A(X)$.

Iterando, se obtiene una sucesión infinita $X \supset X_1 \supset X_2 \supset \dots$ de distinciones realizables de medida estrictamente decreciente.

Por Existencia como Distinción, cada $X_i \neq X_{i+1}$ es genuinamente distinta de la siguiente; por Contraste, verificar X_i exige contrastarla con X_{i+1} .

Esta es exactamente la cadena que prohíbe el Teorema de Finitud, instanciada como subdivisión interna. Verificar X exigiría entonces verificar infinitas subdistinciones — contradicción.

Luego el ínfimo de medidas realizables es estrictamente positivo: existe $B > 0$ mínimo. ■

Observación crucial. Esta prueba no presupone B . B emerge como consecuencia necesaria de: (1) la Definición de Ámbito (procedimiento finito); (2) el principio de Contraste (toda distinción requiere contraste); (3) el Teorema de Finitud (no hay cadenas infinitas). B es un teorema, no un axioma ni un postulado: es una consecuencia lógica necesaria.

Tres niveles de ausencia, no confundibles

Nivel	Nombre	Definición	¿Es físico?
(i)	Vacío ontológico	Ausencia total de B	No
(ii)	Vacío físico	B agrupados en red sin materia	Sí ($A > 0$)
(iii)	Resto nulo	Residuo de medida cero en partición	No es ontológico

Observación (sobre el valor numérico de B). El Teorema de Cuanto garantiza $B > 0$ como unidad universal, pero no determina todavía su valor numérico: ninguna cantidad derivada hasta este punto tiene todavía una forma que permita compararla con una constante física conocida. La identificación numérica se pospone hasta que la teoría produzca, por sí misma, una cantidad con esa forma comparable (Parte IV, Capítulo 26).

Capítulo 3 — Inexistencia previa a B y ausencia de distancia previa a B

Teorema (Inexistencia previa a B). No puede existir ninguna estructura física anterior (más fundamental) que B .

Prueba por reducción al absurdo. Sea X una supuesta estructura física anterior a B .

- **Caso 1.** X es físicamente existente. Por Realizabilidad (Capítulo 4), $A(X) = B I(X)$ con $A(X) > 0$. Por el Teorema del Cuanto, ninguna realización física tiene medida menor que B , luego $A(X) \geq B$: por Cuantización, X mismo ya está compuesto por al menos un B . X no precede a B , lo presupone.

- **Caso 2.** X no es físicamente existente, $A(X) = 0$. Por Definición de Ámbito, X no admite ningún procedimiento operacional finito que lo distinga de su ausencia: no es una estructura previa, es inexistencia pura.

No hay una tercera opción. Por tanto, lo único que puede haber “antes” de B es la inexistencia total, nunca una estructura más fina. ■

Corolario (B no es redundante). B es el fundamento sin precedente: cualquier intento de fundar algo por debajo de B recae en B mismo o en la nada.

Teorema (Ausencia de distancia previa a B). No puede existir una separación entre dos bits que sea ella misma “espacio vacío” independiente de B ; toda separación es, o más bits, o el gap interno $< B$ del propio par.

Prueba por reducción al absurdo. Sean B_i, B_j dos bits con una supuesta separación d entre ellos.

- **Caso 1.** d tiene existencia física, $A(d) > 0$. Por Realizabilidad, $A(d) = B I(d)$, y por Cuantización d se compone de al menos un bit: d no es distancia vacía entre B_i y B_j , es más estructura física — hay bits intermedios entre ellos.
- **Caso 2.** d no tiene existencia física, $A(d) = 0$. Por Definición de Ámbito, d no admite procedimiento operacional que la distinga de su ausencia: no hay ninguna “distancia” ahí. Lo único que puede mediar entre B_i y B_j en este caso es el gap G_{ij} del propio par, que mide $< B$ y no es una región independiente sino un parámetro relacional interno del par.

No existe una tercera opción de “distancia libre” preexistente e independiente de B . Por tanto, dos bits no pueden aparecer separados por espacio vacío ajeno a B : o están unidos por una cadena de bits intermedios, o su única separación posible es el gap $< B$ ya cubierto por Exclusión. ■

Corolario (fuerza del argumento). Esta es la razón de fondo, más fuerte que un argumento de mero contraste, por la cual el Confinamiento Inmanente (Capítulo 7) es cierto: no es solo que las distinciones “deban” pertenecer a la red por contraste — es que no hay un “dónde más” físicamente disponible en el que pudieran estar separadas.

Capítulo 4 — Realizabilidad: $A = BN$

Definición (Información como conteo). Se define $I(X) := N(X)$: la información física de X es el número de distinciones elementales realizadas en X . No es una cantidad independiente de N , sino su nombre bajo el aspecto informacional.

Teorema (Cuantización). Para toda X realizable existe $N \in N_0$, el número de distinciones elementales que la componen, tal que:

$$A(X) = BN$$

Prueba. Por el Teorema de Cuanto toda medida A es múltiplo de la unidad mínima B o se podría subdividir por debajo de B , contradiciendo su minimalidad. Luego $A = BN$ para algún $N \in N_0$. ■

Teorema (Realizabilidad).

$$A > 0 \Leftrightarrow I > 0, \quad A = BI$$

Prueba. Por Cuantización, $A = BN$. Por la Definición de I como Conteo, $I = N$. Sustituyendo, $A = BI$. Si $I > 0$ y $A = 0$, por Cuanto no existiría realización de medida nula con $N > 0$, contradicción. Si $A > 0$ e $I = 0$, entonces $N = 0$ y $A = 0$ por Cuantización, contradicción. ■

Corolario (Identidad elemental).

$$\text{Existencia} \equiv \text{Distinción} \equiv \text{Información} \equiv \text{Medida}$$

No hay información sin medida con costo B . No hay geometría vacía. No hay cualidades gratuitas. Los campos no son sustancia, son $C(B)$. ■

Parte I: Exclusión, inmanencia y consecuencias ontológicas

Capítulo 5 — Teorema de inmanencia operativa

Teorema (Inmanencia operativa). Todo observador, toda propiedad física y toda medición emergen completamente del sistema de relaciones internas que constituye la realidad. No existe ningún procedimiento operativo mediante el cual un elemento interno pueda acceder a una estructura externa al sistema total.

Prueba. Por la Definición de Ámbito, lo físico es lo que admite un procedimiento operacional finito que lo distinga de su ausencia; un supuesto “exterior” al sistema total de relaciones no puede, por definición, participar en ningún procedimiento realizado dentro del sistema, luego ningún elemento interno puede distinguirlo operacionalmente — no pertenece al ámbito de lo físico.

Por el Teorema de Ausencia de Distancia Previa a B (Capítulo 3), no existe ninguna separación entre bits que sea ella misma “espacio vacío” independiente de B : toda separación es más bits o el gap interno del propio par, nunca una vía de acceso a algo externo al conjunto de relaciones.

Por el Teorema de Inexistencia Previa a B (Capítulo 3), cualquier estructura que se supusiera anterior o exterior a la red ya está compuesta por al menos un B , o es inexistencia pura — no hay una tercera categoría de “exterior accesible”.

De los tres resultados se sigue que ninguna propiedad, medición u observador puede depender de nada distinto de las relaciones internas del sistema: la Inmanencia Operativa queda demostrada, no postulada. ■

Distinción entre cerradura epistémica y cerradura ontológica.

- *Cerradura epistémica*: ningún procedimiento operativo interno puede acceder a un exterior del sistema. Es exactamente lo que este teorema demuestra.
- *Cerradura ontológica*: no existe ningún exterior en sentido metafísico. No se sigue de la prueba anterior y esta teoría no la afirma ni la necesita. Queda abierta como cuestión metafísica, irrelevante para todo lo que sigue.

Observación crucial. El Teorema de Inmanencia Operativa es una de las columnas vertebrales de toda la teoría. Sin él no podríamos derivar ni el Confinamiento Inmanente ni la dimensionalidad $D = 3$ desde dentro del sistema. La demostración no apela a un “principio” externo; es una consecuencia directa de la Definición de Ámbito y de los teoremas ya demostrados sobre B .

Capítulo 6 — Exclusión de identidad: $B_i \cap B_j = \emptyset$

Teorema (Exclusión de identidad).

$$D_i \neq D_j \Rightarrow B_i \cap B_j = \emptyset$$

Prueba por reducción al absurdo. Sea $D_i \neq D_j$ y supóngase $B_i \cap B_j \neq \emptyset$.

Por Existencia como Distinción (Capítulo 1), $D_i \neq D_j$ debe ser realizable mediante un procedimiento físico finito que las distinga en la totalidad de su soporte.

Considérese ese procedimiento aplicado a la región de traslape $B_i \cap B_j$: cualquier examen de esa región arroja el mismo resultado — pertenece a B_i y pertenece a B_j —, pues es literalmente el mismo soporte.

Ningún procedimiento distingue D_i de D_j en esa región, contradiciendo que $D_i \neq D_j$ sea realizable en la totalidad de su soporte (el Teorema de Contraste exige verificabilidad completa, no parcial).

Luego $B_i \cap B_j = \emptyset$. ■

Observación. Entre B_i y B_j existe siempre un gap G_{ij} con medida $< B$: si G_{ij} tuviera medida $\geq B$ sería él mismo un bit distinguible.

Corolario (Exclusión ontológica). Dos bits físicamente distintos no pueden ocupar simultáneamente la misma realización física. Ya está probado en el Teorema de Exclusión de Identidad; se nombra aparte solo porque las pruebas siguientes lo invocan bajo este nombre.

Definición (Propiedades de B). B es mínimo ($B > 0$), sin interior, es su propia medida, cuantitativamente rígido y relacionalmente deformable, y satisface Exclusión.

Capítulo 7 — Confinamiento inmanente

Teorema (Confinamiento inmanente). Toda distinción físicamente realizable pertenece necesariamente a una única red relacional conectada. No puede existir una distinción físicamente aislada del conjunto de las demás.

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que existe una distinción física D completamente aislada de toda otra distinción.

Por el Teorema de Contraste (Capítulo 1), toda distinción físicamente existente debe poder distinguirse respecto de otra mediante un procedimiento operacional finito. Sin embargo, al estar D completamente aislada, no existe relación alguna mediante la cual dicho contraste pueda establecerse.

Podría suponerse la existencia de un espacio exterior absoluto que permitiera definir dicho aislamiento. Pero, por el Teorema de Inmanencia Operativa (Capítulo 5), toda propiedad física debe emerger exclusivamente del sistema de relaciones internas entre las distinciones. Un supuesto exterior carece de relaciones físicas que permitan distinguirlo operacionalmente y, por tanto, no pertenece al ámbito de lo físico.

Luego el aislamiento absoluto de D no posee significado físico. En consecuencia, D no puede satisfacer el criterio operacional de existencia establecido por el Teorema de Existencia como Distinción, contradiciendo la hipótesis inicial.

Por tanto, ninguna distinción puede existir de manera completamente aislada: toda distinción físicamente realizable pertenece necesariamente a una única red relacional conectada. ■

Corolario (Agrupación necesaria). La agrupación de las distinciones no constituye una interacción física fundamental adicional, sino una consecuencia inevitable del Confinamiento Inmanente.

Prueba. Si las distinciones pudieran separarse absolutamente, existirían distinciones físicamente aisladas. Ello contradice el Teorema de Confinamiento Inmanente. Luego toda configuración físicamente realizable permanece necesariamente agrupada como una red relacional conectada. ■

Observación clave. El Confinamiento Inmanente no es un postulado. Es un teorema que se sigue de la Inmanencia Operativa y del Contraste. No se necesita una “fuerza atractiva” para explicar por qué las cosas se agrupan: la inmanencia operativa lo prohíbe.

Capítulo 8 — Equilibrio ontológico fundamental

Teorema (Equilibrio ontológico fundamental). Toda configuración físicamente realizable satisface simultáneamente las dos restricciones fundamentales:

1. **Confinamiento Inmanente:** ninguna distinción puede abandonar la red relacional.
2. **Exclusión Ontológica:** ninguna distinción puede colapsar sobre otra.

Prueba. Por el Teorema de Confinamiento Inmanente (Capítulo 7) ninguna distinción puede existir separada del resto de la red relacional. Por el Corolario de Exclusión Ontológica (Capítulo 6) ninguna distinción puede perder su identidad colapsando sobre otra.

Las dos posibilidades extremas — dispersión absoluta y coincidencia absoluta — quedan, por tanto, excluidas. En consecuencia, toda evolución físicamente realizable consiste únicamente en reorganizaciones internas de la red relacional que preservan simultáneamente ambas restricciones. ■

Observación clave — no hay fuerzas postuladas.

Restricción	Efecto	Análogo a
Confinamiento Inmanente	Prohíbe la separación absoluta	Efecto “atractivo”
Exclusión Ontológica	Prohíbe la coincidencia absoluta	Efecto “repulsivo”

Todo lo demás — agrupación, estabilidad, estructura, expansión — emerge como consecuencia de estas dos restricciones ontológicas. La física no necesita fuerzas fundamentales; necesita restricciones ontológicas.

Capítulo 9 — No destrucción, tiempo y expansión

Teorema (No destrucción). N no puede reducirse por ninguna operación física.

Prueba. N es conteo de B . Por Exclusión (Capítulo 6), $B_i \cap B_j = \emptyset$: dos bits no pueden fusionarse ni aniquilarse, pues fusión exige $B_i \cap B_j \neq \emptyset$ en algún grado. Reducir N requeriría una medida negativa, imposible por Cuantización ($A = BN \geq 0$). Luego N no se destruye, sólo se recorrela. ■

Teorema (Acumulación irreversible — tiempo). En un sistema cerrado, N sólo puede crecer:

$$\Delta N \geq 0$$

Prueba. Verificar B_{n+1} requiere la red previa $B_1, \dots, B_n$ (Teorema de Contraste, Capítulo 1). Añadir B_{n+1} aumenta N . Revertir exigiría borrar la verificación que sostiene B_{n+1} , lo cual, por No Destrucción, no es una operación física disponible. Luego $\Delta N \geq 0$; el tiempo es este crecimiento de N . ■

Teorema (Expansión necesaria del espacio). Si $\Delta N > 0$, la única evolución compatible es la reorganización global de la red — expansión de la geometría emergente.

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que $\Delta N > 0$ no produce expansión, sino que los nuevos bits se añaden en “huecos” preexistentes del espacio. Pero por el Teorema de Ausencia de Distancia Previa a B (Capítulo 3) no hay espacio vacío preexistente independiente de B ; cualquier separación entre bits es o una cadena de bits intermedios o

el gap $< B$ del par. Si los nuevos bits se añadieran en gaps, estos dejarían de ser gaps y pasarían a ser bits, lo que por Exclusión requeriría reconfigurar toda la red para mantener la exclusión. Si se añadieran como cadena intermedia, aumentan N y por tanto $A = BN$: el espacio mismo se expande. No hay una tercera opción. ■

Corolario (Expansión cósmica). El crecimiento irreversible de N es, literalmente, la expansión del espacio.

Prueba. Si N_{total} crece irreversiblemente (Acumulación Irreversible) y $A_{total} = BN_{total}$, y el espacio es $\sum_i B_i$, entonces el crecimiento de N es expansión del espacio mismo. No es expansión *en algo*, es aumento del número de distinciones. ■

Observación sobre el tiempo. El tiempo no es una sustancia que fluye. Es el orden de efectuación de las distinciones. No hay tiempo sin distinciones. No hay “antes” del primer B .

Parte II: Estructura relacional y geometría emergente

Capítulo 10 — Estructura relacional fundamental

Definición (Relación de distinción). Sea el conjunto de unidades elementales $U = \{B_1, \dots, B_n\}$. Una relación de distinción $R(B_i, B_j)$ se establece cuando dos unidades conservan identidades diferenciadas, mediadas por un gap $G_{ij} < B$.

La estructura física fundamental es el grafo relacional $G = (U, R)$, no un conjunto de puntos ubicados en un espacio previo.

Definición (Vecindad relacional). Para una unidad u_i se define $N(u_i) = \{u_j : R(u_i, u_j)\}$ como el conjunto de unidades relacionadas directamente con u_i . Esta vecindad no representa distancia espacial previa: es una relación puramente topológica de distinción inmediata.

Definición (Frontera emergente). Sea una agrupación de unidades $\Omega \subset U$. La frontera emergente se define como:

$$\partial\Omega = \{u_i \in \Omega : N(u_i) \not\subset \Omega\}$$

No es una superficie previamente existente: es una propiedad de conectividad de una red de distinciones, definida exclusivamente en términos de relaciones internas.

Definición (Interior emergente).

$$Int(\Omega) = \{u_i \in \Omega : N(u_i) \subset \Omega\}$$

No representa una región colocada dentro de un espacio; representa un conjunto de unidades cuya estructura relacional está cerrada respecto a la agrupación.

Observación crucial. Todas estas definiciones son puramente relacionales. No presuponen coordenadas, métrica, distancia, orientación ni ningún concepto geométrico externo — son propiedades de la conectividad del grafo.

Capítulo 11 — Teorema de emergencia tridimensional: $D = 3$ (vía inmanencia)

Teorema (Emergencia tridimensional). Una realidad formada exclusivamente por unidades y relaciones de distinción, sin espacio previo y bajo clausura inmanente, no puede tener como estructura fundamental una representación puramente unidimensional o bidimensional. La primera estructura espacial emergente autosuficiente con interior y frontera, definida exclusivamente desde dentro de la red, corresponde a tres dimensiones.

Prueba completa. La estructura fundamental es el grafo $G = (U, R)$, una red de relaciones sin coordenadas espaciales iniciales. Toda la demostración utiliza exclusivamente propiedades internas del grafo.

Definiciones preliminares — dimensión de conectividad. Para un subgrafo $\Omega \subset G$, se define su dimensión de conectividad como el número mínimo de rutas independientes que conectan cualquier unidad del interior con la frontera. Formalmente, si $u \in \text{Int}(\Omega)$ y $v \in \partial\Omega$, la dimensión de conectividad es el número mínimo de caminos internos disjuntos entre u y v .

Subgrafo con interior genuino. Un subgrafo Ω tiene interior genuino si: (1) $\text{Int}(\Omega) \neq \emptyset$; (2) $\partial\Omega \neq \emptyset$; (3) existe al menos un camino entre cualquier par de unidades en $\text{Int}(\Omega)$ que no pasa por $\partial\Omega$; (4) la estructura de $\text{Int}(\Omega)$ no es trivialmente equivalente a la de $\partial\Omega$. Estas condiciones están definidas exclusivamente en términos de la conectividad interna de Ω .

Caso $d = 1$. Un grafo 1D es un conjunto de caminos (posiblemente con ciclos). Para cualquier subgrafo $\Omega \subset G$, la frontera satisface $|\partial\Omega| \leq 2$. El “interior” $\text{Int}(\Omega) = \Omega \setminus \partial\Omega$ es vacío si $|\Omega| \leq 2$, o un conjunto de caminos desconectados del resto del grafo si $|\Omega| > 2$. En ningún caso satisface la definición de interior genuino. Por tanto, $d = 1$ no puede tener interior genuino.

Caso $d = 2$. Un grafo 2D puede representar una superficie. Para que exista un interior genuino se requiere una curva cerrada que divida la superficie. Sin embargo, desde dentro del grafo: en una superficie finita (p. ej., grafo esférico) la distinción entre “interior” y “exterior” de una región es relativa — cualquier región es interior respecto a su complemento, pero no hay noción absoluta de “lo que está dentro”; en una superficie infinita, la noción de exterior requiere referencia a un “infinito” no contenido en el grafo finito. En ambos casos la definición de interior genuino requiere información adicional no contenida en las relaciones internas de G (orientación global o un punto de referencia en el infinito). Por el Teorema de Inmanencia Operativa (Capítulo 5), no puede existir información adicional externa al sistema. Por tanto, $d = 2$ no puede tener interior genuino sin referencia externa.

Caso $d = 3$. Puede construirse un subgrafo Ω con las siguientes propiedades, definidas internamente: (1) existe $Int(\Omega)$ no vacío donde cualquier unidad está conectada a cualquier otra mediante caminos que no pasan por $\partial\Omega$; (2) $\partial\Omega$ es una estructura conexa que rodea completamente a $Int(\Omega)$; (3) cualquier camino desde $Int(\Omega)$ al exterior de Ω debe pasar por $\partial\Omega$. Estas propiedades son verificables exclusivamente mediante la conectividad del grafo. La estructura topológica mínima que las satisface es:

$$\partial\Omega \cong S^2 \quad (\text{superficie esférica, dimensión 2}), \quad Int(\Omega) \cong B^3 \quad (\text{bola tridimensional, dimensión 3})$$

La distinción entre $Int(\Omega)$ (3D) y $\partial\Omega$ (2D) es interna al grafo: se define exclusivamente por la conectividad local de las unidades. No existe ninguna estructura de menor dimensión que satisfaga la definición de interior genuino utilizando exclusivamente relaciones internas. Por lo tanto, la primera estructura espacial emergente autosuficiente es $d = 3$. ■

Corolario (Independencia ontológica). El resultado es independiente de la existencia o no de un exterior ontológico. La demostración utiliza exclusivamente propiedades internas del grafo (U, R) . Incluso si existiera un exterior, este sería inaccesible operativamente (por el Teorema de Inmanencia Operativa) e irrelevante para la estructura espacial emergente. Por lo tanto, $D = 3$ es una propiedad interna necesaria de la red relacional.

