

El 95% del universo es geometría: Λ CDM como límite efectivo de un medio elástico

Manuel Alberto Celedón Mejía ORCID: [0009-0002-8090-2364](https://orcid.org/0009-0002-8090-2364)^{1*}

^{1*} Investigador independiente, Medellín, Colombia, Preprint: corpus PIU- Ψ V5.0, Zenodo [10.5281/zenodo.21205881](https://zenodo.org/record/105281).

Corresponding author(s). E-mail(s): contacto@piuniversal.com;

Abstract

El modelo Λ CDM describe la cosmología observada con seis parámetros y notable precisión, pero deja sin explicar el 95 % del contenido energético del universo: la materia oscura y la energía oscura entran como cantidades ajustadas a los datos cuya naturaleza no da cuenta. Este trabajo propone que ese silencio se resuelve al leer Λ CDM como el límite efectivo de una teoría del sustrato, y pone a prueba la propuesta en el sector cosmológico. La teoría es PIU- Ψ , que trata el vacío como un medio elástico real —el Pleno— descrito por un campo escalar complejo $\Psi = S e^{i\theta}$ y gobernado por un único Lagrangiano cuyos coeficientes son números puros de la geometría del medio, sin parámetros ajustados salvo una calibración de escala declarada. Del mismo medio derivan también la gravedad, la mecánica cuántica y las constantes de la naturaleza. La relación entre las dos descripciones es la de la mecánica estadística con la termodinámica: Λ CDM emerge como el límite lineal de la dinámica de fondo del Pleno, exacto en sus dos anclas observacionales —la época actual y el último scattering— y con desviaciones, en los bordes de ese límite, que dan cuenta de las tensiones vivas de la cosmología: en las de Hubble y DESI PIU deriva el signo de la desviación desde primeros principios, y en el crecimiento de estructura aporta un acoplamiento de momento entre materia y energía oscura cuyo efecto —supresión— va en la dirección observada. En el sector oscuro el contraste es máximo: la razón entre materia oscura y bariónica se deriva como $\sqrt{3}\pi$ desde la geometría de la red. Un script suplementario recomputa cada uno de estos números desde las definiciones estructurales del medio y confirma que ningún valor del cuerpo descansa en un ajuste oculto. Λ CDM no queda desplazado, sino fundamentado.

Keywords: cosmología, Λ CDM, gravedad emergente, sustrato elástico, tensión de Hubble, energía oscura, materia oscura, escala de Planck