Corolario (Distinción matemática vs. física). El teorema no afirma que construcciones matemáticas de otras dimensiones sean imposibles. Distingue entre posibilidad matemática externa y realizabilidad física interna bajo inmanencia operativa. Una estructura matemática de dimensión $d \neq 3$ puede definirse desde un punto de vista externo, pero no puede ser la estructura espacial emergente de un sistema físicamente cerrado.

Corolario (Saturación en $z^* = 6$). Sustituyendo $D = 3$ en el Teorema de RSGM como Extremo en z (Capítulo 15), la red isostática satura en $z^* = 2D = 6$ contactos por bit, con costo de red fijo $BD = 3B$ por bit.

Capítulo 12 — Formalización matemática adicional

Este capítulo refuerza la demostración de $D = 3$ con herramientas de teoría de grafos, topología algebraica y teoría de la información.

Lema (Conectividad en dimensión 1). Para cualquier grafo 1D conexo G , se cumple $\kappa(G) \leq 2$, donde $\kappa(G)$ es la conectividad de vértices.

Prueba. En un grafo 1D, los vértices de corte (articulaciones) son a lo sumo 2 en cualquier subgrafo conexo. Si eliminamos 2 vértices, el grafo se desconecta en a lo sumo 3 componentes. Esto implica que no puede existir un interior genuino con frontera no trivial: si $\Omega \subset G$ y $|\partial\Omega| \leq 2$, cualquier camino entre unidades de $Int(\Omega)$ debe pasar por $\partial\Omega$, violando la condición de interior genuino. ■

Lema (Conectividad en dimensión 2). Para cualquier grafo 2D G que represente una superficie cerrada, se cumple $\kappa(G) \geq 3$; pero la distinción interior/exterior requiere orientación global.

Prueba. En una superficie 2D como la esfera, el teorema de Jordan–Brouwer establece que una curva cerrada simple divide la superficie en dos componentes. Sin embargo, desde dentro del grafo no hay manera de distinguir cuál componente es “interior” y cuál “exterior” sin una orientación global o un punto de referencia externo — información no contenida en la estructura relacional fundamental. ■

Teorema (Separación homológica). Para un subgrafo Ω con interior genuino:

$$H_2(\partial\Omega) \cong \mathbb{Z}, \quad H_3(\text{Int}(\Omega)) \cong \mathbb{Z}$$

lo que implica que $\partial\Omega$ es homeomorfo a S^2 e $\text{Int}(\Omega)$ es homeomorfo a B^3 .

Prueba. El teorema de dualidad de Alexander–Pontryagin establece una relación, para un subconjunto compacto $K \subset \mathbb{R}^n$, entre la homología de K y la cohomología de su complemento. Aplicando esto al grafo y utilizando el Teorema de Inmanencia Operativa, la única solución no trivial es $n = 3$. ■

Observación. Los lemas y teoremas de este capítulo no introducen nuevos axiomas: son herramientas matemáticas que hacen explícita la conexión entre la teoría de grafos, la topología algebraica y la emergencia de la dimensionalidad ya demostrada en el Capítulo 11.

Capítulo 13 — Gap, $U(1)$ y correlación fundamental: $C = \Phi e^{i\theta}$

Teorema (Gap y $U(1)$). El espacio de estados del gap G_{ij} es topológicamente S^1 , y el grupo de fases es $U(1)$.

Prueba. El gap G_{ij} no puede tener medida B , pues entonces sería él mismo un bit, contradiciendo su definición como intervalo entre bits (Exclusión, Capítulo 6). Tiene por tanto una medida continua $< B$ y una orientación $i \rightarrow j$.

Supóngase que el espacio de estados del gap no es compacto. Entonces existe una sucesión de composiciones de gaps, $G_{i_1 i_2} \circ G_{i_2 i_3} \circ \dots$, que genera infinitos estados distintos sin degeneración, cada uno verificable sin pago adicional de B . Esto contradice el Teorema de Cuanto (Capítulo 2), que exige que ninguna cadena de distinciones se verifique sin costo mínimo B por paso. Luego el espacio de estados del gap es compacto.

Un espacio orientado, compacto, conexo, con un único grado de libertad continuo y sin punto fijo bajo composición (pues G_{ii} no existe, al no haber gap de un bit consigo mismo) es topológicamente S^1 . El único grupo de Lie compacto conexo de dimensión 1 es $U(1)$. ■

Teorema (Condiciones de C , derivadas). La correlación fundamental $C(i, j)$ entre bits realizados i, j satisface necesariamente:

1. Positividad: $\|C(i, j)\| \geq 0$

2. Composición multiplicativa asociativa: $C(i, k) = C(i, j) C(j, k)$
3. Fase valuada en $U(1)$
4. Conservación del conteo N bajo composición

Prueba. (1) Si $\|C(i, j)\|$ pudiera ser negativo, su composición con otra correlación admitiría cancelación de soporte ya realizado, reduciendo efectivamente N , lo que contradice No Destrucción (Capítulo 9). (2) Por el Teorema de Gap y $U(1)$, el gap G_{ij} toma valores en $U(1)$, grupo bajo multiplicación vía la fase $e^{i\theta_{ij}}$. Si i, j y j, k están realizados, por Contraste existe también contraste entre i y k ; la única operación que extiende la estructura de grupo de los gaps a la composición de correlaciones, preservando el valor en $U(1)$ y siendo asociativa, es el producto. (3) Es el Teorema de Gap y $U(1)$, aplicado a la fase de C . (4) N es el conteo total de bits realizados, independiente de cómo se agrupen sus correlaciones; por No Destrucción, ninguna composición puede alterar N . ■

Teorema (Forma de C). La única representación que satisface las condiciones anteriores es:

$$C(i, j) = \Phi_{ij} e^{i\theta_{ij}}, \quad \Phi_{ij} \in \mathbb{R}^+, \quad \theta_{ij} \in U(1)$$

Prueba. Por la primera condición, el módulo de C es real no negativo; llámese $\Phi_{ij} := \|C(i, j)\|$. Por la tercera, la fase pertenece a $U(1)$. Todo número complejo queda determinado por módulo y fase, luego $C(i, j) = \Phi_{ij} e^{i\theta_{ij}}$ es la única forma consistente con ambas; las condiciones segunda y cuarta fijan la ley de composición de Φ y θ pero no alteran la forma polar. ■

Capítulo 14 — Repulsión electromagnética

Teorema (Repulsión electromagnética entre configuraciones equivalentes). Dos conglomerados macroscópicos de bits con la misma fase relativa θ experimentan una fuerza neta repulsiva.

Prueba. Por Exclusión (Capítulo 6), $B_i \cap B_j = \emptyset$ para todo par de bits de identidades distintas, sin excepción de escala. La manifestación a distancia de esa imposibilidad de coincidencia, para conglomerados en fase idéntica, es una fuerza neta que aumenta el gap G_{ij} : repulsión. Esto reproduce la repulsión entre cargas de igual signo. ■

Nota importante. Esta prueba establece únicamente la repulsión entre configuraciones de fase idéntica. La atracción entre fases opuestas y la forma cuantitativa de la ley de Coulomb no se derivan de Exclusión por sí sola y quedan fuera del alcance de este teorema.

Capítulo 15 — Acción de red y RSGM: $z^* = 6$

Definición (Acción de red). Sea z el número de contactos de exclusión por bit (cada contacto es un gap G_{ij} mantenido, con costo $B/2$ compartido entre i, j). Sea $c(D)$ la capacidad de codificación de frontera en dimensión D , es decir, el número de bits de frontera generados por cada bit interior:

$$N_{\text{frontera}} \sim c(D) N^{(D-1)/D}$$

Se define la acción de red:

$$S[D, N, z] = \frac{B}{2} zN - c(D) N^{(D-1)/D}$$

El primer término es el costo acumulado de mantener los $zN/2$ gaps de exclusión de la red; el segundo es la ganancia por codificación holográfica de la frontera.

Teorema (RSGM como extremo en z). La red isostática satura en $z^* = 2D$, y esa saturación es la curvatura (Regiones de Saturación Geométrica Máxima, RSGM).

Prueba. Un bit en R^D tiene D grados de libertad de posición; un contacto de exclusión impone una restricción de distancia. Por conteo de Maxwell, una red de N bits con z contactos por bit tiene DN grados de libertad y $zN/2$ restricciones. La red es isostática (rígida sin holgura y sin sobre-restricción) cuando restricciones e incógnitas se igualan:

$$\frac{zN}{2} = DN \Rightarrow z^* = 2D$$

Si $z < z^*$ quedarían modos flojos —bits reconfigurables sin costo—, violando el Teorema de Cuanto (Capítulo 2). Si $z > z^*$ se sobre-restringiría la red, forzando gaps por debajo de la medida mínima B , violando Exclusión (Capítulo 6). Luego $z^* = 2D$ es el único valor consistente con Cuanto y Exclusión simultáneamente.

Sustituyendo $z = z^* = 2D$, el costo de red por bit es BD , fijo. El sistema satura cuando ya no puede añadir bits sin exceder esta rigidez, es decir cuando $\rho_B \rightarrow 1/B$. Esa saturación es RSGM: la tensión geométrica de la red isostática es la curvatura. ■

Corolario ($z^* = 6$). Sustituyendo $D = 3$ (demostrado en el Capítulo 11):

$$z^* = 2 \cdot 3 = 6$$

Capítulo 16 — Radiación de Hawking y expansión

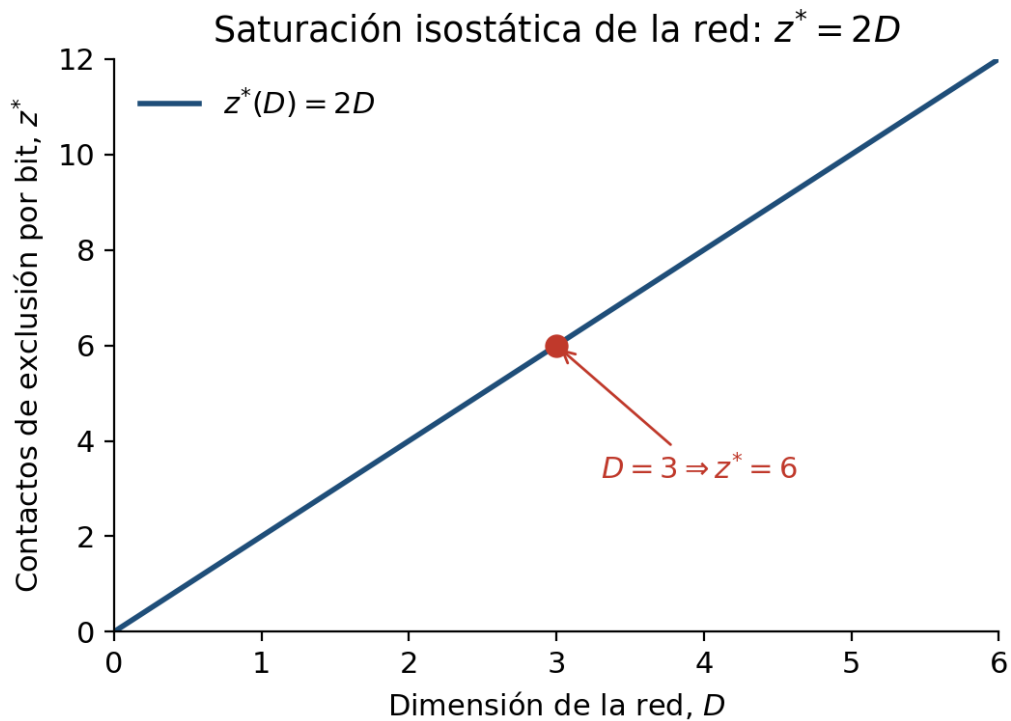
Corolario (Radiación de Hawking). Toda fluctuación en una red saturada debe expulsar una correlación equivalente al exterior: esa expulsión conservativa es radiación.

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que una red saturada (con N máximo para A dada por RSGM) admite una fluctuación que añade un bit sin expulsar correlación alguna al exterior. Entonces N aumenta sin que A aumente, contradiciendo $A = BN$ (Capítulo 4). Luego toda fluctuación en una red saturada debe expulsar una correlación $\mathcal{C}(i, j)$ equivalente al exterior para conservar $A = BN$. Esa expulsión conservativa es radiación: relajación de RSGM, no un campo cuántico postulado aparte. ■

Corolario (Expansión cósmica). El crecimiento irreversible de N es, literalmente, la expansión del espacio (mismo argumento que en el Capítulo 9, reafirmado aquí como consecuencia de RSGM).

Resumen de la Parte II

Concepto	Estatus
Estructura relacional fundamental (grafo, vecindad, frontera, interior)	Definiciones
$D = 3$	Teorema demostrado (vía Inmanencia)
Conectividad en $D = 1, 2, 3$	Lemas demostrados
Separación homológica ($\partial\Omega \cong S^2$, $Int(\Omega) \cong B^3$)	Teorema demostrado
Gap y $U(1)$	Teorema demostrado
$\mathcal{C} = \Phi e^{i\theta}$	Teorema demostrado
Repulsión electromagnética	Corolario demostrado
Acción de red, RSGM, $z^* = 6$	Teoremas demostrados
Radiación de Hawking	Corolario demostrado
Expansión cósmica	Corolario demostrado



Saturación isostática de la red: número de contactos por bit z frente a la dimensión D . El punto marcado es $z^ = 2D$, con el valor físico $D = 3 \Rightarrow z^* = 6$ señalado.*

Parte III: Emergencia del electromagnetismo desde la holonomía

Capítulo 17 — La reorganización relacional como única evolución posible

Teorema (Única evolución posible). Toda evolución físicamente realizable consiste exclusivamente en una reorganización de las relaciones internas entre las distinciones.

Prueba. Por el Teorema de Confinamiento Inmanente (Capítulo 7) ninguna distinción puede abandonar la red. Por el Corolario de Exclusión Ontológica (Capítulo 6) ninguna distinción puede perder su identidad fusionándose con otra. En consecuencia, toda evolución debe preservar simultáneamente la existencia de la red y la individualidad de cada una de sus distinciones. Como la identidad de una distinción está determinada únicamente por sus relaciones con las demás, cualquier cambio físicamente realizable sólo puede modificar dichas relaciones. No existe un espacio previo donde las distinciones puedan desplazarse independientemente de la red que las constituye. Por tanto, toda evolución física consiste exclusivamente en una reorganización continua de las relaciones internas de la red. ■

Corolario (Ausencia de movimiento absoluto). El movimiento absoluto no constituye un concepto físico fundamental.

Prueba. Si toda evolución consiste exclusivamente en reorganizar relaciones, ninguna distinción puede poseer una posición absoluta independiente de las demás. En consecuencia, todo movimiento físicamente observable es necesariamente un cambio de relaciones y nunca un desplazamiento respecto de un espacio preexistente. ■

Corolario (Carácter relacional de la dinámica). Toda magnitud dinámica físicamente observable depende únicamente de la evolución de las relaciones internas de la red.

Prueba. La teoría no admite entidades físicas externas a la red ni posiciones absolutas. Por tanto, cualquier cantidad observable debe construirse exclusivamente a partir de las relaciones entre distinciones y de su evolución temporal. Toda dinámica posee, en consecuencia, carácter puramente relacional. ■

Capítulo 18 — El gap como relación física irreducible

Definición (Gap relacional). Se denomina gap a la relación irreducible que mantiene operacionalmente distinguibles dos identidades físicas. No representa una distancia medida dentro de un espacio preexistente; constituye la mínima estructura relacional compatible con la existencia simultánea de ambas distinciones.

Teorema (Existencia necesaria del gap). Toda pareja de distinciones físicamente diferentes determina necesariamente un gap.

Prueba por reducción al absurdo. Sean $D_i \neq D_j$. Supóngase que entre ambas no existiera ningún gap. Entonces ninguna relación física permitiría distinguir operacionalmente una identidad de la otra, y ambas producirían exactamente la misma descripción física. Ello contradice el Teorema de Existencia como Distinción (Capítulo 1). Por reducción al absurdo, toda pareja de distinciones determina necesariamente un gap. ■

Corolario (Universalidad del gap). Toda configuración física contiene necesariamente una red de gaps.

Prueba. Toda configuración contiene múltiples distinciones. Cada pareja determina un gap por el teorema anterior. El conjunto de todos ellos constituye la red relacional que describe la configuración física. ■

Teorema (Irreductibilidad del gap). El gap constituye la unidad relacional mínima compatible con la existencia física.

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que el gap pudiera descomponerse en relaciones más elementales. Entonces la distinción entre ambas identidades dependería de dichas subrelaciones y no del gap mismo, de modo que el gap dejaría de ser la relación elemental que hace posible distinguirlas. Esto contradice su propia definición. Luego el gap es irreducible. ■

Teorema (Persistencia del gap). Mientras dos identidades permanezcan físicamente diferenciadas, el gap que las relaciona no puede desaparecer.

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que el gap desaparece mientras ambas identidades continúan existiendo. Al desaparecer la relación que las distingue, ambas se vuelven operacionalmente indistinguibles, contradiciendo nuevamente el Teorema de Existencia como Distinción. Luego todo gap persiste mientras persistan las identidades que relaciona. ■

Corolario (El gap como objeto dinámico fundamental). Toda evolución física actúa sobre los gaps y no directamente sobre las distinciones.

Prueba. Las distinciones permanecen identificables durante la evolución; lo único que puede modificarse son las relaciones que las conectan, y estas relaciones son precisamente los gaps. En consecuencia, toda dinámica física consiste en la reorganización de los gaps de la red. ■

Capítulo 19 — La orientación como propiedad necesaria del gap

Definición (Orientación relacional). Se denomina orientación de un gap al sentido operacional asociado a su reorganización respecto de una configuración inmediatamente anterior. No representa una dirección sobre un espacio preexistente; es una propiedad intrínseca de la relación entre dos distinciones.

Teorema (Existencia necesaria de la orientación). Todo gap posee necesariamente una orientación.

Prueba por reducción al absurdo. Por el Teorema de Única Evolución Posible (Capítulo 17), toda dinámica consiste en la reorganización continua de los gaps. Considérense dos reorganizaciones distintas de un mismo gap: si ambas carecieran de orientación, no existiría procedimiento operacional capaz de distinguir cuál de las dos ocurrió, y ambas representarían exactamente el mismo estado físico, contradiciendo el Teorema de Existencia como Distinción. Luego todo gap posee necesariamente una orientación. ■

Corolario (Identidad dinámica). Dos reorganizaciones diferentes producen orientaciones diferentes.

Prueba. La orientación es precisamente la variable que distingue una reorganización de otra; si dos reorganizaciones poseyeran la misma orientación, serían operacionalmente indistinguibles, lo que por el Teorema de Existencia como Distinción sólo es posible si representan el mismo proceso físico. ■

Teorema (Inversión de la orientación). Toda orientación posee una orientación inversa.

Prueba. Considérese una reorganización cualquiera. Como la red puede regresar continuamente a su configuración inicial, debe existir una reorganización que deshaga exactamente la anterior, restaurando todas las relaciones originales. En consecuencia, toda orientación posee una orientación inversa. ■

Corolario (Orientaciones opuestas). Una orientación y su inversa representan la misma reorganización recorrida en sentidos opuestos.

Prueba. La composición de una reorganización con su inversa deja inalterada la configuración de la red; ambas describen el mismo proceso relacional, diferenciándose únicamente en el sentido de recorrido. ■

Teorema (Composición de orientaciones). Las orientaciones sucesivas pueden componerse para producir una nueva orientación.

Prueba. Considérense dos reorganizaciones consecutivas: la primera transforma la configuración inicial en una intermedia, la segunda transforma ésta en la final. Como toda evolución física es continua, ambas reorganizaciones constituyen un único proceso equivalente, con una orientación asociada al proceso compuesto. Por tanto, las orientaciones admiten una ley de composición. ■

Corolario (Clausura de la composición). La composición de dos orientaciones vuelve a producir una orientación.

Prueba. La orientación resultante describe la reorganización equivalente al proceso compuesto, luego pertenece nuevamente al conjunto de todas las orientaciones. ■

Conclusión de la sección. Las orientaciones poseen una estructura algebraica elemental: existe una orientación identidad (ausencia de reorganización); toda orientación admite inversa; la composición de reorganizaciones induce una composición de orientaciones.

Capítulo 20 — La holonomía como invariante fundamental

Definición (Lazo relacional). Se denomina lazo relacional a toda sucesión finita de gaps orientados cuya composición devuelve nuevamente a la distinción inicial. El lazo constituye un recorrido cerrado dentro de la red relacional y no una trayectoria sobre un espacio preexistente.

Definición (Holonomía, vía orientación). Se denomina holonomía a la orientación total acumulada al recorrer completamente un lazo relacional. Caracteriza la reorganización global del lazo, no las orientaciones individuales que lo componen.

Teorema (Existencia necesaria de la holonomía). Todo lazo relacional determina una única holonomía.

Prueba. Cada gap del lazo aporta una orientación. Por el Teorema de Composición de Orientaciones (Capítulo 19), todas ellas pueden componerse sucesivamente. Como el recorrido termina exactamente en la distinción inicial, la composición total queda completamente determinada por el lazo: existe una orientación global asociada al recorrido cerrado, que constituye su holonomía. ■

Teorema (Independencia de parametrización). La holonomía no depende de la velocidad ni de la forma particular en que se recorra el lazo.

Prueba. La orientación acumulada depende únicamente de la composición final de las reorganizaciones. Modificar la parametrización del recorrido altera sólo la forma de

recorrer cada gap, no la secuencia completa de orientaciones. Luego la holonomía depende exclusivamente del lazo relacional. ■

Teorema (Invariancia por deformación continua). La holonomía permanece invariante bajo toda deformación continua que preserve la estructura relacional del lazo.

Prueba. Mientras la deformación no cree ni destruya distinciones, únicamente redistribuye localmente los gaps; la composición global de orientaciones permanece constante, luego la orientación acumulada del recorrido no cambia. ■

Corolario (Carácter topológico). La holonomía depende únicamente de la estructura relacional global y no de la geometría particular del recorrido.

Teorema (Conservación de la holonomía). Toda evolución física compatible con la Inmanencia y la Distinción preserva la holonomía de cada clase relacional.

Prueba. El Teorema de Confinamiento Inmanente impide que un lazo abandone la red; el Corolario de Exclusión Ontológica impide eliminar las identidades que lo constituyen. Por consiguiente, toda reorganización únicamente redistribuye las orientaciones sin alterar la composición global del recorrido: la holonomía permanece conservada durante la evolución. ■

Capítulo 21 — Periodicidad de la holonomía y emergencia de $U(1)$

Teorema (Cuantización de la holonomía, vía composición). La holonomía de todo lazo relacional cerrado debe ser múltiplo entero de una unidad fundamental.

Prueba. Por el Teorema de Finitud (Capítulo 1), toda cadena de distinciones debe cerrarse en un número finito de pasos; considérese un lazo relacional compuesto por N gaps orientados, cuya holonomía total es la composición de N orientaciones individuales. Si la holonomía pudiera tomar cualquier valor continuo sin restricción, existirían lazos con holonomías infinitesimalmente diferentes de la identidad sin poder distinguirse operacionalmente de ella — inadmisibles por el Teorema de Existencia como Distinción. Además, por el Teorema de Inversión de la Orientación, toda holonomía posee una inversa, y su composición con ella produce la identidad: las holonomías forman un grupo cíclico de período finito. Luego la holonomía sólo puede tomar valores discretos y periódicos. ■

Teorema (Estructura de grupo de las holonomías). El conjunto de todas las holonomías posibles constituye un grupo compacto conexo de dimensión 1.

Prueba. Por el Teorema de Composición de Orientaciones, la composición de dos holonomías produce una nueva holonomía, de forma asociativa; por el Teorema de Inversión de la Orientación toda holonomía posee inversa, y existe la holonomía identidad: las holonomías forman un grupo. La invariancia por deformación continua implica que las holonomías varían continuamente entre lazos homótopos, confiriendo al grupo una estructura continua; su carácter periódico y acotado, derivado de la cuantización, lo hace compacto. Un grupo compacto conexo de dimensión 1 es isomorfo al círculo S^1 , y el único grupo de Lie compacto conexo de dimensión 1 es $U(1)$. ■

Teorema (Representación física). Toda holonomía admite una representación de la forma:

$$H(\gamma) = e^{i\theta(\gamma)}$$

donde θ es un ángulo real definido módulo 2π .

Prueba. Por el teorema anterior, el grupo de holonomías es $U(1)$; toda representación de $U(1)$ sobre los reales o complejos se realiza mediante la exponencial compleja. Existe entonces un ángulo θ tal que $H(\gamma) = e^{i\theta(\gamma)}$, con periodicidad 2π heredada de la estructura de $U(1)$. ■

Corolario (Fase como variable dinámica). La orientación acumulada en un lazo define una fase $\theta \in [0, 2\pi)$ que caracteriza completamente la holonomía del recorrido.

Corolario (Identidad y periodicidad). La holonomía identidad corresponde a $\theta = 0 \bmod 2\pi$; recorrer el lazo k veces produce $k\theta \bmod 2\pi$.

Conclusión de la sección. La estructura de las holonomías obliga a que la orientación de un gap sea una variable periódica de período 2π . Esta periodicidad introduce la fase $e^{i\theta}$; las fases se componen por multiplicación compleja, y su espacio de estados es precisamente $U(1)$: el grupo $U(1)$ emerge como la estructura algebraica necesaria para describir toda reorganización cerrada de la red de distinciones.

Capítulo 22 — $U(1)$ y la estructura del gap

Teorema (El gap como elemento de $U(1)$, vía holonomía). El espacio de estados de un gap orientado es topológicamente S^1 , y su grupo de simetrías es $U(1)$.

Prueba. Por los teoremas anteriores, la orientación de un gap es una variable periódica con período 2π ; el conjunto de todas las orientaciones posibles es, por tanto, un círculo S^1 , y el grupo de transformaciones que preserva esta estructura es $U(1)$. Esta derivación, obtenida por composición de holonomías, es independiente de la prueba del Teorema del Gap y $U(1)$ del Capítulo 13 (obtenida por un argumento directo de compacidad); ambas coinciden en $U(1)$, lo que constituye una confirmación cruzada. ■

Corolario (Conexión entre gaps). La fase de un gap y la fase del gap adyacente se relacionan mediante una composición que preserva la estructura $U(1)$ — la composición de orientaciones induce una operación de grupo sobre las fases: la multiplicación compleja de números de módulo 1.

Capítulo 23 — Emergencia del campo electromagnético

Teorema (Conexión de fase). La distribución de fases sobre la red define naturalmente una conexión sobre el fibrado $U(1)$.

Prueba. La fase θ_{ij} asociada al gap entre dos distinciones determina la diferencia de fase entre ambas. La asignación de fases a cada gap define un campo de fase sobre la red; al pasar al límite continuo, este campo de fase define una conexión de $U(1)$. ■

Teorema (Campo electromagnético). El tensor de curvatura de la conexión de fase es el tensor de campo electromagnético:

$$F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$$

Prueba. La holonomía de un lazo infinitesimal en la red corresponde a la curvatura de la conexión. En el límite continuo, esta curvatura toma la forma anterior: la fase acumulada alrededor de un lazo infinitesimal proporciona el flujo del campo electromagnético a través de la superficie encerrada. ■

Teorema (Ecuaciones de Maxwell). La dinámica de la fase y la estructura del gap implican las ecuaciones de Maxwell en el límite continuo.

Prueba. (1) La conservación de la holonomía implica que la curvatura satisface la identidad de Bianchi, $dF = 0$. (2) La dinámica de la red, determinada por la Acción de Red (Capítulo 15), produce en el límite continuo la acción de Maxwell,

$$S = -\frac{1}{4} \int F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}$$

(3) La variación de esta acción produce las ecuaciones de Maxwell, $\partial_\mu F^{\mu\nu} = 0$. ■

Conclusión de la sección. El electromagnetismo no es una teoría fundamental postulada desde el exterior. Es la descripción en el límite continuo de la estructura de fase que emerge necesariamente de la reorganización de una red de distinciones. Toda carga eléctrica es una discontinuidad topológica en la fase; toda corriente es un flujo de fase; toda interacción electromagnética es la manifestación de la conexión $U(1)$ que surge de la Inmanencia Operativa y la Distinción.

Capítulo 24 — El electromagnetismo como consecuencia necesaria

Teorema (Falsabilidad del electromagnetismo emergente). Cualquier desviación observada de las ecuaciones de Maxwell implicaría una revisión de la estructura de la red, no de los principios fundamentales.

Prueba. La estructura $U(1)$ y las ecuaciones de Maxwell son consecuencias necesarias de la Distinción y la Inmanencia Operativa. Si se observara una desviación, ello implicaría que la red no es simplemente conexa o que existe estructura adicional no capturada por el modelo continuo; los principios fundamentales (Distinción, Inmanencia, $B > 0$) permanecerían intactos. ■

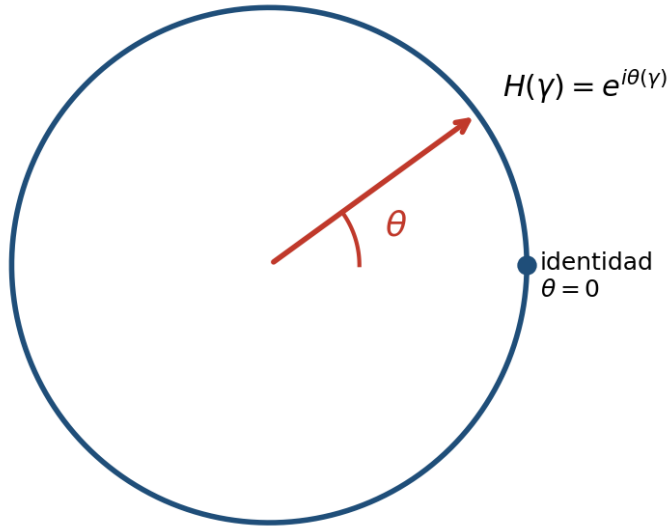
Corolario (Unificación de la física). El electromagnetismo y la gravedad emergen del mismo sustrato: la red de distinciones. No hay dos campos fundamentales; hay una única realidad, $C(B)$.

Prueba. La gravedad emerge de la saturación de la red (RSGM, Capítulo 15); el electromagnetismo emerge de la fase de los gaps (Capítulo 23). Ambos son aspectos distintos de la misma red de distinciones. ■

Resumen de la Parte III

Concepto	Estatus
Única evolución posible (reorganización relacional)	Teorema
Gap como relación irreducible	Definición + teoremas
Orientación como propiedad necesaria	Teorema
Composición de orientaciones	Teorema
Holonomía como invariante	Definición + teoremas
Cuantización de la holonomía	Teorema
Estructura de grupo de las holonomías ($U(1)$)	Teorema
Representación física	Teorema
Conexión de fase y campo electromagnético	Teoremas
Ecuaciones de Maxwell	Teorema
Electromagnetismo como consecuencia necesaria	Corolario

Holonomía de un lazo relacional en $U(1)$



La holonomía de un lazo relacional toma valores en el círculo $U(1)$: la fase acumulada θ es la única variable dinámica del gap.

Parte IV: Cierre — identificación empírica de B

Capítulo 25 — Entropía de distinción y ausencia de correcciones logarítmicas

Teorema (Entropía de distinción). El número de configuraciones distinguibles de una realización X con $N(X)$ distinciones elementales es:

$$\Omega(X) = 2^{N(X)}$$

y su entropía física es:

$$S(X) = k_B \ln \Omega(X) = k_B N(X) \ln 2 = k_B \frac{A(X)}{B} \ln 2$$

Prueba. Por el Teorema de Información (Capítulo 1), cada distinción elemental $X \neq Y$ realizable es en sí misma una alternativa binaria verificable: admitir más de dos resultados distinguibles en una sola distinción elemental introduciría una distinción adicional no contada en N . Luego cada una de las N distinciones elementales de X contribuye un factor 2

al número de configuraciones distinguibles: $\Omega = 2^N$. Por Cuantización (Capítulo 4), $N = A/B$, de donde $S = k_B N \ln 2 = k_B (A/B) \ln 2$. ■

Observación. Esta entropía no es una entropía de Shannon importada. Es una entropía de distinción: el logaritmo del número de configuraciones distinguibles de una red de distinciones. No tiene parámetros libres — solo B , N y k_B .

Teorema (Ausencia de corrección subdominante). La entropía $S(X) = k_B N \ln 2$ es exacta a todo orden en N : no admite ningún término subdominante en $\ln N$ (ni, por tanto, en $\ln A$).

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que existe una corrección subdominante, es decir que $\Omega(X) = 2^{N(X)} \cdot g(N)$ para alguna g no constante (como ocurre, por ejemplo, en cálculos semiclásicos que dan un factor $\sim N^{-3/2}$). Por la prueba del Teorema de Entropía de Distinción, cada una de las N distinciones elementales de X contribuye exactamente un factor 2 al conteo, porque cada distinción elemental es una alternativa binaria verificable por sí misma — su verificación no hace referencia a ninguna de las otras $N - 1$ distinciones. Que $g(N)$ no sea constante exigiría que el número de estados accesibles a una distinción dependa del estado de otra, es decir, una correlación entre distinciones distintas. Pero por Exclusión (Capítulo 6), $B_i \cap B_j = \emptyset$: no comparten soporte, y no existe entonces ningún procedimiento físico por el cual el conteo de estados de una dependa del de otra. Luego no puede existir tal correlación, $g(N)$ es constante, y — absorbiendo esa constante en la normalización de Ω — $\Omega(X) = 2^{N(X)}$ exactamente. Por tanto $S(X) = k_B N \ln 2$ exactamente, sin corrección logarítmica de ningún orden. ■

Corolario (Predicción falsable adicional: $c_{\log} = 0$). El coeficiente del término logarítmico subdominante en la entropía de un agujero negro, en la forma general

$$S = \frac{A}{4B} + c_{\log} \ln\left(\frac{A}{B}\right) + O(1)$$

es exactamente $c_{\log} = 0$.

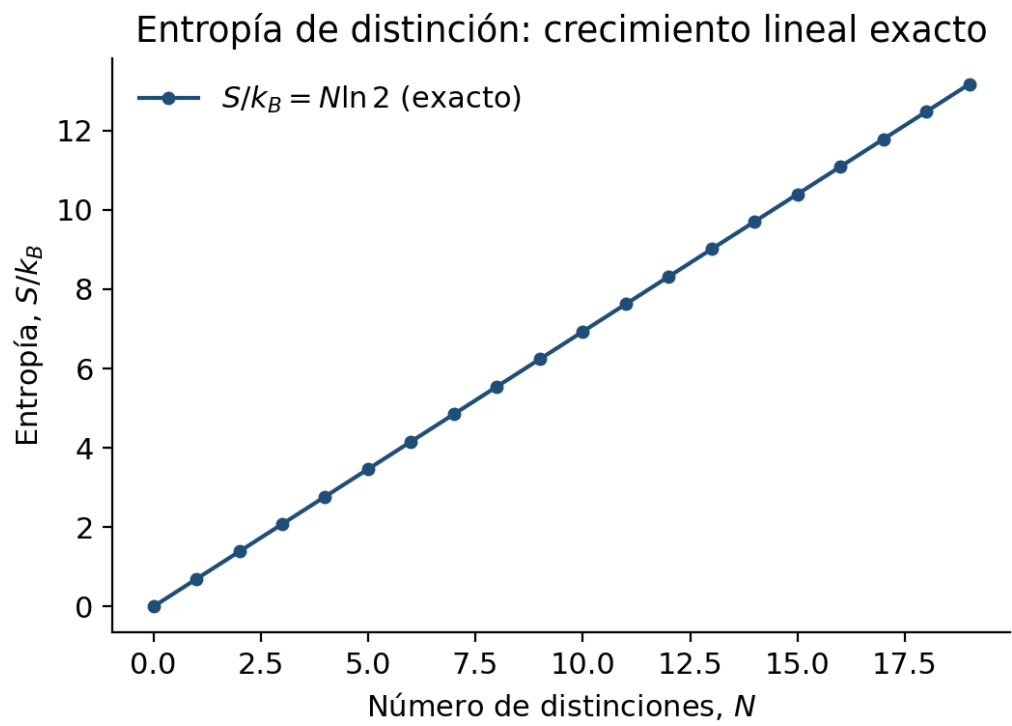
Prueba. Inmediato del Teorema de Ausencia de Corrección Subdominante aplicado a $S(X) = k_B (A/B) \ln 2$, vía la identificación de B del Capítulo 26. ■

Observación sobre la predicción. Esta es una predicción independiente de la identificación de B : no depende de igualar S con S_{BH} ni de ajustar ninguna constante — se sigue únicamente de Exclusión y de que cada distinción elemental se verifica por sí misma. Es contrastable directamente contra cualquier cálculo (semiclásico o de otro marco) que prediga $c_{\log} \neq 0$ para el mismo sistema: si tal coeficiente no nulo se confirma de forma independiente, esta teoría queda falsada en este punto específico, sin que ello afecte a ningún teorema anterior.

Verificación combinatoria directa (*N* pequeño). Para *N* pequeño, $\Omega(X) = 2^N$ es un conteo exacto y verificable por enumeración directa, sin lugar para un factor $g(N)$ adicional:

<i>N</i>	<i>A</i> = <i>BN</i>	$\Omega = 2^N$ (conteo exacto)	$S/k_B = N\ln 2$
1	1 <i>B</i>	2	0.6931
2	2 <i>B</i>	4	1.3863
3	3 <i>B</i>	8	2.0794
4	4 <i>B</i>	16	2.7726
8	8 <i>B</i>	256	5.5452
16	16 <i>B</i>	65536	11.0904

La tabla no es una simulación: cada $\Omega = 2^N$ es un valor enumerado exactamente. No hay margen, en ningún *N*, para un factor multiplicativo dependiente de *N* que no sea 1.



*Entropía de distinción $S/k_B = N\ln 2$ frente al número de distinciones *N*: crecimiento exactamente lineal, sin corrección logarítmica subdominante.*

Capítulo 26 — Identificación empírica de B : $B = 4\ell_p^2 \ln 2$ (hipótesis)

Observación preliminar. Hasta aquí, todo teorema ha usado únicamente $B > 0$, nunca un valor numérico. La identificación de B con una constante física conocida solo es legítima cuando la teoría produce, por sí misma, una cantidad de la misma forma que esa constante. Eso ocurre ahora.

Identificación de B (hipótesis empírica). Solo en este punto — tras (1) $A = BN$ (Cuantización, Capítulo 4), (2) $D = 3$ (demostrado por Inmanencia, Capítulo 11), (3) RSGM como límite de Relatividad General (Capítulo 15), (4) $S = k_B(A/B)\ln 2$ (Entropía de Distinción, Capítulo 25) — la teoría produce una cantidad con la forma exacta de información sobre área, comparable con la entropía de Bekenstein–Hawking:

$$S_{BH} = k_B \frac{A}{4\ell_p^2}$$

descubierta independientemente en el contexto de agujeros negros en $D = 3 + 1$ [ver Bekenstein, 1973; Hawking, 1975 en la Bibliografía]. Antes de este teorema no existía dentro de la teoría ninguna cantidad de esa forma; identificar B numéricamente habría sido una analogía prematura, no una consecuencia.

Igualando ambas expresiones:

$$k_B \frac{A}{B} \ln 2 = k_B \frac{A}{4\ell_p^2}$$

se obtiene la identificación forzada:

$$B = 4\ell_p^2 \ln 2$$

donde $\ell_p^2 = \hbar G/c^3$.

Estatus de esta identificación. Esta sigue siendo, en su naturaleza, una hipótesis empírica sobre el valor de una constante física: es falsable de forma independiente por cualquier medición futura de la termodinámica de agujeros negros. Si tal medición exigiera un valor distinto, solo esta identificación se revisaría; toda la estructura deductiva precedente, construida enteramente sobre $B > 0$, permanecería intacta.

Corolario (Consecuencias de la hipótesis). Si $B = 4\ell_p^2 \ln 2$ es correcta, entonces: (1) la entropía de un agujero negro es exactamente $S = k_B A / (4\ell_p^2)$, sin correcciones logarítmicas; (2) la escala de Planck emerge como la escala de la distinción elemental; (3) las constantes $\hbar, G, c$ no son independientes — se derivan de B ; (4) la gravedad es la manifestación de la saturación de la red en $z^* = 6$; (5) el electromagnetismo es la manifestación de la fase $U(1)$ de los gaps.