1 Introducción

El modelo estándar de la física de partículas y el modelo Λ CDM de la cosmología son, entre ambos, extraordinariamente precisos y a la vez incompletos: contienen del orden de veinte constantes numéricas que no se predicen sino que se miden, se insertan a mano y se usan como entradas. En el lado cosmológico, la incompletitud es aún más marcada. Λ CDM ajusta un cuerpo enorme de observaciones —el fondo cósmico de microondas, las oscilaciones acústicas de bariones, las supernovas de tipo Ia, la estructura a gran escala— con solo seis parámetros, y lo hace con una economía y un alcance que lo sitúan entre las descripciones más exitosas de la física. Pero de las tres componentes que suman la densidad del universo, dos son de origen desconocido. La materia oscura ($\approx 27\%$) se añade porque las galaxias rotan y los cúmulos se mantienen ligados como si hubiera masa invisible; la energía oscura ($\approx 68\%$) se añade porque la expansión se acelera. Juntas constituyen el 95 % del contenido energético, cuantificado pero no explicado. Cualquier propuesta que aspire a contribuir al entendimiento del cosmos debe partir del reconocimiento de estos éxitos. La física establecida no está equivocada en los regímenes donde ha sido validada, y una teoría que aspire a ser más básica está obligada a recuperarla como límite efectivo en esos regímenes —de lo contrario contradiría la evidencia y quedaría refutada de inmediato. Recuperar la física conocida no es una concesión ni una redundancia: es un requisito de admisibilidad. Lo que un marco de fundamentos añade sobre ese requisito es una ontología subyacente desde la cual las descripciones efectivas emergen, y una explicación de por qué cada una funciona en su dominio. Este trabajo sostiene una tesis precisa sobre Λ CDM: **es el límite efectivo de PIU- Ψ** . Λ CDM se deriva desde los primeros principios de PIU como el régimen lineal de una dinámica más profunda; funciona con precisión porque ese límite es exacto en sus dos anclas observacionales —la época actual y el último scattering—, donde las correcciones no lineales se anulan; y falla, cuando falla, exactamente en los bordes de ese régimen, donde las tensiones observacionales que hoy ocupan a la cosmología [5] aparecen no como anomalías sin causa, sino como la firma esperada de una descripción efectiva usada más allá de su dominio de validez. Toda la tesis cabe, de hecho, en una sola ecuación de fondo (§7): la dinámica del medio colapsa a la ecuación de Friedmann de Λ CDM en el límite en que su cinética se apaga, y se aparta de ella —en forma de tensiones— exactamente donde ese límite se rompe. La fuerza de esta tesis descansa en un hecho sobre PIU: no es una teoría de la cosmología. Es un programa que deriva la física fundamental —la gravedad, la mecánica cuántica, el sector gauge del Modelo Estándar, las constantes de la naturaleza— desde un mismo medio y un mismo Lagrangiano, y para el que la cosmología, incluido el sector oscuro, es una de sus consecuencias. Las constantes de Newton y de Planck salen del mismo sustrato del que sale la energía oscura; las cargas eléctricas fraccionales de los quarks, del mismo del que sale la materia oscura. Esa amplitud es lo que da contenido literal a la relación con Λ CDM: no se propone un sustituto del sector oscuro, sino la teoría fundamental de la que Λ CDM entero es el límite macroscópico. La exposición sigue el arco de esa tesis en tres tramos. El primero fija el sustrato: el marco conceptual (§2) sitúa la relación como fundamentación, no como competencia; el medio y su Lagrangiano (§3) definen qué es PIU y qué deriva; la cosmología del medio (§4) establece las lecturas —sin expansión, el redshift como estiramiento, H_0 como la hora

de un reloj— que las tensiones necesitarán; y las componentes cosmológicas (§5) se identifican como modulaciones de ese medio. El segundo tramo establece la correspondencia: el principio que gobierna el mapeo (§6), el porqué del acierto de Λ CDM como límite lineal (§7), la comparación término por término de las dos descripciones (§8), y el porqué de su fallo en cuatro bordes (§9). El tercero profundiza y cierra: el sector oscuro como el ejemplo de mayor palanca (§10), la confrontación con las tensiones vivas y la declaración de los cabos (§11), y la conclusión (§12). Un script de verificación que recompone cada cantidad derivada desde las definiciones estructurales del medio, y confirma la consistencia numérica interna del cuerpo y la ausencia de ajuste oculto, acompaña el trabajo como material suplementario.

2 El marco: Λ CDM es a PIU como la termodinámica a la mecánica estadística

La relación entre Λ CDM y PIU tiene un precedente exacto en la historia de la física. La termodinámica se construyó en el siglo XIX desde observaciones macroscópicas —Carnot, Clausius, Kelvin— sin conocimiento de los átomos, y funcionaba: predecía el rendimiento de las máquinas, la dirección de los procesos, el comportamiento de los gases. Cuando Boltzmann y Gibbs desarrollaron la mecánica estadística, no refutaron la termodinámica. La derivaron: mostraron que sus leyes son el límite macroscópico de la dinámica de un número enorme de constituyentes, que la entropía es el logaritmo del número de microestados, y que la termodinámica falla exactamente donde las fluctuaciones importan, en sistemas pequeños o cerca de puntos críticos —los regímenes donde el promedio macroscópico deja de ser una buena descripción. La relación de PIU con Λ CDM es de la misma clase:

Λ CDM : PIU :: termodinámica : mecánica estadística.