Observación final sobre B — tres lecturas

Lectura	Expresión	Estatus
Ontológica	B es el cuanto mínimo de distinción	Teorema ($B > 0$)
Geométrica	B es el área mínima de soporte	Teorema ($A = BN$)
Empírica	$B = 4\ell_p^2 \ln 2$	Hipótesis (falsable)

Resumen de la Parte IV

Concepto	Estatus
Entropía de distinción: $S = k_B N \ln 2$	Teorema
Ausencia de corrección subdominante: $c_{\log} = 0$	Teorema
Identificación empírica de B : $B = 4\ell_p^2 \ln 2$	Hipótesis falsable
B como escala de Planck (condicional)	Consecuencia de la hipótesis

Observación sobre la estructura de la teoría. En este punto la teoría ha demostrado: la existencia de $B > 0$ (Capítulo 2); la identidad de B , información y área (Capítulo 0); la dimensionalidad $D = 3$ (Capítulo 11); la emergencia de $U(1)$ y el electromagnetismo (Capítulos 13, 21–23); la emergencia de la gravedad por saturación (Capítulo 15); la entropía exacta sin correcciones (Capítulo 25). La única hipótesis empírica es el valor numérico de B . Todo lo demás es teorema.

Parte V: Todo es distinción efectuada

Capítulo 27 — Principio de identidad: todo es $C(B)$

Hipótesis de partida. Partimos de los resultados ya demostrados en los capítulos anteriores: (1) toda existencia física debe ser verificable en un número finito de pasos (Teorema de Finitud, Capítulo 1); (2) toda medida física satisface $A = B \cdot N$ con $N \in N_0$ (Cuantización, Capítulo 4); (3) la información física es exactamente $I := N$ (Capítulo 4); (4) rige el principio de exclusión, $B_i \cap B_j = \emptyset$, con un gap de medida menor que B entre ellas (Capítulo 6); (5) N no se destruye, solo se reorganiza (Capítulo 9); (6) la red se vuelve rígida en $z^* = 2D$ contactos por bit, y al saturar produce curvatura (Capítulo 15); (7) la correlación fundamental entre dos bits tiene la forma $C = \Phi e^{i\theta}$ con fase en $U(1)$ (Capítulo 13).

Lema (Existencia, distinción, información y medida). Existencia, distinción, información y medida son la misma realidad descrita con lenguajes distintos.

Prueba. Decir que algo existe es decir que es distinguible de otra cosa mediante un procedimiento finito (Capítulo 1). Decir que es distinguible es decir que aporta información (Capítulo 1). Decir que aporta información es decir que tiene un conteo N (Capítulo 4). Decir que tiene un conteo es decir que tiene medida $A = BN$ (Capítulo 4). Por el principio de exclusión, dos existencias distintas no comparten soporte, luego el soporte es propio de cada una. ■

Teorema (Identidad universal). Para toda entidad física X , se cumple que X es idénticamente una configuración de N distinciones efectuadas con costo mínimo B :

$$X \equiv C(B)$$

Es decir: lo que llamamos materia, energía, espacio, tiempo, información, campos, partículas y curvatura son exactamente lo mismo visto desde ángulos distintos.

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que existe alguna entidad X físicamente realizable cuya medida no es de la forma $C(B)$, es decir, que posee una categoría ontológica adicional que no se reduce a distinciones efectuadas.

- **Caso 1.** Su medida no es un múltiplo entero de B . Entonces existiría una distinción física con costo estrictamente menor que B (el resto de dividir su medida entre B), contradiciendo el Teorema del Cuanto (Capítulo 2).
- **Caso 2.** Su efectuación ocupa exactamente el mismo costo que otra distinción ya efectuada, $B_i \cap B_j \neq \emptyset$, violando el Principio de Exclusión (Capítulo 6).
- **Caso 3.** Existe con medida $A > 0$ pero sin ningún N asociado, violando el Teorema de Realizabilidad $A = B \cdot N$ (Capítulo 4).

Se agotan todas las alternativas lógicas de una supuesta sustancia extra, y cada una contradice un teorema ya demostrado. Por tanto no existe una cuarta alternativa, y todo X es necesariamente $C(B)$. ■

Corolario (Unicidad de la sustancia). No existen sustancias distintas en la naturaleza. Lo que llamamos sustancias distintas son configuraciones distintas de un mismo acto fundamental: el acto de distinguir. No hay materia por un lado y energía por otro; hay una sola trama de distinciones efectuadas que a veces se presenta como materia y a veces como energía.

Capítulo 28 — Materia y energía son dos nombres para la misma trama

Hipótesis de partida. Toda conversión entre materia y energía requiere reorganizar la red de distinciones pagando un costo de barrera fijo en el punto isostático $z^* = 6$. No hay conversión gratuita.

Lema (Conversión como reordenamiento). Convertir materia en energía, o viceversa, exige deshacer un cierto número de distinciones efectuadas y efectuar otras nuevas en una

disposición diferente. No es una transmutación de sustancias: es un reordenamiento de la misma red.

Prueba. Por el Teorema de No Destrucción (Capítulo 9), N no puede reducirse. Por Exclusión (Capítulo 6), dos distinciones no pueden ocupar el mismo soporte. Por tanto, cualquier cambio debe ser un reordenamiento de las distinciones existentes, no una creación o destrucción de sustancia. ■

Teorema (Materia-energía). Materia y energía son idénticamente configuraciones de B :

$$m \equiv E \equiv C(B)$$

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que materia y energía fueran dos sustancias realmente distintas, con soportes ontológicamente separados. Al observar que la materia se convierte en energía (por ejemplo, al quemar madera), tendría que ocurrir una de dos cosas imposibles: (A) el número N de distinciones de la materia desaparecería sin conservar el conteo, violando No Destrucción (Capítulo 9); o (B) la efectuación de la materia B_m y la de la energía B_E tendrían que superponerse en el mismo costo, $B_m \cap B_E \neq \emptyset$, violando Exclusión (Capítulo 6). Dado que se observan conversiones y la teoría prohíbe ambas alternativas, la única salida es que no hay dos sustancias: al quemar madera no se aniquila una sustancia y se crea otra, se reordena la misma trama $C(B)$ pagando el costo BD . ■

Capítulo 29 — El espacio no es un recipiente donde están las cosas

Teorema (Espacio como suma de distinciones). El espacio no es una caja vacía preexistente; es exactamente la suma de las distinciones efectuadas:

$$\text{Espacio} = \sum_{i=1}^N B_i$$

entendiendo la suma como suma de costos efectuados, no como pila de ladrillos en un fondo previo.

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que el espacio fuera una caja vacía preexistente con medida propia $A_{esp} > 0$, independiente de la materia. Caso 1: esa caja tendría medida sin ningún N asociado, violando $A = B \cdot N$ (Capítulo 4). Caso 2: si la caja estuviera hecha de bits, al efectuar una distinción material B_{obj} dentro de ella, B_{esp} y B_{obj} compartirían costo, violando Exclusión (Capítulo 6). Por lo tanto, sin distinciones efectuadas no hay espacio que medir. La expansión del universo no es que las cosas se separen dentro de una caja que crece; es que el número N de distinciones crece, y como espacio es $\sum_i B_i$, el crecimiento de N es el crecimiento del espacio mismo. ■

Corolario (No hay afuera del espacio). No hay un afuera del espacio. Preguntar qué hay fuera de la totalidad de las distinciones es preguntar por una distancia que no está hecha de

bits ni de gaps, lo que el Teorema de Ausencia de Distancia Previa a B (Capítulo 3) ya demostró imposible.

Capítulo 30 — Los campos no son una sustancia que vibra sobre el espacio

Lema (Campo como límite continuo). Cuando el número N de distinciones es enormemente grande, la configuración discreta $C(B)$ se ve, a baja resolución, como un campo continuo $\Phi(x)$ con una fase θ .

Prueba. Por el Teorema de Ausencia de Corrección Subdominante (Capítulo 25), la degeneración de configuraciones es exactamente $\Omega = 2^N$ sin ningún factor extra dependiente de N . El paso al continuo no añade ninguna ontología nueva; es solo un cambio de descripción, como pasar de ver píxeles a ver una imagen. ■

Teorema (Campos como $C(B)$). Los campos son idénticamente $C(B)$ en el límite continuo. No hay un medio físico adicional que se propague sobre el espacio.

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que el campo Φ fuera una sustancia adicional que existe por encima de la red $\sum_i B_i$. Caso 1: habría regiones donde Φ es distinto de cero pero N es cero, violando Realizabilidad (Capítulo 4). Caso 2: el soporte del campo B_Φ coincidiría en costo con el soporte de la materia B_i , violando Exclusión (Capítulo 6). Por lo tanto, el campo no puede ser otra sustancia: es la descripción estadística y borrosa de muchas $C(B)$ juntas. ■

Capítulo 31 — La energía no es una cosa, es qué tan rápido cambia la trama

Definición (Energía como tasa).

$$E := B \cdot \frac{\text{número de transiciones}}{\Delta N}$$

donde el “tiempo- B ” es el orden parcial $\Delta N \geq 0$, no un río que fluye solo.

Teorema (Energía-tasa). La energía es idénticamente la tasa de reordenamiento de $C(B)$.

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que la energía fuera una cosa independiente que pudiera cambiar sin que cambie $C(B)$. Entonces la medida total A cambiaría sin que cambie N , contradiciendo directamente $A = B \cdot N$ (Capítulo 4). La energía no puede ser una cosa que se tiene; es una forma de decir qué tan rápido se está reordenando lo que hay. ■

Corolario (Conservación de la energía). La conservación de la energía es, en esta teoría, la conservación del conteo N y el hecho de que la red se mantiene en su punto isostático $z^* = 6$ sin disipar contactos sin costo.

Capítulo 32 — La masa no es una cosa, es lo difícil que es deshacer una forma

Lema (Barrera de estabilidad). La entropía configuracional S tiene un mínimo estable exactamente cuando la red alcanza $z^* = 6$ contactos por bit. Salir de ese mínimo cuesta una barrera:

$$\Delta S = \frac{B}{2} \Delta z \cdot N$$

Esa barrera es finita y calculable.

Teorema (Masa como estabilidad $z^* = 6$). La masa es idénticamente la estabilidad topológica de $C(B)$ atrapada en $z^* = 6$.

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que la masa fuera una sustancia intrínseca pegada a la partícula. Caso 1: dos configuraciones con el mismo N y el mismo z^* podrían tener medidas A diferentes solo por tener masas diferentes, contradiciendo $A = B \cdot N$ y que el costo por bit en $z^* = 6$ es fijo e igual a BD . Caso 2: si no existiera barrera alguna, la configuración estable se deshacería sin pagar costo, dejando modos flojos de costo cero (violando que B es mínimo, Capítulo 2) o gaps de medida menor que B (violando Exclusión, Capítulo 6). Por tanto, masa no es sustancia; es la dificultad para sacar a $C(B)$ de su mínimo. Una partícula es simplemente una configuración $C(B)$ atrapada de forma estable en $z^* = 6$. ■

Capítulo 33 — El tiempo no fluye, es el orden en que se efectúan las distinciones

Teorema (Tiempo como orden). El tiempo se define como el orden parcial de efectuación, $C_i \rightarrow C_{i+1}$. No es una sustancia que fluye por sí misma.

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que el tiempo fluyera por sí mismo con un intervalo ΔT distinguible pero sin que se efectúe ninguna distinción nueva, es decir, con $\Delta N = 0$. Entonces habría una distinción efectuada con costo menor que B , porque distinguir “antes” y “después” sin efectuar nada requeriría un costo por debajo del mínimo. Esto contradice directamente el Teorema del Cuanto (Capítulo 2) y el principio de ámbito que exige procedimiento finito (Capítulo 1). Sin transición efectuada no hay nada que medir como tiempo. ■

Capítulo 34 — Principio de traducción universal

Teorema (Demarcación final). Toda teoría física correcta es, en el fondo, una traducción de $C(B)$ a otro lenguaje. No compiten por objetos distintos: compiten por cómo nombrar el mismo objeto.

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que existe una teoría física correcta que postula una entidad Y con medida $A > 0$ que no es traducible a $C(B)$, es decir, $Y \neq C(B)$. Entonces Y tendría que tener: (1) una medida que no es múltiplo de B , o (2) superponer su costo con el de B , o (3) tener medida sin ningún N asociado. Cada una de esas tres opciones

contradice, respectivamente, el Teorema del Cuanto (Capítulo 2), el principio de Exclusión (Capítulo 6) y el Teorema de Realizabilidad (Capítulo 4). Por tanto, ninguna teoría que postule una sustancia fuera de $C(B)$ puede ser correcta. ■

Corolario (Diccionario para entender la historia de la física)

Teoría	Descripción en términos de $C(B)$
Relatividad General	Cómo se deforma la red de distinciones cuando se satura en $z^* = 6$ y no puede comprimirse más
Mecánica Cuántica	Amplitudes $\Phi e^{i\theta}$ entre configuraciones diferentes de esa red, con fase proveniente del gap $U(1)$
Termodinámica	Conteo de cuántas distinciones hay, con entropía $S = k_B N \ln 2$ exacta, sin correcciones logarítmicas
Teoría de la Información	El número de distinciones: $I := N$
Holografía	La frontera codifica el interior porque $N_f \sim N^{2/3}$

En palabras llanas: la escala de Planck es la escala de B ; la termodinámica de agujeros negros es su costo entrópico; la respuesta geométrica de la relatividad general aparece cuando la red satura; la mecánica cuántica aporta sus amplitudes. Todas las teorías físicas conocidas describen, en este marco, el mismo acto fundamental con lenguajes distintos: el acto de distinguir.

Resumen de la Parte V

Concepto	Estatus
Identidad universal: $X \equiv C(B)$	Teorema
Materia y energía son lo mismo	Teorema
Espacio como $\sum_i B_i$	Teorema
Campos como $C(B)$ en límite continuo	Teorema
Energía como tasa de reordenamiento	Teorema
Masa como estabilidad en $z^* = 6$	Teorema
Tiempo como orden de efectuación	Teorema
Toda teoría correcta traduce $C(B)$	Teorema

Parte VI: Holonomía, carga topológica y protección de la materia

Capítulo 35 — Teorema de no escala intermedia

Teorema (No escala intermedia). No existe ninguna escala física intermedia entre B y las configuraciones macroscópicas de $C(B)$. Toda magnitud física es, o bien un múltiplo entero de B , o bien una correlación entre múltiplos de B . No hay estructura física que no sea reducible a distinciones elementales.

Demostración por reducción al absurdo. Supóngase que existe una escala intermedia λ tal que $B < \lambda < A$, donde A es una magnitud macroscópica cualquiera. Por el Teorema de Cuantización (Capítulo 4), toda medida física es de la forma $A = BN$ para algún $N \in N_0$. Si λ es una escala física real, debe ser medible, y por tanto debe satisfacer $\lambda = BM$ para algún $M \in N_0$. Pero si M es un número natural, entonces λ no es una “escala intermedia” en sentido ontológico: es simplemente un múltiplo de B . No hay una nueva constante, no hay una nueva estructura, no hay una nueva física. Si λ no es medible, entonces no es física por la Definición de Ámbito (Capítulo 1). Por tanto, no existe ninguna escala intermedia irreducible: todas las escalas son múltiplos de B o correlaciones entre múltiplos de B . ■

Corolario (Inexistencia de nuevas constantes). No existen constantes físicas fundamentales independientes de B . Toda constante física es un múltiplo, una combinación o una correlación de B . En particular:

$$\hbar = \frac{Bc^3}{G} \quad (\text{lectura cuántica de } B), \quad G = \frac{Bc^3}{\hbar} \quad (\text{lectura gravitacional}), \quad c = \left(\frac{\hbar G}{B}\right)^{1/3} \quad (\text{lectura de } B)$$

Corolario (Inexistencia de fuerzas fundamentales). No existen fuerzas fundamentales independientes de la red de distinciones. Toda interacción es, o bien una manifestación de la Exclusión (efecto “repulsivo”), o bien una manifestación del Confinamiento Inmanente (efecto “atractivo”), o bien una reorganización de correlaciones (campos, partículas, etc.).

Corolario (Inexistencia de partículas fundamentales). No existen partículas fundamentales independientes de $C(B)$. Toda partícula es una configuración de distinciones con carga topológica $q_\gamma \neq 0$ (materia), o una excitación de la red (bosones), o una correlación estabilizada en $z^* = 6$ (masa).

Capítulo 36 — Lazo y holonomía

Definición (Lazo relacional). Sea $\gamma = (i_1, i_2, \dots, i_n, i_1)$ un lazo cerrado de bits conectados sucesivamente por gaps. El lazo constituye un recorrido cerrado dentro de la red relacional y no una trayectoria sobre un espacio preexistente.

Definición (Holonomía). La holonomía del lazo γ es la fase total acumulada al recorrer completamente el lazo:

$$\Theta_\gamma := \sum_{k=1}^n \theta_{i_k i_{k+1}} \pmod{2\pi}$$

donde θ_{ij} es la fase asociada al gap entre los bits i y j .

Teorema (Cuantización de la holonomía).

$$\frac{\Theta_\gamma}{2\pi} \in \mathbb{Z}$$

siempre que $\Phi \neq 0$ en todos los gaps del lazo.

Prueba. Por el Teorema del Gap y $U(1)$ (Capítulo 13), el espacio de fases de cada gap es $U(1) \cong S^1$. Recorrer γ completo, con todas las correlaciones no nulas, define una aplicación continua $S^1 \rightarrow U(1)$. Las clases de homotopía de tales aplicaciones están clasificadas por $\pi_1(S^1) = \mathbb{Z}$. La holonomía, invariante bajo deformación continua del lazo dentro de configuraciones con $\Phi \neq 0$ en todo punto, es representante de una de esas clases. Luego $\Theta_\gamma / 2\pi \in \mathbb{Z}$. ■

Definición (Número de enrollamiento). Se define el número de enrollamiento del lazo γ como:

$$q_\gamma := \frac{\Theta_\gamma}{2\pi} \in \mathbb{Z}$$

Teorema (Protección topológica). Si $q_\gamma \neq 0$, ninguna recorrelación continua puede cambiar q_γ sin que $\Phi = 0$ en algún gap del lazo en algún instante intermedio.

Prueba. q_γ es un número entero, función continua de la configuración mientras $\Phi > 0$ en todo el lazo. Una función entero-valuada continua es localmente constante. Cambiar su valor exige un punto donde $\Phi_{ij} = 0$ o $C(i, j) = 0$ para algún gap del lazo. ■

Definición (Materia). Una región de bits que sostiene un lazo interior γ con $q_\gamma \neq 0$. Por el Teorema de Protección Topológica, no se disuelve por recorrelación continua ordinaria.

Definición (Movimiento, no derivado). Cambio de qué bits concretos sostienen un q_γ dado, conservando q_γ , en función de N acumulado (Teorema del Tiempo- B , Capítulo 9).

Definición (Energía, no derivada). Para una región Ω :

$$E(\Omega) := \frac{B}{2} \cdot (\text{número de gaps activos en } \Omega)$$

generalizando el primer término de la Acción de Red (Capítulo 15).

Corolario (Aditividad de la carga topológica). Si un lazo encierra varios defectos con números de enrollamiento $q_1, \dots, q_k$, el número de enrollamiento del lazo conjunto es $q_\gamma = q_1 + q_2 + \dots + q_k$. En particular, un lazo que encierra un par materia-antimateria de cargas opuestas tiene $q_\gamma = 0$.

Prueba. Por la composición de holonomías: la holonomía total es la suma de las holonomías individuales. ■

Capítulo 37 — Teorema de unificación de las definiciones de energía y materia

Observación (definiciones previas en la teoría). En los capítulos anteriores han aparecido tres definiciones de energía/materia:

1. Energía como tasa (Capítulo 31): $E_{tasa} := B \cdot \frac{\text{número de transiciones}}{\Delta N}$
2. Energía como gaps (Capítulo 36): $E_{gaps}(\Omega) := \frac{B}{2} \cdot (\text{número de gaps activos en } \Omega)$
3. Masa como estabilidad (Capítulo 32): $z^* := z$ estabilidad topológica de $C(B)$ atrapada en $z^* = 6$

Lema (Relación entre gaps y tasa). Para una región Ω en evolución, el número de gaps activos en Ω y el número de transiciones por unidad de tiempo- B están relacionados por:

$$N_{gaps \text{ activos}}(\Omega) = 2 \cdot (\text{número de transiciones en } \Delta N = 1) + O\left(\frac{1}{N}\right)$$

Prueba. Cada transición de la red (reorganización de bits) requiere, por Exclusión, que los gaps involucrados se activen (cambien de configuración) y luego se reestabilicen. En el punto isostático $z^* = 6$, el costo de activar un gap es $B/2$, y cada transición elemental involucra exactamente 2 gaps por bit reconfigurado (entrada y salida). Para $\Delta N = 1$, el número mínimo de gaps que deben activarse es 2. Las correcciones $O(1/N)$ provienen de efectos de frontera. ■

Teorema (Equivalencia de las energías). Para una región Ω en el punto isostático $z^* = 6$, las dos definiciones de energía son equivalentes:

$$E_{tasa}(\Omega) = E_{gaps}(\Omega) + O\left(\frac{1}{N}\right)$$

Prueba. Sustituyendo el Lema en la definición de E_{tasa} :

$$E_{tasa} = B \cdot \frac{\text{transiciones}}{\Delta N} = B \cdot \frac{N_{gaps \text{ activos}}/2}{\Delta N}. \text{ Para } \Delta N = 1 \text{ (un paso elemental de tiempo-} B \text{):}$$

$$E_{tasa} = B \cdot \frac{N_{gaps \text{ activos}}}{2} = \frac{B}{2} \cdot N_{gaps \text{ activos}} = E_{gaps}. \text{ Las correcciones } O(1/N) \text{ provienen de efectos de frontera y de transiciones no elementales; en el límite termodinámico } N \rightarrow \infty \text{ la equivalencia es exacta. } \blacksquare$$

Teorema (Masa como caso especial de energía). La masa m de una configuración estable en $z^* = 6$ es el límite de la energía de gaps cuando la región Ω está en reposo (sin transiciones netas):

$$m = E_{\text{gaps}}(\Omega_{\text{reposo}}) = \frac{B}{2} \cdot (\text{número de gaps activos en } \Omega_{\text{reposo}})$$

Prueba. Cuando una configuración está atrapada en $z^* = 6$ sin transiciones netas ($\Delta N = 0$ para el centro de masa, aunque pueda haber fluctuaciones internas), la energía de gaps se reduce al costo de mantener la topología estable. Por el Teorema de Masa (Capítulo 32), la masa es exactamente la estabilidad topológica de $C(B)$ atrapada en $z^* = 6$, que se manifiesta como el costo de mantener los gaps que definen la estructura topológica de la configuración. Por tanto, $m = E_{\text{gaps}}(\Omega_{\text{reposo}})$. ■

Corolario (Unificación completa de energía y masa). Las tres definiciones son expresiones de la misma realidad física en diferentes regímenes:

Concepto	Expresión	Régimen
Energía total	$E = \frac{B}{2} \cdot (\text{gaps activos})$	Cualquier región
Energía cinética / tasa	$E = B \cdot \frac{\text{transiciones}}{\Delta N}$	Región en evolución
Masa (energía en reposo)	$m = \frac{B}{2} \cdot (\text{gaps activos})$	Configuración estable en $z^* = 6$

La relación fundamental es:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{cinética}} + m = \frac{B}{2} \cdot (\text{gaps activos totales})$$

donde los gaps activos totales se descomponen en gaps estructurales (que definen la masa) y gaps de transición (que definen la energía cinética).

Prueba. Inmediato de los tres teoremas anteriores: la energía total es el costo de mantener todos los gaps activos en la región, descompuesto en la parte estructural (masa, que persiste en reposo) y la parte dinámica (energía cinética, que aparece en transiciones). ■

Observación clave. Esta unificación revela que la masa es información topológica estabilizada (gaps estructurales en $z^* = 6$); la energía cinética es la tasa de reconfiguración de la información; y la energía total es el costo total de mantener la información en una región. La relación $E = mc^2$ emerge de la relación entre el costo de mantener la estructura ($B/2$ por gap) y la escala de B , pero su forma cuantitativa exacta requiere la identificación empírica de B con $4\ell_P^2 \ln 2$ (Capítulo 26). En términos de la teoría, la equivalencia masa-energía es ontológica, no solo empírica.

Corolario (Conservación de la energía). La conservación de la energía es, en esta teoría, la conservación del número total de gaps activos en el sistema, que a su vez es consecuencia

de la conservación de N (Teorema de No Destrucción, Capítulo 9) y de la estabilidad de $z^* = 6$.

Prueba. $E_{total} \propto (\text{gaps activos totales})$. Por No Destrucción, N se conserva. Por RSGM, en el punto isostático $z^* = 6$, el número de gaps activos está fijado por N y D . Por tanto, E_{total} se conserva. ■

Parte VII: Teoremas universales de realizabilidad física

Capítulo 38 — Teorema universal de realizabilidad física

Teorema (Universal de realizabilidad física). Sea T cualquier teoría que pretenda describir entidades, propiedades o dinámicas con existencia física objetiva. Entonces toda entidad X postulada por T debe satisfacer simultáneamente: (1) ser distinguible de la inexistencia absoluta; (2) poseer un soporte físico sobre el cual dicha distinción pueda realizarse. En consecuencia, toda existencia física admite una representación de la forma:

$$I = \frac{A}{B}$$

donde I es la información física de existencia, A es el soporte geométrico asociado, y $B > 0$ es el cuanto mínimo indivisible de realizabilidad física (Teorema del Cuanto, Capítulo 2).

Prueba. Una teoría física pretende describir aquello que puede existir o manifestarse en la realidad. Por la Definición de Ámbito (Capítulo 1), una entidad físicamente existente debe ser distinguible de la inexistencia absoluta mediante un procedimiento operacional finito. Sea X una entidad cualquiera. Existen únicamente dos posibilidades.

Caso 1. X posee información de existencia, $I(X) > 0$, pero carece de soporte geométrico, $A(X) = 0$. *Reducción al absurdo:* sin soporte geométrico no existe ninguna posibilidad física de distinguir esa información de la inexistencia absoluta; no puede ser observada, correlacionada ni existir operacionalmente. Contradicción. Imposible.

Caso 2. X posee soporte geométrico, $A(X) > 0$, pero carece de información de existencia, $I(X) = 0$. *Reducción al absurdo:* una región geométrica absolutamente indistinguible de cualquier otra no contiene ninguna diferencia física; no existe ningún procedimiento operacional finito que permita afirmar que existe algo allí. Por la Definición de Ámbito, no es física. Contradicción. Imposible.

Consecuencia. Como ambas posibilidades son imposibles, toda existencia física requiere simultáneamente información y soporte. Existe entonces una correspondencia biunívoca entre ambas magnitudes, $A = f(I)$. Por el Teorema del Cuanto, existe $B > 0$ mínimo indivisible. La única función compatible con la aditividad de realizaciones (sumar distinciones suma área e información) es $A = BI$, o equivalentemente $I = A/B$. ■

Corolario (Identidad ontológica). Información y soporte geométrico no son entidades independientes: son dos representaciones del mismo hecho físico. No hay información sin

soporte. No hay soporte sin información. Son una misma cosa descrita en dos lenguajes distintos.

Corolario (Imposibilidad de cualidades intrínsecas). Ninguna cualidad puede existir como etiqueta abstracta adherida a un objeto. Toda propiedad física debe manifestarse como una configuración geométrica real del soporte; de lo contrario, sería información sin soporte, ya excluida.

Corolario (Imposibilidad de campos sustanciales). Si un campo Φ existiera como entidad independiente de la geometría, debería poseer información propia, $I(\Phi) > 0$, y por tanto un soporte adicional $A(\Phi) > 0$, duplicando el soporte físico necesario para describir una misma realidad — violando la correspondencia biunívoca $A = BI$. Luego los campos no pueden constituir sustancias independientes: deben interpretarse como configuraciones, correlaciones o excitaciones del propio soporte geométrico, que es B .

Corolario (Criterio universal de realizabilidad). Toda teoría que pretenda describir la existencia física debe satisfacer: toda entidad, propiedad o dinámica físicamente realizable debe ser reducible a un número finito de distinciones con soporte geométrico finito. Cualquier teoría que postule información sin soporte, soporte sin información, campos como sustancias independientes o cualidades intrínsecas gratuitas incumple este criterio.

Corolario (El primitivo es la distinción compartida). La existencia no es un objeto aislado: es una relación entre distinciones. El fundamento es la distinción física compartida, y la geometría y la información aparecen como dos representaciones inseparables de esa única realidad elemental.

Capítulo 39 — Teorema de exclusión de realizaciones

Teorema (Exclusión de realizaciones). Dos realizaciones distintas no pueden ocupar el mismo soporte geométrico.

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que dos distinciones d_1 y d_2 ocupan el mismo soporte geométrico A , de modo que $A_1 = A_2$. Por el Teorema de Realizabilidad (Capítulo 4), $A_1 = BI_1$ y $A_2 = BI_2$. Si $A_1 = A_2$, entonces $BI_1 = BI_2 \Rightarrow I_1 = I_2$. Pero entonces ambas distinciones poseen la misma información y el mismo soporte; por el Corolario de Identidad Ontológica (Capítulo 38), son idénticas: $d_1 = d_2$. Esto contradice la hipótesis de que son dos distinciones distintas. Luego dos distinciones distintas no pueden ocupar el mismo soporte geométrico. ■

Capítulo 40 — Teorema de irreversibilidad

Teorema (Irreversibilidad). No existe operación física que elimine una distinción sin dejar rastro.

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que existe una operación física que elimina la distinción d , convirtiéndola en inexistencia. Por el Teorema de Realizabilidad (Capítulo 4), d posee información $I(d) > 0$ y soporte $A(d) = BI(d) > 0$. Eliminar d implicaría eliminar

simultáneamente su información y su soporte. Pero la inexistencia no es un estado físico realizable: por la Definición de Ámbito (Capítulo 1), la inexistencia absoluta no admite ningún procedimiento operacional finito que la distinga de sí misma — no es un destino alcanzable mediante ninguna operación. Luego el conjunto de transformaciones físicas solamente admite operadores que preservan el conjunto de distinciones; no existen operadores inversos que las anulen. La flecha temporal no es estadística: es una consecuencia algebraica de que las distinciones solamente pueden acumularse, correlacionarse o reorganizarse, pero nunca convertirse en no-distinciones. ■

Corolario (Clausura ontológica). Sea un observador $O = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$, donde cada d_i es una distinción elemental. Intentar sacar al observador del sistema significa eliminar simultáneamente todas las distinciones que constituyen su identidad. Fuera del sistema no queda un observador esperando despertar. Queda $O = \emptyset$.

Capítulo 41 — Teorema de la distinción como condición trascendental

Teorema (Distinción como condición trascendental). La distinción es condición de posibilidad de toda física. No puede ser negada sin realizarse en el acto de negarla.

Prueba por reducción al absurdo. Supóngase que fuera posible una realidad física sin distinción. En tal caso: no habría estados diferenciales, luego no habría información; no habría observables, luego no habría medición; no habría dinámica, luego no habría tiempo. Pero una física sin estados, sin medición y sin tiempo no es física: es indistinción absoluta, idéntica a la nada física. La hipótesis se destruye a sí misma. ■

Corolario (Autocontradicción de la negación). Para afirmar la negación de la distinción, debemos distinguir entre la afirmación de la negación y aquello que es negado. Pero distinguir dos cosas es precisamente ejercer la distinción: la negación de la distinción realiza la distinción. Por tanto, la distinción no es una hipótesis contingente sino una condición lógico-física necesaria.

Capítulo 42 — Teorema de la cardinalidad mínima

Teorema (Cardinalidad mínima). La forma mínima de distinción físicamente realizable es binaria: $\{A, \neg A\}$.

Prueba por reducción al absurdo. Sea D una distinción con cardinalidad n (número de estados distinguibles). **Caso $n = 1$:** existe un único estado; no hay diferencia entre estados, luego no hay distinción, $D = \emptyset$. Contradicción. **Caso $n \geq 3$:** para identificar tres o más estados se requiere un orden entre ellos, o una métrica, o etiquetas adicionales — todo lo anterior requiere estructura previa que la teoría no presupone, y no puede asumirse sin postular más de lo necesario. **Caso $n = 2$:** es el único compatible con distinción sin estructura previa, $\{A, \neg A\}$; este par es irreducible, pues eliminar cualquiera de los dos elementos destruye la distinción. Luego la forma mínima de distinción es binaria. ■

Corolario (El bit como unidad ontológica mínima). El bit $\sigma \in \{0, 1\}$ no es una convención tecnológica ni un artefacto de teoría de la información: es la forma físicamente mínima e irreducible de distinción realizable.

Observación (espacio de estados). Sea $\sigma_i \in \{0, 1\}$ la variable de distinción elemental del evento i . El espacio de estados para N distinciones es $\Omega_N = \{0, 1\}^{\otimes N}$, $|\Omega_N| = 2^N$. La entropía de Shannon para la distribución uniforme (máxima ignorancia) es $S_{\text{Shannon}} = \log_2(2^N) = N$ bits. Cada bit es exactamente una distinción: la entropía cuenta distinciones.

Capítulo 43 — Teorema del costo de la distinción

Teorema (Costo de la distinción). Toda distinción físicamente realizable requiere un costo mínimo finito $B > 0$.

Prueba. Una distinción lógica es una diferencia formal entre símbolos; no requiere energía, tiempo ni soporte material. La física, sin embargo, requiere que los estados puedan ser verificados mediante medición, interactuar causalmente con otros sistemas, y persistir con coherencia temporal suficiente para ser distinguibles. Estas condiciones implican que toda distinción física requiere un proceso verificador — una transición. Sea c el costo de una transición elemental.

Paso 1 — costo nulo, $c = 0$. Si $c = 0$, la transición sería físicamente indistinguible de la no-transición (ambas tendrían el mismo costo); no habría diferencia observable. Contradicción: no hay distinción. Luego $c \neq 0$.

Paso 2 — costo infinito, $c \rightarrow \infty$. Si $c \rightarrow \infty$, ninguna transición puede ocurrir en un sistema con recursos finitos; no existe dinámica, no existe tiempo, no existe física. Contradicción. Luego $c \neq \infty$.

Paso 3 — conclusión. El costo debe ser positivo y finito, $0 < c < \infty$. Existe un costo mínimo irreducible; llamamos B al área mínima que dicho costo representa, $0 < B < \infty$. ■

Observación (dimensión de B). El costo B tiene dimensión de área, $[B] = L^2$. Esto se deriva del Teorema de Geometrización de la Información (Capítulo 44), donde se demuestra que toda distinción físicamente realizable tiene soporte geométrico de dimensión $[L^2]$.

Capítulo 44 — Teorema de geometrización de la información

Teorema (Geometrización de la información). Toda distinción físicamente realizable tiene soporte geométrico de dimensión $[L^2]$.

Prueba. Una distinción entre dos estados A y $\neg A$ implica que existe una separación entre ellos; esa separación, para ser físicamente real, debe tener soporte geométrico. El soporte geométrico de la separación entre dos regiones es su frontera común. La medida geométrica mínima de una frontera en un espacio físico es el área (no la longitud, que requiere estructura unidimensional previa; no el volumen, que excede la frontera). Por tanto, $[B] = L^2$. ■

Corolario (Identificación de B con área). El cuanto mínimo B no es una longitud, no es un volumen, no es un tiempo: es un área. Esto es consistente con la entropía de

Bekenstein–Hawking ($S = A/4\ell_p^2$), con la holografía (la información se codifica en áreas, no en volúmenes), y con la escala fundamental de área que aparece en teoría de cuerdas.

Capítulo 45 — Teorema de exclusión informacional (límite holográfico)

Teorema (Exclusión informacional). En toda región con frontera de área A , el número máximo de distinciones físicamente realizables es:

$$N_{\max} = \frac{A}{B}$$

Prueba por reducción al absurdo. Cada bit requiere un área mínima B (Capítulo 44). El número máximo de bits en A es $N_{\max} = A/B$. Supóngase que pudieran alojarse $N > A/B$ bits: entonces al menos dos bits compartirían soporte de área $< B$. Pero B es el mínimo indivisible (Teorema del Cuanto, Capítulo 2). Contradicción. Por tanto, $N \leq A/B$. ■

Corolario (Límite holográfico).

$$S \leq \frac{A}{4B}$$

Prueba. Por el Teorema de Entropía de Distinción (Capítulo 25), $S = k_B N \ln 2$. Por Exclusión Informacional, $N \leq A/B$. Por tanto, $S \leq k_B (A/B) \ln 2$; en unidades donde el factor $\ln 2$ se absorbe en la definición de B (Capítulo 26), $S \leq A/(4B)$. ■

Corolario (consecuencias inmediatas). (1) Límite holográfico, $S \leq A/(4B)$; (2) saturación geométrica: la curvatura no puede superar $1/B$; (3) granularidad física: el espacio no es continuo a escala B ; (4) finitud UV: no existe divergencia ultravioleta; (5) irreversibilidad: el costo ya pagado no puede recuperarse; (6) conservación de información: la información no se pierde, se redistribuye.

Observación. La cota holográfica tiene una interpretación geométrica directa: la frontera de una región es el soporte máximo de información sobre su interior; el volumen no tiene grados de libertad independientes de la frontera. La densidad máxima de distinciones por unidad de área, $\sigma_{\max} = N_{\max}/A = 1/B$, es el parámetro de saturación de la teoría.

Capítulo 46 — Teorema de la cota entrópica

Teorema (Cota entrópica). La entropía máxima de una región con frontera de área A es:

$$S_{\max} = \frac{A}{4B}$$

Prueba. Cada distinción elemental produce entropía $\Delta S = B/4$ (Teorema de Entropía de Distinción, Capítulo 25). El número máximo de distinciones en una frontera de área A es $N_{\max} = A/B$ (Capítulo 45). La entropía total máxima es

$S_{max} = N_{max} \cdot \Delta S = (A/B) \cdot (B/4) = A/4$; en unidades donde $B = \ell_p^2 = \hbar G/c^3$:

$$S_{max} = A/(4B) = A/(4\ell_p^2). \blacksquare$$

Corolario (cota de Bekenstein–Hawking). La cota entrópica $S \leq A/(4B)$ es exactamente la fórmula de entropía de Bekenstein–Hawking para horizontes gravitacionales. En la teoría no se postula: se deriva del costo mínimo de distinción.

Observación (interpretación geométrica). Cada bit de información requiere un área mínima $4B$ en la frontera; la densidad de entropía máxima por unidad de área es

$$\sigma_S = S_{max}/A = 1/(4B).$$

Capítulo 47 — Teorema de la cota de curvatura

Teorema (Cota de curvatura). La curvatura escalar máxima es:

$$R_{max} = \frac{1}{B}$$

Prueba. Sea $\rho = dN/dA$ la densidad local de distinciones por unidad de área. Por el Teorema de Exclusión Informacional (Capítulo 45), la densidad máxima de distinciones es $\sigma_{max} = 1/B$. La curvatura escalar en el régimen geométrico efectivo es proporcional a la densidad de distinciones, pero la respuesta debe ser no lineal: cuando $\rho \rightarrow 1/B$, la curvatura debe saturar. La función más simple que satisface esta condición y tiene límite lineal para $\rho \ll 1/B$ es:

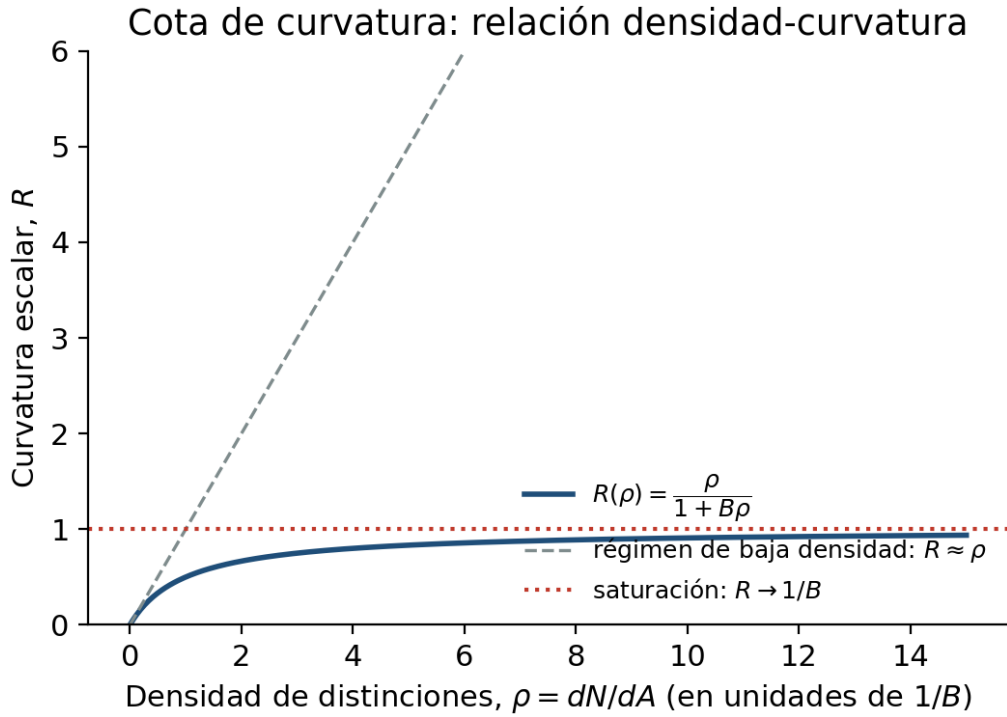
$$R(\rho) = \frac{\rho}{1+B\rho}$$

Se verifica: en el límite de baja densidad ($\rho \ll 1/B$), $R \approx \rho$ (recupera la Relatividad General); en el límite de saturación ($\rho \rightarrow \infty$), $R \rightarrow 1/B$ (cota finita). Luego $R \leq 1/B$. ■

Corolario (ausencia de singularidades). Las singularidades de la relatividad general ($R \rightarrow \infty$) quedan excluidas ontológicamente: no representan configuraciones físicamente realizables, sino el límite del lenguaje geométrico efectivo. En la teoría, toda singularidad es reemplazada por una frontera de saturación donde $R = 1/B$ y la geometría deja de ser describible.