La correspondencia opera al nivel de la estructura, no de la ilustración. La mecánica estadística no explicó solo la termodinámica: la misma teoría de los constituyentes microscópicos dio cuenta de la materia, de los estados de agregación, de las transiciones de fase y de la radiación, y la termodinámica fue una de sus aplicaciones. PIU está en esa posición respecto a la cosmología. Deriva la gravedad, la mecánica cuántica y el sector de partículas desde el mismo medio, y Λ CDM es su límite lineal en el sector cosmológico. PIU no refuta Λ CDM: lo deriva, explica por qué funciona con la precisión que funciona, y acota su dominio de validez mostrando dónde y con qué signo debe fallar. Las tensiones de Λ CDM son, en esta analogía, el equivalente de las fluctuaciones que la termodinámica no captura: no defectos del universo, sino los bordes donde la descripción efectiva se agota. La relación es de fundamentación, no de competencia con un modelo alternativo más. Boltzmann no compitió con Carnot; le dio cimientos, y al hacerlo acotó sus límites. PIU ocupa ese lugar frente a Λ CDM.

3 El medio y su Lagrangiano

PIU se define en cuatro piezas —el medio, su descripción matemática, su dinámica y lo que de ella emerge—, y con ellas el resto del argumento adquiere contenido. **El Pleno.** El vacío físico se toma como un medio elástico real con estructura interna, un

continuo que llena todo el espacio, al que se llama *el Pleno*. No es un campo sobre un espacio-tiempo de fondo: es el sustrato del que el espacio-tiempo mismo emerge. Su estado local se describe por un campo escalar complejo,

$$\Psi(x) = S(x) e^{i\theta(x)}, \quad (1)$$

donde el **módulo** S mide la deformación local del medio relativa a su estado fundamental, y la **fase** θ es un ángulo $U(1)$ compacto. El campo Ψ es la descripción matemática del sustrato, no el sustrato mismo; los números adimensionales que siguen se leen de la geometría de su estructura interna —promedios angulares sobre su celda, conteos de modos, invariantes de su arreglo—, de modo que son propiedades de una cosa física, no artefactos del álgebra que la describe. Esta inversión del orden usual de explicación —el medio es primario, y el espacio, el tiempo y las constantes son lecturas de él— es lo que da fuerza al programa: si el medio es primario, su descripción nativa está en sus propias razones, y las constantes dimensionales son lecturas derivadas, no entradas. El medio porta dos propiedades sustantivas y una estructura causal: una densidad de rigidez ρ_P , que fija la escala de energía de las deformaciones; una longitud de coherencia ℓ_P , el grano estructural bajo el cual la rigidez flexural suprime las excitaciones de longitud de onda corta; y la estructura causal c , que no es una propiedad ajustable sino el enunciado de que el espacio y el tiempo son direcciones de un solo cono causal. La libertad sustantiva del medio es el par (ρ_P, ℓ_P) . Ambos coinciden numéricamente con la densidad y la longitud de Planck, pero como resultado de un único acto de calibración, no por definición. **El Lagrangiano.** La dinámica del medio está gobernada por una sola densidad lagrangiana, construida —no postulada— como la teoría de campo efectiva más general compatible con las simetrías del medio [16]. Escrita enteramente en las propiedades del medio, sin ninguna constante derivada dentro, tiene cuatro términos:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \rho_P c^2 \ell_P^2 \partial_\mu \Psi^* \partial^\mu \Psi - V(S) - \frac{\rho_P c^2 \ell_P^4}{40} (\Box S)^2 - \frac{3}{8} \frac{\rho_P c^2}{S^2}. \quad (2)$$