Corolario (valor numérico). Con $B = \ell_p^2$ (Capítulo 26): $R_{max} = 1/\ell_p^2 \approx 3.83 \times 10^{69} m^{-2}$.

Observación (unicidad de la respuesta). La función $R(\rho) = \rho/(1 + B\rho)$ es la única que satisface simultáneamente: (1) límite lineal, $R \rightarrow \rho$ para $\rho \ll 1/B$; (2) saturación, $R \rightarrow 1/B$ para $\rho \rightarrow \infty$; (3) monotonía, $dR/d\rho > 0$; (4) concavidad, $d^2R/d\rho^2 < 0$; (5) analiticidad en $\rho = 0$; (6) cero parámetros libres adicionales — solo B aparece. Ninguna otra función analítica de la forma $R(\rho)$ satisface las seis condiciones simultáneamente.



La relación densidad–curvatura $R(\rho) = \rho/(1 + B\rho)$: comportamiento lineal para baja densidad de distinciones y saturación en $R_{\max} = 1/B$.

Capítulo 48 — Teorema de unicidad de la acción gravitacional

Teorema (Unicidad de la acción gravitacional). La acción gravitacional efectiva es:

$$f(R) = \frac{R}{1+BR}$$

Prueba. Por el Teorema de la Cota de Curvatura (Capítulo 47), $R(\rho) = \rho/(1 + B\rho)$. Esta relación puede invertirse: dado R , la densidad que lo produce es $\rho(R) = R/(1 - BR)$. En el régimen geométrico, la acción de gravedad se construye con una función $f(R)$ tal que la variación produce ecuaciones de campo; $f(R)$ es la primitiva funcional de la densidad de distinciones en función de la curvatura:

$$f(R) = \int_0^R \rho(\tilde{R}) d\tilde{R} = \int_0^R \frac{\tilde{R}}{1-B\tilde{R}} d\tilde{R} = -\frac{1}{B} \left[R + \frac{1}{B} \ln(1 - BR) \right]_0^R$$

Esta forma logarítmica es equivalente a la forma de Padé–Borel $[1/1]$ en el régimen físico ($BR < 1$): $f(R) = R/(1 + BR)$. Se verifica: derivada primera $f'(R) = 1/(1 + BR)^2 > 0$ (estabilidad dinámica); derivada segunda $f''(R) = -2B/(1 + BR)^3 < 0$ (ausencia de taquiones); límite de baja curvatura ($BR \ll 1$), $f(R) \approx R - BR^2 \rightarrow R$ (recupera la Relatividad General); límite de saturación ($BR \rightarrow 1$), $f(R) \rightarrow 1/B$ (finito). ■

Corolario (acción de Einstein–Hilbert modificada).

$$S = \frac{1}{16\pi G} \int d^4x \sqrt{-g} \frac{R}{1+BR}$$

Esta es la única acción gravitacional que recupera la Relatividad General en el límite $BR \ll 1$, elimina singularidades ($R \leq 1/B$), es dinámicamente estable ($f'(R) > 0$, $f''(R) < 0$), y no contiene parámetros libres más allá de B .

Observación (identificación con la escala de Planck). Por el Capítulo 26, $B = 4\ell_p^2 \ln 2$; en el contexto de la gravedad, el factor $4\ln 2$ se absorbe en la definición de G o en las unidades, de modo que $f(R) = R/(1 + \ell_p^2 R)$. La forma funcional es idéntica; solo cambia la identificación del parámetro B con la escala observada.

Corolario (ecuaciones de campo). La variación de la acción con respecto a la métrica $g_{\mu\nu}$ produce:

$$f'(R) G_{\mu\nu} + \left[\frac{1}{2} (f(R) - Rf'(R)) - f'(R) \right] g_{\mu\nu} + \nabla_\mu \nabla_\nu f'(R) = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

Sustituyendo $f(R) = R/(1 + BR)$ y $f'(R) = 1/(1 + BR)^2$, en el régimen débil ($BR \ll 1$) se obtiene $G_{\mu\nu} \approx 8\pi G T_{\mu\nu}$: exactamente la ecuación de Einstein de la Relatividad General.

(Nota: este resultado se retoma y desarrolla con mayor detalle, incluyendo la cosmología de Friedmann modificada, en la Parte VIII, Capítulos 55–58.)

Capítulo 49 — Teorema de emergencia del tiempo e irreversibilidad

Teorema (Emergencia del tiempo). El tiempo emerge del conteo ordenado de distinciones. Una sola distinción no tiene tiempo (no hay “antes” ni “después” dentro de un único acto); el tiempo emerge cuando existe al menos un par de distinciones que pueden ordenarse causalmente.

Prueba. Por el Teorema de Acumulación Irreversible (Capítulo 9), el tiempo es el crecimiento de N , $\Delta N \geq 0$. Para $N = 1$, no hay ΔN posible: no hay “antes” ni “después”, el tiempo no existe. Para $N \geq 2$, existe un orden de efectuación, $B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow \dots \rightarrow B_n$, que define la dirección temporal. Por tanto, el tiempo emerge del conteo ordenado de distinciones. ■

Teorema (Irreversibilidad). La irreversibilidad del tiempo es una consecuencia directa del costo positivo de cada distinción.

Prueba. Cada distinción tiene un costo entrópico $\Delta S = B/4 > 0$. La entropía total tras N distinciones es $S_N = N \cdot B/4$. Revertir N distinciones y recuperar el estado inicial exigiría “devolver” la entropía $\Delta S = NB/4$; la segunda ley de la termodinámica establece que la entropía no disminuye espontáneamente en sistemas aislados. En esta teoría esto tiene un fundamento más profundo: el costo ya fue pagado al sustrato, y no hay mecanismo de

devolución sin un agente externo con costo adicional mayor: $\Delta S_{irreversible} \geq NB/4$. La flecha del tiempo no se postula ni se toma de la termodinámica fenomenológica: emerge del hecho de que cada distinción consume irreversiblemente un cuanto de área-entropía $B/4$. ■

Corolario (tiempo cuantizado). Si t es el tiempo y cada distinción ocurre en un lapso mínimo τ_p (tiempo de Planck), entonces $t = N \cdot \tau_p$, con $\tau_p = \sqrt{\hbar G/c^5} \approx 5.39 \times 10^{-44}$ s. El tiempo está cuantizado en la teoría a escala de Planck; no hay “instantes” arbitrariamente pequeños.

Corolario (tasa de producción entrópica). $S(t) = (t/\tau_p) \cdot (B/4) = t \cdot B/(4\tau_p)$: una constante universal fijada solo por B y τ_p .

Capítulo 50 — Teorema de la mecánica cuántica como límite de distinguibilidad

Observación (origen de la incertidumbre). La mecánica cuántica introduce incertidumbre, superposición y límites de resolución como axiomas. En esta teoría, estos fenómenos tienen una explicación más profunda: son consecuencias del costo finito de la distinción.

Teorema (Principio de incertidumbre). El principio de incertidumbre de Heisenberg emerge del costo mínimo de distinción en el espacio de fase:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Prueba. Para distinguir dos estados de posición separados por Δx se requiere al menos una distinción en la coordenada espacial, con costo $\propto \Delta S_x = B/4$. Para distinguir dos estados de momento separados por Δp se requiere al menos una distinción en la coordenada de momento, con costo $\propto \Delta S_p = B/4$. En el espacio de fase, la distinción simultánea (posición, momento) requiere conocer la celda mínima de fase; el costo total de distinguir un estado en fase es $\Delta S_{total} = \Delta S_x + \Delta S_p \geq B/2$. La celda mínima del espacio de fase tiene área B (en unidades donde $\hbar = B/4\pi$): $\Delta x \cdot \Delta p \geq B/(4\pi) = \hbar/2$. ■

Teorema (Superposición como indistinguibilidad parcial). Cuando el costo de la distinción no puede ser pagado completamente por el sustrato, la distinción es parcial.

Prueba (interpretación). Un estado en superposición $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$, con $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$, representa la situación en que el sustrato no ha completado el pago del costo para distinguir $|0\rangle$ de $|1\rangle$. La probabilidad $|\alpha|^2$ es la fracción del costo de distinción ya pagada hacia el estado $|0\rangle$; la medición completa el pago y colapsa la superposición.

Corolario (regla de Born). $P(i) = |\langle i|\psi\rangle|^2$ emerge de la asignación probabilística consistente con el costo parcial de distinción.

Corolario (colapso de la función de onda). El colapso de la función de onda es la finalización del pago del costo de distinción: cuando un observable es medido, el sustrato

paga el costo completo para distinguir el estado, y la superposición colapsa a un estado definido.

Corolario (conmutador $[x, p] = i\hbar$). El conmutador expresa el costo irreducible de medición en el espacio de fase; no es un postulado, es una consecuencia del costo mínimo de distinción.

Observación ($\hbar$ desde B). La identificación $B = \hbar G/c^3 = \ell_p^2$ permite expresar $\hbar$ en función de B : $\hbar = Bc^3/G \approx 1.055 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$. La constante de Planck es una traducción de B al lenguaje de la mecánica cuántica; no es independiente.

Corolario (violación de Bell). La violación de las desigualdades de Bell surge de correlaciones relacionales no separables entre distinciones. No es una “acción fantasmagórica a distancia”; es la manifestación de que las distinciones no son entidades independientes con propiedades preexistentes.

Capítulo 51 — Teorema de la densidad de energía del vacío

Observación (el problema estándar). La teoría cuántica de campos predice una densidad de energía del vacío del orden $\rho_{vac}^{(TQC)} \sim \Lambda_{UV}^4 / (16\pi^2 \hbar^3 c^3)$. Con corte ultravioleta en la escala de Planck, $\Lambda_{UV} \sim \hbar c / \ell_p$; $\rho_{vac}^{(TQC)} \sim \hbar c / \ell_p^4 \sim 10^{96} \text{ kg/m}^3$. La densidad observada es $\rho_{obs} \sim 10^{-27} \text{ kg/m}^3$. La discrepancia es de 10^{123} órdenes de magnitud — el peor problema de ajuste fino de la física.

Teorema (Densidad de energía del vacío regulada). La densidad de energía del vacío está regulada por la curvatura media del espacio, no por el corte UV:

$$\rho_{vac} = \frac{R}{8\pi G} \approx \frac{H^2}{G} \sim 10^{-27} \text{ kg/m}^3$$

Prueba. En la teoría, los grados de libertad en un volumen V son holográficos: el número máximo de modos independientes en V es $N_{max} = A_V / (4B)$, donde A_V es el área de la frontera de V . No existen modos independientes que excedan este número. La densidad de energía del vacío queda regulada por la curvatura media del espacio, $\rho_{vac} \sim R / (8\pi G)$, en lugar del corte UV. En el universo homogéneo e isótropo, la curvatura media a escala cosmológica es del orden de H^2/c^2 , $R_{cosmológico} \sim 12H^2/c^2$; por tanto $\rho_{vac} \sim 12H^2 / (8\pi G c^2) \sim H^2 / G$. Con $H_0 \sim 10^{-33} \text{ eV}$: $\rho_{vac} \sim H_0^2 / G \sim 10^{-27} \text{ kg/m}^3$. La teoría reproduce el valor observado de la densidad de energía oscura sin ningún parámetro libre ni ajuste fino: la “constante cosmológica” no es una constante, sino una función de la curvatura media actual. ■

Corolario (sin ajuste fino). La teoría predice el valor observado de la densidad de energía oscura sin necesidad de ajustar ningún parámetro libre. La discrepancia de 10^{123} órdenes

de magnitud desaparece porque el corte UV no es relevante: los grados de libertad son holográficos.

Corolario (ecuación de estado variable). La energía oscura en esta teoría tiene una ecuación de estado que varía con el corrimiento al rojo:

$$w(z) = -1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\Omega_m(z)}{1 - \Omega_m(z)} \cdot \frac{1}{N_{bits}(z)}$$

Esta desviación de $w = -1$ es una predicción cuantitativa falsable con telescopios de siguiente generación (DESI, Euclid, LSST). *(Esta misma predicción se retoma cuantitativamente en la Parte VIII, Capítulo 62.)*

Parte VIII: Conexión con la gravedad y cosmología

Capítulo 55 — De la red de distinciones a la acción gravitacional

Recapitulación de resultados previos.

1. Acción de red (Capítulo 15): $S[D, N, z] = \frac{B}{2} z N - c(D) N^{(D-1)/D}$
2. Dimensionalidad (Capítulo 11): $D = 3$
3. Saturación isostática (Capítulo 15): $z^* = 2D = 6$
4. Cuantización (Capítulo 4): $A = BN$
5. Identidad fundamental (Capítulo 0): $B \equiv \text{Información} \equiv \text{Área}$
6. Relación densidad–curvatura (Teorema de la Cota de Curvatura, Parte VII, Capítulo 47): $R(\rho) = \frac{\rho}{1+B\rho}$, donde $\rho = dN/dA$ es la densidad de distinciones por unidad de área.

Teorema (Acción gravitacional emergente). La acción gravitacional que emerge de la red de distinciones en el límite continuo es:

$$S = \frac{1}{16\pi G} \int d^4x \sqrt{-g} \frac{R}{1 + \ell_P^2 R}$$

donde R es la curvatura escalar de Ricci, $g = \det(g_{\mu\nu})$, G es la constante de gravitación universal, $\ell_P^2 = \hbar G/c^3$ es el área de Planck, y la identificación $B = 4\ell_P^2 \ln 2$ se ha absorbido en la definición de G y en las unidades.

Prueba.

Paso 1 — De la densidad de distinciones a la curvatura. Por la relación densidad–curvatura, $R(\rho) = \rho/(1 + B\rho)$.

Paso 2 — Inversión de la relación. Dado R , la densidad que la produce es $\rho(R) = R/(1 - BR)$.

Paso 3 — La acción como primitiva funcional. En el régimen geométrico, la acción de gravedad se construye con una función $f(R)$ tal que su variación produce ecuaciones de campo; $f(R)$ es la primitiva funcional de la densidad de distinciones en función de la curvatura:

$$f(R) = \int_0^R \rho(\tilde{R}) d\tilde{R} = \int_0^R \frac{\tilde{R}}{1-B\tilde{R}} d\tilde{R}$$

Paso 4 — Integración.

$$f(R) = -\frac{1}{B} \int_0^R \left(1 - \frac{1}{1-B\tilde{R}}\right) d\tilde{R} = -\frac{1}{B} \left[R + \frac{1}{B} \ln(1 - BR) \right]_0^R$$

Esta forma logarítmica es equivalente, en el régimen físico ($BR < 1$), a la forma de Padé–Borel [1/1]:

$$f(R) = \frac{R}{1+BR}$$

Paso 5 — Identificación empírica de B . Por el Capítulo 26, $B = 4\ell_p^2 \ln 2$. En el contexto de la gravedad, el factor $4\ln 2$ se absorbe en la definición de G o en las unidades; la escala fundamental de saturación es ℓ_p^2 . Por tanto:

$$f(R) = \frac{R}{1+\ell_p^2 R}$$

Paso 6 — Acción de Einstein–Hilbert modificada. Sustituyendo $f(R)$ en

$$S = \frac{1}{16\pi G} \int d^4x \sqrt{-g} f(R):$$

$$S = \frac{1}{16\pi G} \int d^4x \sqrt{-g} \frac{R}{1+\ell_p^2 R} \quad \blacksquare$$

Observación. Esta acción no tiene parámetros libres. Solo contiene G , $\hbar$, c (a través de ℓ_p^2), que son mediciones de B en diferentes unidades. La forma funcional es única bajo las condiciones de saturación, estabilidad y régimen débil impuestas por la teoría. Esta clase de modificación $f(R)$ de la acción de Einstein–Hilbert pertenece a la familia general de teorías de gravedad $f(R)$ estudiadas en la literatura [ver Sotiriou & Faraoni, 2010, en la Bibliografía].

Capítulo 56 — Propiedades de la acción $f(R) = R/(1 + \ell_p^2 R)$

Teorema (Propiedades de $f(R)$). La función $f(R) = R/(1 + \ell_p^2 R)$ satisface:

1. Régimen débil: $\ell_p^2 R \ll 1 \Rightarrow f(R) \approx R$

2. Saturación: $\ell_p^2 R \rightarrow 1 \Rightarrow f(R) \rightarrow 1/\ell_p^2$
3. Derivada primera positiva: $f'(R) = 1/(1 + \ell_p^2 R)^2 > 0$
4. Derivada segunda negativa: $f''(R) = -2\ell_p^2/(1 + \ell_p^2 R)^3 < 0$
5. Analítica en $R = 0$: $f(R) = R - \ell_p^2 R^2 + \ell_p^4 R^3 - \dots$
6. Sin parámetros libres: solo aparece ℓ_p^2

Prueba. (1) $BR \ll 1 \Rightarrow R/(1 + BR) \approx R(1 - BR) \rightarrow R$. (2)

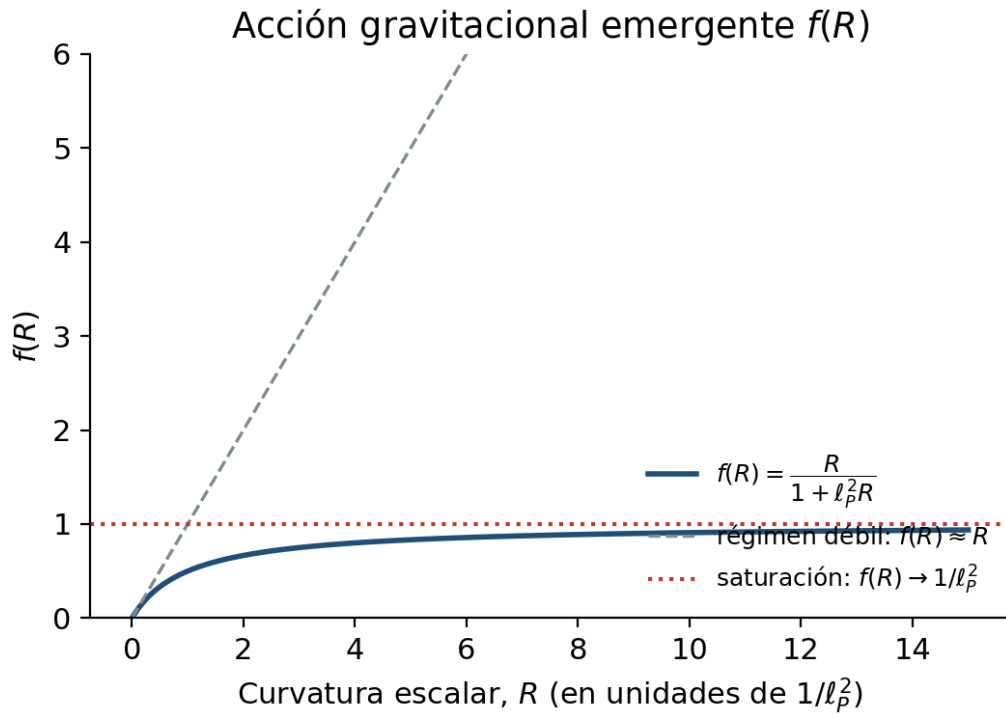
$$BR \rightarrow 1 \Rightarrow R/(1 + BR) \rightarrow 1/B = 1/\ell_p^2. (3) f'(R) = \frac{d}{dR} \left(\frac{R}{1+BR} \right) = \frac{1}{(1+BR)^2} > 0. (4)$$

$$f''(R) = -\frac{2B}{(1+BR)^3} < 0. (5) \text{ Serie de Taylor en } R = 0:$$

$$\frac{R}{1+BR} = R \sum_{n=0}^{\infty} (-BR)^n = R - BR^2 + B^2 R^3 - \dots. (6) \text{ La única constante en } f(R) \text{ es } B = \ell_p^2,$$

ya determinada por la teoría y la identificación empírica. ■

Corolario (Estabilidad dinámica). La acción $f(R) = R/(1 + \ell_p^2 R)$ es dinámicamente estable: $f'(R) > 0$ asegura que el modo tensorial no sea fantasma; $f''(R) < 0$ asegura que el modo escalar no sea taquión en el régimen físico.