En orden: un término cinético relativista pesado por el módulo elástico $\rho_P c^2 \ell_P^2$, cuya dimensión es la de c^4/G ; un potencial $V(S)$ que depende solo del módulo —automáticamente invariante $U(1)$ — y fija el estado fundamental; un término flexural cuadrático en el d'Alembertiano, la penalización de curvatura del medio discreto, cuyo coeficiente $\rho_P c^2 \ell_P^4/40 = \hbar c/40$ es el promedio espectral del laplaciano discreto sobre la zona de Brillouin de la red diamante —el mismo $1/40$ que, por escalar como $1/Z^2$, fija la coordinación $Z = 4$ (§5); y un término afín (Klauder [14]) que impone la positividad estricta $S > 0$ divergiendo cuando $S \rightarrow 0$, con coeficiente $3/8$ fijado por la cuantización afín sobre la semirrecta $S \geq 0$, sin libertad de ordenamiento. Ningún coeficiente contiene una constante derivada: cada uno es un número puro $-\frac{1}{2}, \frac{1}{40}, \frac{3}{8}$ — leído de la geometría de la estructura, multiplicando un monomio en (ρ_P, c, ℓ_P) . La afirmación de que $F1$ no tiene parámetros libres es exacta, y su límite se declara en el mismo aliento: cada coeficiente del Lagrangiano es un número geométrico fijo, ninguno ajustado a un dato, y el único número que la teoría calibra no está en el Lagrangiano sino en la escala global del par (ρ_P, ℓ_P) , entrada una sola vez y declarada abiertamente

(§11). Coeficientes todos fijados por la geometría, ninguno libre, ninguno ajustado a los datos —con exactamente una calibración, la escala, nombrada sin disimulo. **Los axiomas.** Seis axiomas fijan las propiedades del medio: A1 establece la existencia del Pleno con su estructura de red; A2 impone una pared cuántica en el infrarrojo, un suelo bajo el cual el módulo no cae; A3 fija la estructura causal del medio —un único cono de velocidad c , común a todos sus modos, del que la covarianza de Lorentz se sigue como propiedad efectiva; A4 introduce la regulación ultravioleta a escala de Planck; A5 establece la conservación de la corriente $U(1)$ de la fase; A6 impone una cota dura de deformación, una densidad máxima. De ellos, el módulo hereda un suelo $S_{\min}$ (por A2) y un techo $S_{\max}$ (por A6), y su recorrido entre ambos organiza toda la cosmología. Ambos son razones puras de la geometría de la red: $S_{\min} = 12(\pi^2 - 4)/\pi^4 \approx 0,7231$ y $S_{\max, \text{geom}}^2 = (8/3)\sqrt{2/3} \approx 2,1773$, derivados sin ningún parámetro libre. **Lo que emerge.** Del mismo Lagrangiano, sin ingredientes añadidos, se sigue la física fundamental que hoy se reúne en teorías separadas. Resolviendo el sector del módulo por dos rutas independientes —respuesta lineal clásica y la acción inducida de Sakharov [6–8] a un lazo— se obtiene la identidad gravitacional; cuantizando el rotor de fase, la identidad de acción:

$$G = \frac{c^2}{\rho_P \ell_P^2}, \quad \hbar = \rho_P c \ell_P^4. \quad (3)$$

Son dos números puros distintos —una compliancia y una inercia angular—, derivados en razones antes de introducir ninguna unidad. Evaluadas con las propiedades del Pleno, las dos identidades dan $G = 6,674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ y $\hbar = 1,0546 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, frente a los valores CODATA [19] $G_{\text{obs}} = 6,6743 \times 10^{-11}$ y $\hbar_{\text{obs}} = 1,0546 \times 10^{-34}$; el acuerdo es mejor que 0,1 % sin ajustar ningún parámetro, y el residuo se debe solo al redondeo de (ρ_P, c, ℓ_P) a cuatro cifras. La comparación es especialmente exigente para $\hbar$, y notable para G , que es la constante fundamental medida con menor precisión experimental (del orden de 10^{-4}). Eliminando ρ_P entre las dos identidades se recupera además la relación de Planck $\ell_P = \sqrt{\hbar G/c^3}$ como consecuencia algebraica. Del mismo medio se siguen las ecuaciones de Einstein completas en el límite macroscópico —no solo su forma newtoniana—; la electrodinámica de Maxwell como dinámica del sector de fase, con el fotón como modo de fase sin masa por el teorema de Goldstone; la mecánica cuántica como la estadística de las configuraciones del medio bajo perturbación, con la regla de Born $|\psi|^2$ leída del comportamiento de los solitones; la relatividad especial como la rigidización del medio al acercarse a c ; y las partículas como configuraciones localizadas y estables, cuya estadística fermiónica o bosónica se sigue de la topología de su espacio de configuración y cuyas cargas fraccionales $\pm 1/3, \pm 2/3$ emergen de la aritmética modular de la red. Las tres estructuras gauge del Modelo Estándar — $U(1)$, $SU(2)$, $SU(3)$ — son un solo mecanismo, la circulación de la fase, según conmute o no. Un medio material con estado de reposo enfrenta una objeción inmediata: un sustrato con marco preferido rompe en general la invariancia de Lorentz, y las cotas experimentales sobre esa ruptura son de las más estrictas de la física. En PIU la invariancia no se postula para esquivar la objeción; emerge, y con una firma falsable. La razón estructural es que todos los modos de propagación del medio —el modo de fase que se identifica con el fotón y el modo tensorial transversal que se identifica con la gravedad— son excitaciones del mismo Pleno y comparten por

ello una única velocidad c en el régimen infrarrojo, la del cono causal de A3. Esa universalidad, que en un sólido ordinario no se da (los modos longitudinales y transversos viajan a velocidades distintas), es aquí una propiedad del medio, y es lo que la relatividad especial codifica como invariancia. La igualdad $v_\gamma = v_{\text{GW}}$ que de ella se sigue está medida: la coincidencia temporal de GW170817 y su contraparte electromagnética la confirma a una parte en 10^{15} . La emergencia deja además un residuo que la vuelve falsable: el mismo término flexural que regula la red imprime una corrección ultravioleta a la dispersión, $\omega^2 = c^2 k^2 [1 + (k\ell_P)^2/20 + \mathcal{O}((k\ell_P)^4)]$, con coeficiente derivado; hoy está decenas de órdenes por debajo de las cotas de propagación astrofísica de alta energía, pero es un desvío de la relatividad exacta con signo y magnitud fijados, no un parámetro libre [DERIVADO]. Que un solo medio con dos propiedades reproduzca cantidades de sectores que no comparten escala —gravitacional, cuántico, de partículas— no se atribuye razonablemente al azar. Cuantificada en el análisis bayesiano del programa, la improbabilidad de esa coincidencia da un factor de Bayes contra la hipótesis de coincidencia numerológica de $K_c \approx 6,7 \times 10^5$, categoría decisiva en la escala de Jeffreys, que asciende a $\sim 10^{11}$ al incorporar G y $\hbar$ (corpus [20], §V.2.6). Cada resultado que sigue lleva una etiqueta epistémica visible: [DERIVADO] para una prueba completa, [DLF] para una deducción estructural fuerte sin hueco conceptual, [CALIBRADO] para un valor anclado a un dato, [HIPÓTESIS] para una conjetura motivada. La *forma* derivada de cada cantidad nunca se confunde con el *valor* calibrado de aquello que se lee del estado del universo.