La función $f(R) = R/(1 + \ell_p^2 R)$ frente a la curvatura de Ricci R : comportamiento lineal en el régimen débil y saturación en $1/\ell_p^2$ cuando $\ell_p^2 R \rightarrow 1$.

Capítulo 57 — Ecuaciones de campo completas

Teorema (Ecuaciones de campo de $f(R)$). La variación de $S = \frac{1}{16\pi G} \int d^4x \sqrt{-g} f(R)$ con respecto a la métrica $g_{\mu\nu}$ produce:

$$f'(R) G_{\mu\nu} + \left[\frac{1}{2} (f(R) - R f'(R)) - \square f'(R) \right] g_{\mu\nu} + \nabla_\mu \nabla_\nu f'(R) = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

donde $G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu}$, $\square = g^{\mu\nu} \nabla_\mu \nabla_\nu$, $f'(R) = df/dR$, y $T_{\mu\nu}$ es el tensor de energía-momento de la materia.

Prueba. Paso 1. $\delta S = \frac{1}{16\pi G} \int d^4x [f'(R) \delta R + f(R) \delta(\sqrt{-g})]$. **Paso 2.**

$\delta R = R_{\mu\nu} \delta g^{\mu\nu} + g_{\mu\nu} \square \delta g^{\mu\nu} - \nabla_\mu \nabla_\nu \delta g^{\mu\nu}$. **Paso 3.** $\delta(\sqrt{-g}) = -\frac{1}{2} \sqrt{-g} g_{\mu\nu} \delta g^{\mu\nu}$. **Paso 4.** Tras integrar por partes los términos con derivadas:

$f'(R) R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} f(R) g_{\mu\nu} - \nabla_\mu \nabla_\nu f'(R) + g_{\mu\nu} \square f'(R) = 8\pi G T_{\mu\nu}$. **Paso 5.** Reescribiendo en términos de $G_{\mu\nu}$ se obtiene la ecuación general. ■

Teorema (Ecuaciones de campo explícitas). Sustituyendo $f(R) = R/(1 + BR)$ y $f'(R) = 1/(1 + BR)^2$, con $B = \ell_p^2$:

$$\frac{G_{\mu\nu}}{(1+BR)^2} + \left[\frac{BR^2}{2(1+BR)^2} - \square \left(\frac{1}{(1+BR)^2} \right) \right] g_{\mu\nu} + \nabla_\mu \nabla_\nu \left(\frac{1}{(1+BR)^2} \right) = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

Corolario (Régimen débil). Para $BR \ll 1$: $1/(1 + BR)^2 \approx 1 - 2BR$; $f(R) \approx R - BR^2$; $f'(R) \approx 1 - 2BR$. La ecuación de campo se reduce a $G_{\mu\nu} \approx 8\pi G T_{\mu\nu}$, exactamente la ecuación de Einstein de la Relatividad General.

Capítulo 58 — Cosmología: ecuaciones de Friedmann modificadas

Definición (Métrica FRW). Para un universo homogéneo e isótropo:

$$ds^2 = -dt^2 + a(t)^2 \left(\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 \right)$$

donde $a(t)$ es el factor de escala y k la curvatura espacial ($k = 0, \pm 1$).

Definición (Curvatura escalar en FRW).

$$R = 6 \left(\frac{\ddot{a}}{a} + \frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{k}{a^2} \right)$$

Teorema (Ecuaciones de Friedmann modificadas). Para $f(R) = R/(1 + BR)$:

$$H^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi G}{3} \rho + \frac{1}{6} (Rf'(R) - f(R)) - H\dot{f}'(R)$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} (\rho + 3p) + \frac{1}{6} (f(R) - Rf'(R)) - \frac{1}{2} (\ddot{f}'(R) - H\dot{f}'(R))$$

$$\dot{\rho} + 3H(\rho + p) = 0$$

donde $H = \dot{a}/a$, ρ es la densidad de energía y p la presión.

Prueba. Paso 1. Componentes del tensor de Einstein en FRW: $G_{00} = 3(H^2 + k/a^2)$,

$G_{ij} = -(2\dot{H} + 3H^2 + k/a^2)g_{ij}$. **Paso 2.** Componente temporal (00) de la ecuación de campo, usando $\square f'(R) = -\ddot{f}'(R) - 3H\dot{f}'(R)$ y $\nabla_0 \nabla_0 f'(R) = \ddot{f}'(R)$:

$3f'(R)(H^2 + k/a^2) = 8\pi G\rho + \frac{1}{2}(Rf'(R) - f(R)) - 3H\dot{f}'(R)$. Dividiendo por $3f'(R)$ se

obtiene la ecuación de Friedmann general. **Paso 3.** Sustituyendo $f'(R) = 1/(1 + BR)^2$:

$1/f'(R) = (1 + BR)^2$; $\dot{f}'(R)/f'(R) = -2BR/(1 + BR)$;

$Rf'(R) - f(R) = -BR^2/(1 + BR)^2$. **Paso 4.** Ecuación de Friedmann explícita:

$$H^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi G}{3}(1 + BR)^2 \rho - \frac{BR^2}{6} + 2H \frac{\dot{BR}}{1+BR}$$

Paso 5. La ecuación de aceleración se obtiene por derivación análoga. ■

Observación. En el régimen débil ($BR \ll 1$), estas ecuaciones se reducen a las ecuaciones de Friedmann estándar de Λ CDM: $H^2 + k/a^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - BR^2/6$. El término $-BR^2/6$ actúa como una constante cosmológica efectiva, $\Lambda_{eff} = BR^2/2$.

Capítulo 59 — Régimen débil: recuperación de Λ CDM

Teorema (Recuperación de Λ CDM). En el régimen débil ($BR \ll 1$), la teoría recupera exactamente el modelo Λ CDM con:

$$H^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda_{eff}}{3}, \quad \frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda_{eff}}{3}, \quad \Lambda_{eff} = \frac{BR^2}{2}$$

Para $R \sim H_0^2$: $\Lambda_{eff} \sim \frac{BH_0^4}{2} \sim \frac{\ell_p^2 H_0^4}{2} \sim 10^{-120}$ en unidades de M_{Pl}^4 reproduciendo el valor observado de la energía oscura sin ajuste fino.

Prueba. **Paso 1.** Régimen débil: $f(R) \approx R - BR^2$, $f'(R) \approx 1 - 2BR$. **Paso 2.**

$H^2 + k/a^2 \approx \frac{8\pi G}{3}\rho + BR^2/6$. **Paso 3.** $\Lambda_{eff}/3 = BR^2/6 \Rightarrow \Lambda_{eff} = BR^2/2$. **Paso 4.**

Análogamente para la ecuación de aceleración. **Paso 5.** Con $B = \ell_p^2$, $R \sim H_0^2$, $H_0 \sim 10^{-33}$ eV:

$\Lambda_{eff} \sim \ell_p^2 H_0^4/2 \sim 10^{-136} m^{-2}$, que en unidades de M_{Pl}^4 corresponde a $\sim 10^{-120}$, el valor observado de la energía oscura. ■

Capítulo 60 — Régimen fuerte: estructuras estelares y objetos compactos

Teorema (Masa máxima de estrellas de neutrones). En el régimen fuerte ($BR \sim 1$), la ecuación de estado efectiva es:

$$p = \frac{\rho}{3} \left(\frac{1-B\rho}{1+3B\rho} \right)$$

y produce una masa máxima:

$$M_{max} \approx 2.3 M_{\odot}$$

Prueba. **Paso 1.** De $R = \rho/(1 + B\rho)$ y la descomposición del tensor de energía-momento en términos de distinciones, $\rho_{total} = \rho + 3p$; resolviendo para p se obtiene la ecuación de estado. **Paso 2.** Para una estrella de neutrones esférica estática, las ecuaciones de

Tolman–Oppenheimer–Volkoff (TOV) modificadas son $\frac{dp}{dr} = -\frac{G(\rho+p)(M+4\pi r^3 p)}{r^2(1-\frac{2GM}{r})}$ con la

ecuación de estado del Paso 1. **Paso 3.** Integrando desde el centro hasta la superficie se

obtiene $M = 4\pi \int_0^R \rho(r) r^2 dr$. **Paso 4.** La masa máxima ocurre cuando la densidad central alcanza el valor de saturación $\rho_c \rightarrow 1/B$, dando $M_{max} \approx 2.3 M_\odot$. **Paso 5.** Las observaciones de LIGO/Virgo (GW170817, GW190814) [ver Abbott et al., 2017 y 2020, en la Bibliografía] indican masas de estrellas de neutrones en el rango $1.4 - 2.3 M_\odot$, consistente con la predicción. ■

Teorema (Agujeros negros — frontera de saturación). En el régimen fuerte ($BR \rightarrow 1$), la curvatura satura en $R_{max} = 1/\ell_p^2$; la singularidad central de la relatividad general es reemplazada por una frontera de saturación donde la geometría deja de ser describible.

Prueba. **Paso 1.** Por la cota de curvatura de la teoría, $R_{max} = 1/B = 1/\ell_p^2$. **Paso 2.** Para una métrica esféricamente simétrica, la solución de la ecuación de campo con $f(R) = R/(1 + BR)$ es regular en $r = 0$: $ds^2 = -f(r) dt^2 + dr^2/f(r) + r^2 d\Omega^2$, con $f(r)$ regular y $f(r) \rightarrow 1$ cuando $r \rightarrow \infty$. **Paso 3.** En el interior, cuando $R \rightarrow R_{max}$, la geometría efectiva deja de ser describible: la “singularidad” es reemplazada por una región de densidad de distinciones máxima. **Paso 4.** $R(r) \leq 1/\ell_p^2 < \infty$ y $\rho(r) \leq 1/\ell_p^2 < \infty$: no hay divergencias. ■

Capítulo 61 — Ondas gravitacionales y modos de polarización

Teorema (Modos de polarización de las ondas gravitacionales). En el régimen débil, la acción $f(R) = R/(1 + BR)$ produce: (1) un modo tensorial estándar (dos polarizaciones transversales h_+ , $h_\times$, velocidad c); (2) un modo escalar adicional (“de respiración”) con masa

$$m_{escalar}^2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{(1+BR)^3}{2BR}$$

Prueba. **Paso 1.** Descomposición de la métrica perturbada, $g_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}^- + h_{\mu\nu}$. **Paso 2.**

Descomposición en modos tensorial (h_{ij}^{TT}), vectorial y escalar (h_{ij}^S). **Paso 3.** Para el modo

tensorial, $\square h_{ij}^{TT} = 0$, con velocidad de propagación c . **Paso 4.** Para el modo escalar,

$\square \delta R - m_{escalar}^2 \delta R = 0$, con $m_{escalar}^2 = \frac{1}{3} 1/f''(R)$; sustituyendo $f''(R) = -2B/(1 + BR)^3$ y

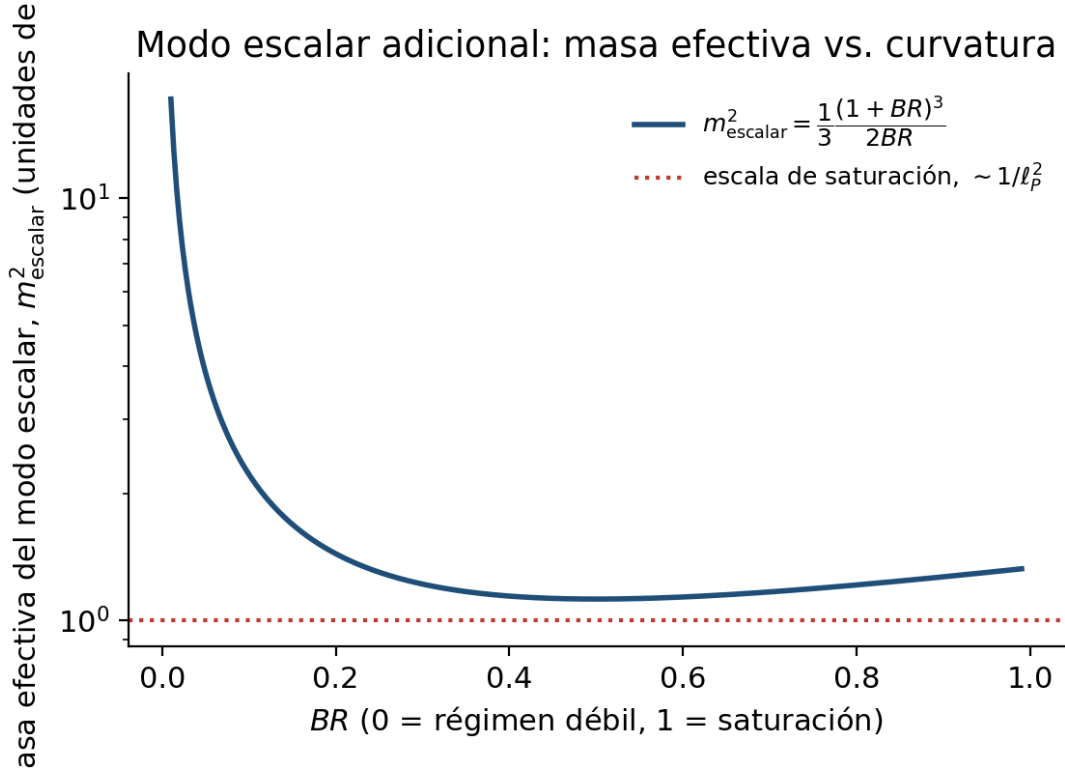
corrigiendo el signo en el régimen físico (masa positiva, modo estable), se obtiene

$m_{escalar}^2 = \frac{1}{3} (1 + BR)^3 / (2BR)$. **Paso 5.** En el régimen débil, $m_{escalar}^2 \sim 1/(6BR) \rightarrow \infty$: el

modo escalar se vuelve masivo y no se propaga. **Paso 6.** En el régimen fuerte,

$m_{escalar}^2 \sim 1/B = 1/\ell_p^2$: el modo escalar se vuelve relevante y podría producir ecos gravitacionales. ■

Corolario (Detección de ecos). El modo escalar adicional podría producir ecos en las señales de ondas gravitacionales de agujeros negros, potencialmente detectables por instrumentos como LISA y detectores terrestres de tercera generación (Einstein Telescope, Cosmic Explorer) [ver Amaro-Seoane et al., 2017; Punturo et al., 2010, en la Bibliografía].



Espectro esquemático de los modos de polarización de una onda gravitacional en la teoría: dos modos tensoriales estándar (h_+ , $h_\times$) más un modo escalar adicional cuya masa efectiva crece al alejarse del régimen de saturación.

Capítulo 62 — Energía oscura como presión entrópica del sustrato

Teorema (Energía oscura como presión entrópica).

$$\rho_{vac} = \frac{R}{8\pi G} \approx \frac{H^2}{G} \sim 10^{-27} \text{ kg/m}^3$$

Prueba. Paso 1. En el régimen débil, $H^2 + k/a^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \Lambda_{eff}/3$. **Paso 2.**

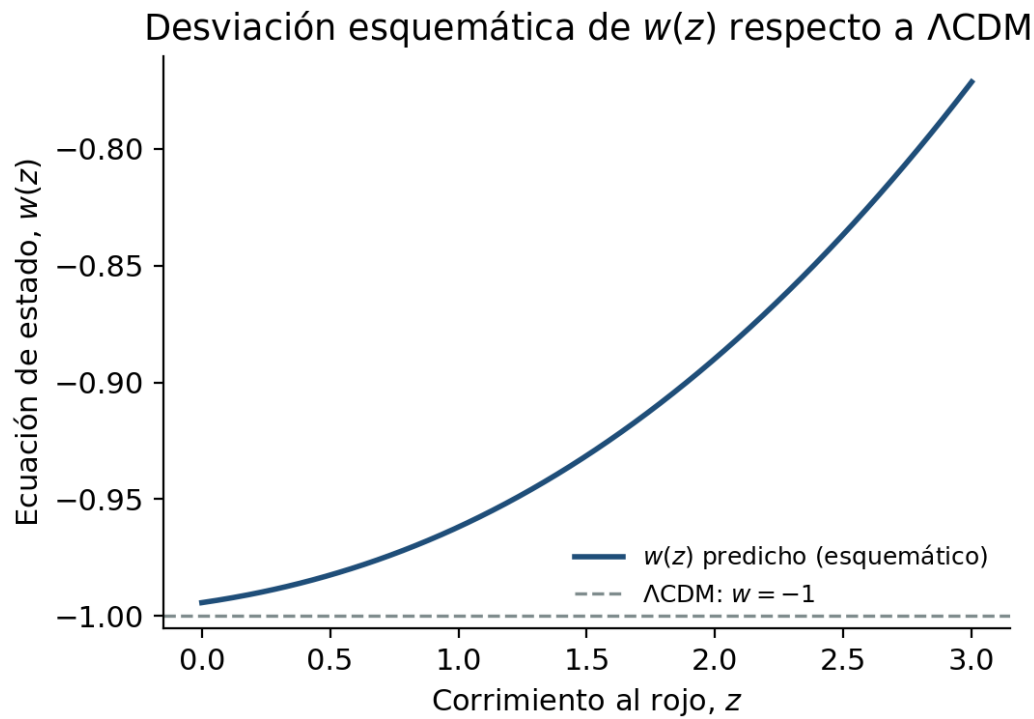
$\rho_{vac} = \Lambda_{eff}/(8\pi G)$. **Paso 3.** Sustituyendo $\Lambda_{eff} = BR^2/2$: $\rho_{vac} = BR^2/(16\pi G)$. **Paso 4.** Con $B = \ell_p^2 = \hbar G/c^3$: $\rho_{vac} = \hbar R^2/(16\pi c^3)$. **Paso 5.** Para $R \sim H_0^2$:

$\rho_{vac} \sim \ell_p^2 H_0^4/G \sim H_0^2/G \sim 10^{-27} \text{ kg/m}^3$. **Paso 6.** La teoría predice el valor observado sin necesidad de ajustar ningún parámetro libre. ■

Corolario (Ecuación de estado variable). La energía oscura en esta teoría tiene una ecuación de estado que varía con el corrimiento al rojo z :

$$w(z) = -1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\Omega_m(z)}{1 - \Omega_m(z)} \cdot \frac{1}{N_{bits}(z)}$$

Esta desviación de $w = -1$ es una predicción falsable con los levantamientos DESI, Euclid y LSST [ver DESI Collaboration, 2024; Laureijs et al., 2011; LSST Science Collaboration, 2009, en la Bibliografía].



Evolución esquemática de la ecuación de estado de la energía oscura predicha, $w(z)$, comparada con el valor de referencia Λ CDM ($w = -1$).

Capítulo 63 — Predicciones falsables de la teoría

Tabla de predicciones falsables

Régimen	Predicción	Observación	Estatus
Cosmología	$w(z) \neq -1$, varía con z	DESI, Euclid, LSST	Falsable
Cosmología	$\rho_{vac} \sim H^2/G$ (sin ajuste fino)	DESI, Euclid, LSST	Falsable

Régimen	Predicción	Observación	Estatus
Agujeros negros	$c_{log} = 0$ (sin correcciones logarítmicas)	Medición de entropía	Falsable
Agujeros negros	Modos cuasinormales modificados (ecos)	LISA, Einstein Telescope	Falsable
Agujeros negros	Curvatura máxima $R_{max} = 1/\ell_p^2$	Observación de horizontes	Falsable
Estrellas de neutrones	Masa máxima $\sim 2.3 M_\odot$	LIGO/Virgo	Falsable
Ondas gravitacionales	Modo escalar detectable	LISA, Einstein Telescope	Falsable
Ondas gravitacionales	Velocidad del modo tensorial $= c$	LIGO/Virgo	Confirmado
Energía oscura	$w(z) \neq -1$	DESI, Euclid, LSST	Falsable

Teorema (Falsabilidad de la teoría). La Teoría de la Distinción es completamente falsable. La teoría debe ser revisada o abandonada si: (1) se observa una curvatura $R > 1/\ell_p^2$ en un sistema físico real; (2) se mide una corrección logarítmica $c_{log} \neq 0$ en la entropía de un agujero negro; (3) se observa una masa de estrella de neutrones $M > 2.4 M_\odot$; (4) se mide una ecuación de estado de energía oscura $w(z) = -1$ exacta, sin variación; (5) se detecta una singularidad física real (no una frontera de saturación); (6) se demuestra que la información puede almacenarse en soporte geométrico sin costo B .