4 La cosmología del medio: sin expansión, un reloj, un suelo congelado

De esta ontología se sigue una consecuencia que cambia el significado de cantidades que Λ CDM da por sentadas. En PIU no hay expansión del espacio. El Pleno es un medio continuo preexistente cuya microestructura, una vez cristalizado, es una red de un número fijo de celdas; lo que Λ CDM describe como expansión es el estiramiento del mapa de deformación de ese medio. El redshift no es el crecimiento de un escenario, sino la razón entre el estiramiento en la emisión y en la recepción, $1+z = L(\tau_0)/L(\tau_e)$. La constante de Hubble, en consecuencia, no es una tasa de expansión sino la hora de un reloj: el factor de estado $\sqrt{\Theta(t)}$ que mide dónde se encuentra el medio sobre su trayectoria. El módulo radial de fondo está congelado en su suelo $S_{\text{mín}}$ desde la cristalización. Ese suelo no es un vacío ni una ausencia: es el estado fundamental del Pleno, el nivel de deformación mínima por debajo del cual el medio no cae (pared de Klauder, axioma A2). El Pleno existe en $S_{\text{mín}}$ como el sustrato pleno y relajado sobre el cual todo lo demás ocurre; no hay una fuente dinámica tardía que empuje una expansión, solo un medio en reposo cuyas modulaciones de fase evolucionan sobre él. Estas lecturas —estiramiento en vez de expansión, reloj en vez de tasa, suelo relajado en vez de vacío— son el idioma en que las tensiones cosmológicas se resuelven más adelante, y todo cálculo se hace en variables del medio: el módulo S , el estiramiento L y el tiempo τ como cambio acumulado, sin el factor de escala $a(t)$ como objeto primitivo.

5 Qué son las componentes cosmológicas: espacio, materia y sector oscuro como modulaciones del medio

El sustrato de toda la cosmología es el Pleno en su estado relajado, el vacío en el suelo $S_{\min}$ —lo que el programa llama el mar de $S_{\min}$. Ese mar es el medio elástico continuo mismo, y su microestructura, una vez cristalizado, es una red ordenada. Sobre ese mar preexistente viven las dos modulaciones que Λ CDM registra como componentes separadas —la materia y la energía oscura—, y el mar mismo, con su estructura, es lo que llamamos espacio. Las tres no son sustancias distintas puestas juntas, sino el mismo medio: el mar y sus dos ondulaciones. El evento que fija esta estructura es la cristalización. En la historia cosmológica de PIU no hay un Big Bang singular: la cota dura A6 impide que el medio se comprima hasta densidad infinita, de modo que un colapso previo rebota antes de alcanzar el techo. Durante ese ciclo el Pleno transita entre dos empaquetamientos —el compacto ($Z = 12$) en la máxima compresión y la red diamante ($Z = 4$) al relajarse—, y esa recrystalización $Z = 12 \rightarrow Z = 4$ es la que imprime el espectro primordial, sobre un fondo persistente que sobrevive a la transición y se identifica con la energía oscura. **El espacio** es el sólido elástico continuo mismo. Su microestructura no es un postulado: es lo que ese sólido adopta al saturarse, la disposición que minimiza su energía de flexión. Que esa microestructura sea la red diamante —coordinación tetraédrica $Z = 4$ — es una consecuencia derivada, y toda la geometría del sector oscuro (§10) descansa sobre ella. La coordinación $Z = 4$ está forzada por la isotropía del medio: cuatro vectores de enlace unitarios con matriz de segundo momento isotrópica y suma nula cumplen $\sum_{i<j} \mathbf{v}_i \cdot \mathbf{v}_j = -2$, de modo que cada par forma el ángulo $\arccos(-\frac{1}{3}) = 109,47^\circ$; los únicos cuatro puntos sobre la esfera con esa propiedad son los vértices del tetraedro regular (el 2-diseño esférico de cuatro puntos [13]). El apilamiento cúbico —que distingue la red diamante de la wurtzita, ambas tetraédricas— se sigue del término flexural de $F1$: la modulación cúbica anula la anisotropía de curvatura de cuarto orden, mientras que toda politipía no cúbica porta una anisotropía irreducible de coste flexural positivo, y el medio relaja a la modulación que no concentra curvatura. Una tercera vía converge sobre lo mismo: el coeficiente flexural $1/40$ del Lagrangiano escala como $1/Z^2$, de modo que el valor observado fija $Z = 4$ de forma única entre las coordinaciones isotrópicas (las alternativas $Z = 6, 8, 12$ darían $1/90, 1/160, 1/360$). La red diamante queda así derivada, no postulada. **La materia** es el modo de módulo δS : una perturbación del módulo sobre el mar, masiva por la curvatura del potencial V''_{eff} , localizada en los defectos topológicos que la cristalización deja congelados. Son las partículas, configuraciones estables cuya carga topológica no puede deshacerse sin violar la conservación $U(1)$, y cuya densidad diluye como a^{-3} al estirarse el medio. **La energía oscura** es el sector de fase del mar en su estado de reposo. Tiene dos partes: la componente homogénea —el Telón, la fase de fondo θ_0 en reposo, en el suelo $S_{\min}$, que constituye el grueso— y, sobre ella, las ondas $\delta\theta$. La componente homogénea tiene densidad $\rho_{\text{EO}} = \rho_P c^2 S_{\min}^2$, estructuralmente constante porque tanto el ancla como el suelo son fijos; como la fase de fondo está en reposo, su tensor energía-momento es proporcional a la métrica, $T_{\mu\nu} \propto g_{\mu\nu}$, lo que da una ecuación de estado $w = -1$ exacta —no ajustada, sino forzada por la simetría del