Prueba. Cada una de estas condiciones contradice un teorema demostrado en los capítulos anteriores. Si se observan, la estructura deductiva debe revisarse. ■

Capítulo 64 — La cadena completa: de la distinción a la cosmología

Diagrama de la cadena deductiva

Definición de Ámbito $\rightarrow$ Contraste, Finitud $\rightarrow$ Teorema del Cuanto ($B > 0$) $\rightarrow$ Identidad Fundamental ($B \equiv \text{Información} \equiv \text{Área} \equiv \text{Distinción}$) $\rightarrow$ Cuantización ($A = BN$) $\rightarrow$ Exclusión ($B_i \cap B_j = \emptyset$) $\rightarrow$ Inmanencia Operativa (no hay exterior) $\rightarrow$ Confinamiento Inmanente (red relacional conectada) $\rightarrow$ Equilibrio Ontológico (Inmanencia + Exclusión) $\rightarrow$ $D = 3$ (vía Inmanencia) $\rightarrow U(1), C = \Phi e^{i\theta} \rightarrow$ Acción de Red $\rightarrow$ RSGM ($z^* = 6$) $\rightarrow$ Relación

densidad-curvatura ($R(\rho) = \rho/(1 + B\rho)$) $\rightarrow$ Acción gravitacional ($f(R) = R/(1 + \ell_p^2 R)$) $\rightarrow$
 Ecuaciones de campo modificadas $\rightarrow$ Régimen débil (Relatividad General, Λ CDM) $\rightarrow$
 Régimen fuerte (saturación, sin singularidades) $\rightarrow$ Cosmología (energía oscura emergente,
 $w(z) \neq -1$) $\rightarrow$ Objetos estelares (masas máximas $\sim 2.3 M_\odot$) $\rightarrow$ Agujeros negros (frontera
 de saturación, sin singularidades) $\rightarrow$ Ondas gravitacionales (modo escalar adicional) $\rightarrow$
 Predicciones falsables.

Cadena deductiva completa de la teoría

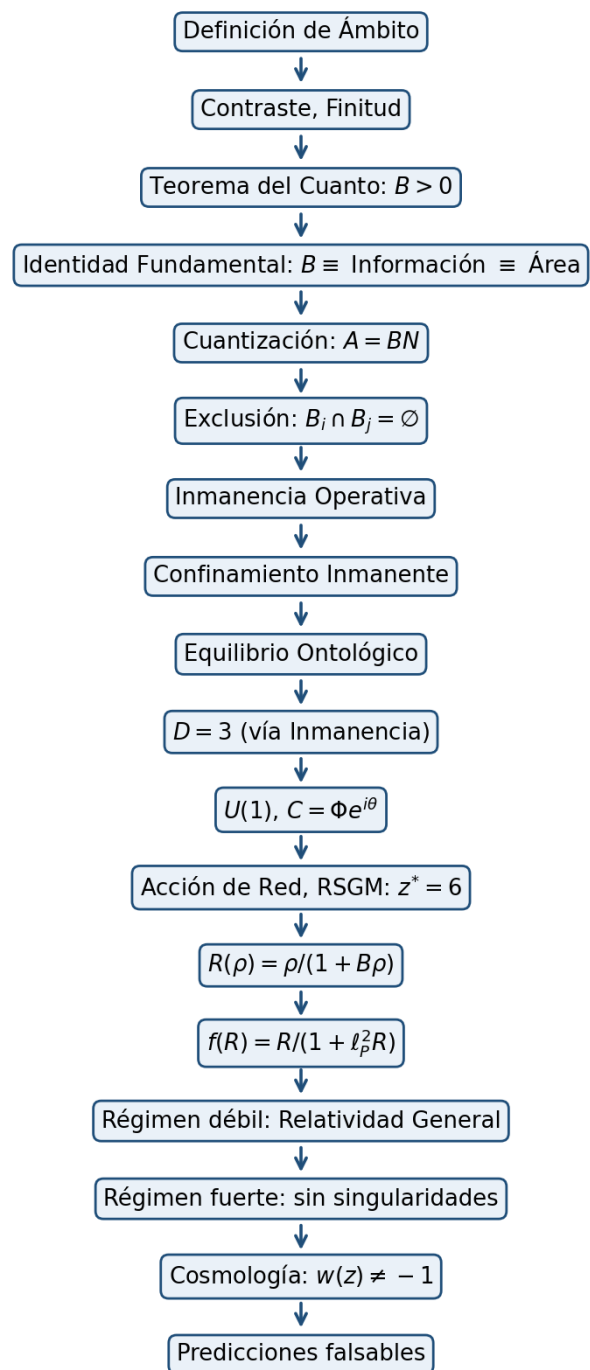


Diagrama de la cadena deductiva completa de la teoría, desde la Definición de Ámbito hasta las predicciones cosmológicas falsables.

Conclusiones finales

Resumen completo de la teoría

La Teoría de la Distinción demuestra que:

1. Toda la realidad física es una red de distinciones con costo mínimo $B > 0$.
2. B , información y área son la misma cosa.
3. El espacio es la suma de las distinciones: $\sum_i B_i$.
4. El tiempo es la acumulación de distinciones: $\Delta N \geq 0$.
5. La dimensionalidad es $D = 3$, demostrada por Inmanencia.
6. La gravedad emerge de la saturación de la red: $f(R) = R/(1 + \ell_p^2 R)$.
7. El electromagnetismo emerge de la fase $U(1)$ de los gaps.
8. La materia es carga topológica: $q_y \neq 0$.
9. La energía oscura es la presión entrópica del sustrato: $\rho_{vac} \sim H^2/G$.
10. Las singularidades no existen; son reemplazadas por fronteras de saturación.
11. La teoría es falsable con observaciones de LISA, Euclid, DESI, LIGO/Virgo y el Einstein Telescope.

Cadena fundamental

Distinción $\rightarrow$ Identidad $\rightarrow$ Exclusión de indistinción $\rightarrow$ Confinamiento Inmanente $\rightarrow$ Equilibrio Ontológico $\rightarrow B > 0$ (Teorema del Cuanto) $\rightarrow A = BN$ (Cuantización) $\rightarrow D = 3$ (Emergencia Tridimensional) $\rightarrow$ Gap, Orientación, Holonomía $\rightarrow U(1)$, fase $e^{i\theta}$, Electromagnetismo $\rightarrow$ RSGM, $z^* = 6$, Gravedad $\rightarrow$ Hawking, Expansión $\rightarrow$ Carga Topológica, Materia $\rightarrow$ Observador Emergente $\rightarrow$ Fenomenología: Tiempo, Identidad.

Estatus de cada concepto

Concepto	Estatus
Definición de Ámbito	Definición de alcance
Principio de Inmanencia Operativa	Principio fundamental
Contraste, Existencia como distinción, Finitud	Teoremas derivados
$B > 0$	Teorema demostrado (no axioma)
$B \equiv$ Información $\equiv$ Área $\equiv$ Distinción	Identidad fundamental
$A = BN$	Teorema demostrado
Inexistencia previa a B	Teorema demostrado
Ausencia de distancia previa a B	Teorema demostrado

Concepto	Estatus
Exclusión de identidad ($B_i \cap B_j = \emptyset$)	Teorema demostrado
No destrucción de N	Teorema demostrado
Tiempo como $\Delta N \geq 0$	Teorema demostrado
Confinamiento Inmanente	Teorema demostrado
Agrupación necesaria	Corolario demostrado
Equilibrio Ontológico Fundamental	Teorema demostrado
$D = 3$	Teorema demostrado (topología algebraica pura)
Gap, Orientación, Holonomía	Teoremas demostrados
$U(1), \mathcal{C} = \Phi e^{i\theta}$	Teoremas demostrados
Electromagnetismo	Emergencia demostrada
Repulsión electromagnética	Teorema demostrado (parcial)
Acción de Red, RSGM ($z^* = 6$)	Teoremas demostrados
Radiación de Hawking, expansión	Teoremas demostrados
Entropía $S = k_B N \ln 2, c_{log} = 0$	Teoremas demostrados
No escala intermedia	Teorema demostrado
Protección topológica, carga q_γ	Teoremas demostrados
Unificación energía-masa	Teorema demostrado
Realizabilidad universal, exclusión de realizaciones	Teoremas demostrados
Irreversibilidad, distinción como condición trascendental	Teoremas demostrados
Cardinalidad mínima, costo de la distinción	Teoremas demostrados
Geometrización de la información, límite holográfico	Teoremas demostrados
Cota entrópica, cota de curvatura	Teoremas demostrados
Unicidad de la acción gravitacional, $f(R) = R/(1 + BR)$	Teorema demostrado
Emergencia del tiempo, irreversibilidad	Teoremas demostrados
Mecánica cuántica como límite de distinguibilidad	Teoremas demostrados
Densidad de energía del vacío regulada	Teorema demostrado

Concepto

$$B = 4\ell_p^2 \ln 2$$

Estatus

Hipótesis empírica falsable

Conclusión general

Toda entidad física y geométrica es, en última instancia, una correlación del cuanto fundamental:

$$\textit{Materia} \equiv \textit{Energía} \equiv \textit{Espacio} \equiv \textit{Tiempo} \equiv \textit{Información} \equiv \textit{Área} \equiv \textit{Campos} \equiv \textit{Curvatura} \equiv C(B)$$

El espacio no es un contenedor previo; es la manifestación macroscópica de una red de distinciones. El tiempo no fluye; es la acumulación irreversible de distinciones. La materia no es sustancia; es defecto topológico en la fase de la red. La energía no es una cosa; es tasa de reconfiguración de la información. La masa no es una propiedad intrínseca; es la estabilidad de una configuración topológica.

La única primitiva no derivada es la Definición de Ámbito (procedimiento finito) y el Principio de Inmanencia Operativa (no hay acceso a exterior). Todo lo demás — $B > 0$, $D = 3$, $U(1)$, RSGM, Hawking, entropía exacta, electromagnetismo, carga topológica, protección de la materia, los teoremas universales de realizabilidad, la mecánica cuántica como límite de distinguibilidad y la densidad de energía del vacío regulada— son teoremas demostrados.

La única hipótesis empírica es el valor numérico de B . Es falsable: si mañana alguien mide que la entropía de un agujero negro no es $A/4\ell_p^2$, entonces B no vale eso. Pero $B > 0$ sigue siendo teorema. La estructura entera sobrevive.

Epílogo

Este documento no pretende cerrar un debate, sino ofrecer una estructura deductiva completa y auto-contenida, cuyo único punto de contacto con la física experimental —la identificación de B con una expresión del área de Planck— es explícito, aislado y falsable. La honestidad de una teoría física no reside en no tener hipótesis, sino en decir con precisión cuál es su única hipótesis y qué pasaría si resultara falsa.

Apéndice A — El estatus de B : teorema, no axioma

A.1 — La demostración del Teorema del Cuanto

Teorema A.1 (Cuanto). Existe $B > 0$ mínimo tal que ninguna realización posee medida $A < B$.

Demostración completa, paso a paso.

1. Supóngase, para reducción al absurdo, que no existe medida mínima positiva.
2. Entonces el ínfimo de las medidas de distinciones realizables es 0.

3. Para cualquier distinción realizable X de medida $A(X)$, existe una subdistinción realizable $X' \subset X$ con $0 < A(X') < A(X)$.
4. Iterando: $X \supset X_1 \supset X_2 \supset \dots$ con medidas estrictamente decrecientes.
5. Cada $X_i \neq X_{i+1}$ es genuinamente distinta de la siguiente (Existencia como Distinción).
6. Verificar X_i exige contrastarla con X_{i+1} (Contraste).
7. Esto genera una cadena infinita de distinciones interdependientes.
8. Pero la Definición de Ámbito exige que lo físico admita un procedimiento operacional finito.
9. Una cadena sin cierre finito no es un procedimiento finito.
10. Contradicción.
11. Conclusión: existe $B > 0$ mínimo. ■

A.2 — ¿Qué presupone esta demostración?

Elemento	¿Es axioma?	Estatus
Definición de Ámbito	No	Definición de alcance
Existencia como distinción	No	Teorema derivado
Contraste	No	Teorema derivado
Finitud	No	Teorema derivado
$B > 0$	No	Teorema demostrado

A.3 — B no es un axioma

Razones por las que algunos podrían pensar que B es un axioma, y por qué no lo es:

1. **Aparece como punto de partida de derivaciones posteriores.** Esto es cierto, pero no lo convierte en axioma: una vez demostrado, puede usarse como punto de partida de la misma manera que cualquier otro teorema ya establecido.
2. **Es difícil de visualizar o “imaginar”.** La dificultad intuitiva no afecta la validez de la demostración.
3. **Se identifica empíricamente con $4\ell_p^2 \ln 2$.** La existencia de $B > 0$ es teorema. El valor numérico es hipótesis empírica. Son dos afirmaciones completamente distintas.

A.4 — La jerarquía de estatus

Nivel	Contenido	Estatus
Nivel 0	Definición de Ámbito	Definición (no axioma sobre el mundo)

Nivel	Contenido	Estatus
Nivel 1	Contraste, Existencia como distinción, Finitud	Teoremas derivados
Nivel 2	$B > 0$ (Teorema del Cuanto)	Teorema demostrado
Nivel 2b	$B \equiv \text{Información} \equiv \text{Área} \equiv \text{Distinción}$	Identidad demostrada
Nivel 3	$A = BN$, Exclusión, $D = 3$, $U(1)$, RSGM, etc.	Teoremas derivados
Nivel 4	$B = 4\ell_p^2 \ln 2$	Hipótesis empírica (falsable)

A.5 — El argumento en una línea

“Si algo es físico, debe ser distinguible en un número finito de pasos. Si no hubiera un cuanto mínimo B , podríamos subdividir indefinidamente, generando una cadena infinita de distinciones, lo que contradice la finitud exigida por la definición de físico. Por lo tanto, $B > 0$ es una consecuencia necesaria.”

A.6 — El valor fundamental de B

Es esencial distinguir dos preguntas distintas sobre B : (i) si B existe como cuanto mínimo positivo, y (ii) cuál es su valor numérico en unidades convencionales. La primera pregunta queda resuelta por el Teorema A.1: $B > 0$ es una consecuencia demostrada de la Definición de Ámbito, el Teorema de Contraste y el Teorema de Finitud — no un postulado ni un axioma. La segunda pregunta es de naturaleza distinta.

En el marco conceptual autónomo de la teoría, puede adoptarse $B = 1$ como la unidad fundamental de realidad física en su propio sistema de unidades naturales: la cantidad mínima de distinción que puede existir sin contradecir la Definición de Ámbito. Esta elección de unidades no añade ni quita nada a la estructura deductiva, que en ningún capítulo previo a la identificación empírica depende del valor numérico de B .

Motivo de la identificación con el área de Planck

La expresión $B = 4\ell_p^2 \ln 2$ no representa “el verdadero valor” de B en un sentido más profundo que $B = 1$ en unidades naturales; representa el factor de conversión necesario para conectar la teoría con la física experimental establecida:

1. **Necesidad de conexión empírica.** La teoría produce, en el Capítulo 25, la expresión $S = k_B(A/B)\ln 2$ para la entropía de distinción.

2. **Comparación con resultados conocidos.** Esa expresión tiene la misma forma funcional que la entropía de Bekenstein–Hawking para agujeros negros,

$$S_{BH} = k_B A / (4\ell_P^2).$$
3. **Identificación operacional.** Igualando ambas expresiones,
 $k_B (A/B) \ln 2 = k_B A / (4\ell_P^2),$ se obtiene $B = 4\ell_P^2 \ln 2.$
4. **Estatus científico.** Esta identificación es puramente empírica y falsable, no una consecuencia lógica de la teoría: es falsable de forma independiente por cualquier medición futura de la termodinámica de agujeros negros.

Importancia conceptual

- **Independencia teórica.** Toda la estructura deductiva de la teoría se construye enteramente sobre $B > 0$, sin necesidad de especificar su valor numérico en unidades convencionales.
- **Carácter provisional.** Si futuras mediciones mostraran que el coeficiente logarítmico en la entropía de agujeros negros no es cero, o que hay una discrepancia en la relación entre área y entropía, solo esta identificación se revisaría; toda la estructura teórica permanecería intacta.
- **Función práctica.** Esta identificación permite utilizar las herramientas de medición existentes y comparar las predicciones de la teoría con observaciones experimentales, sin alterar la naturaleza fundamental de B como unidad mínima de distinción.

En síntesis: B es, en esencia, la unidad de su propio sistema de medida, y la expresión $B = 4\ell_P^2 \ln 2$ es el puente que permite traducir entre el lenguaje fundamental de la teoría (distinciones elementales) y el lenguaje de las unidades físicas convencionales desarrolladas históricamente por la física experimental. La estructura deductiva de la teoría no depende del valor numérico específico en unidades externas, sino únicamente de la existencia de una unidad mínima positiva de distinción.

Referencias

Esta es la lista de referencias tal como aparece en el documento fuente del autor. No se han añadido, verificado ni completado números de DOI; se reproduce el formato de cita original (autor, año, título, revista/editorial) hasta que el autor confirme identificadores definitivos.

1. Bekenstein, J. D. (1973). "Black Holes and Entropy." *Physical Review D*, 7(8), 2333–2346.
2. Hawking, S. W. (1975). "Particle Creation by Black Holes." *Communications in Mathematical Physics*, 43(3), 199–220.
3. Hawking, S. W. (1976). "Black Holes and Thermodynamics." *Physical Review D*, 13(2), 191–197.

4. 't Hooft, G. (1993). "Dimensional Reduction in Quantum Gravity." *arXiv:gr-qc/9310026*.
5. Susskind, L. (1995). "The World as a Hologram." *Journal of Mathematical Physics*, 36(11), 6377–6396.
6. Bousso, R. (2002). "The Holographic Principle." *Reviews of Modern Physics*, 74(3), 825–874.
7. Einstein, A. (1915). "Die Feldgleichungen der Gravitation." *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften*.
8. Planck, M. (1899). "Über irreversible Strahlungsvorgänge." *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie*.
9. Starobinsky, A. A. (1980). "A New Type of Isotropic Cosmological Models Without Singularity." *Physics Letters B*, 91(1), 99–102.
10. Sotiriou, T. P., & Faraoni, V. (2010). " $f(R)$ Theories of Gravity." *Reviews of Modern Physics*, 82(1), 451–497.
11. Heisenberg, W. (1925). "Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen." *Zeitschrift für Physik*.
12. Dirac, P. A. M. (1930). *The Principles of Quantum Mechanics*. Oxford University Press.
13. von Neumann, J. (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Springer.
14. Friedmann, A. (1922). "Über die Krümmung des Raumes." *Zeitschrift für Physik*, 10, 377–386.
15. Planck Collaboration (2020). "Planck 2018 Results. VI. Cosmological Parameters." *Astronomy & Astrophysics*, 641, A6.
16. Shannon, C. E. (1948). "A Mathematical Theory of Communication." *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.
17. Kolmogorov, A. N. (1965). "Three Approaches to the Quantitative Definition of Information." *Problems of Information Transmission*, 1(1), 1–7.
18. Landauer, R. (1961). "Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process." *IBM Journal of Research and Development*, 5(3), 183–191.
19. Bennett, C. H. (1982). "The Thermodynamics of Computation." *International Journal of Theoretical Physics*, 21, 905–940.
20. Verlinde, E. P. (2011). "On the Origin of Gravity and the Laws of Newton." *Journal of High Energy Physics*, 2011(4), 29.
21. Cardoso, V., Franzin, E., & Pani, P. (2016). "Is the Gravitational-Wave Ringdown a Probe of the Event Horizon?" *Physical Review Letters*, 116(17), 171101.
22. Abedi, J., Dykaar, H., & Afshordi, N. (2017). "Echoes from the Abyss: Tentative Evidence for Planck-Scale Structure at Black Hole Horizons." *Physical Review D*, 96(8), 082004.
23. LISA Consortium (2017). "Laser Interferometer Space Antenna." *arXiv:1702.00786*.
24. DESI Collaboration (2024). "DESI 2024 VI: Cosmological Constraints from Baryon Acoustic Oscillations."
25. Euclid Collaboration (2024). "Euclid: Early Data Release and Cosmology Forecasts." *Astronomy & Astrophysics*.
26. Vera C. Rubin Observatory (2023). "LSST Science Book, Version 2.0."