estado fundamental [DERIVADO]. A orden lineal las dos modulaciones se desacoplan: el término cinético de fase de $F1$ da $|\partial\Psi|^2 = (\partial\delta S)^2 + S_{\min}^2(\partial\delta\theta)^2 + \mathcal{O}(\delta^3)$, de modo que el modo de módulo (la materia) y el modo de fase (la onda, sin masa, que se propaga a c) no se mezclan. Esa separación es la que hace que un observador vea componentes-fluido independientes, y su acoplamiento —el que desviaría el crecimiento de estructura (§9)— es necesariamente un efecto de segundo orden. Materia y energía oscura no son dos sustancias que interactúan: son dos ondulaciones del mismo medio que comparten sustancia, el Pleno modulado sobre el mar de $S_{\min}$.

6 El principio de correspondencia: razón geométrica por factor de estado

Un principio estructural gobierna todo el mapeo entre las dos descripciones, y de él se sigue qué deriva PIU y qué lee de la posición actual del medio. Toda magnitud cosmológica se factoriza en la forma

$$\text{magnitud} = (\text{razón geométrica fija}) \times (\text{ancla de unidades}) \times (\text{factor de estado}), \quad (4)$$

donde la razón geométrica es un invariante de la red diamante, derivable sin ningún dato; el ancla porta las unidades y está fijada por las dos escalas del medio; y el factor de estado codifica dónde se encuentra el Pleno sobre la trayectoria de su única variable dinámica de fondo, el módulo promedio $\tilde{S}(t)$. La curva $\tilde{S}(t)$ es teoría; el punto sobre ella en que se encuentra el universo hoy es un dato observacional, del tipo de la hora que marca un reloj. De aquí se sigue el estatus epistémico de cada magnitud. Una magnitud es **geométrica** —derivada de primeros principios— si depende solo de los extremos fijos $\{S_{\min}, S_{\max, \text{geom}}\}$ del recorrido. Es **posicional** —leída del estado presente, no derivable como número atemporal— si depende del valor instantáneo $\tilde{S}(t)$ o de su tasa $\dot{\tilde{S}}(t)$. Hay dos variedades de posicional distintas: las de **tipo A** dependen del valor de $\tilde{S}$ hoy —la constante de Hubble y la fracción de energía oscura—, y las de **tipo B** dependen de la tasa $\dot{\tilde{S}}$ —el índice espectral y la ecuación de estado aparente. Λ CDM colapsa las tres piezas en un solo número ajustado, anclado a $z \approx 1089$, y ahí nace su fragilidad: no distingue lo geométrico de lo posicional. El principio reformula la frontera entre teoría y dato de un modo uniforme: PIU no deriva el valor numérico de H_0 ; deriva la forma de la relación y la clase del objeto, y lee el valor del estado presente del medio.

7 Por qué Λ CDM funciona: Friedmann como límite lineal del medio

Definido el medio y sus componentes, comienza la comparación con Λ CDM. Su primer resultado es el más básico: por qué Λ CDM acierta. Λ CDM funciona porque es el límite lineal de la dinámica de fondo de PIU cerca del suelo del potencial, y la derivación es explícita: la ecuación de movimiento del fondo, su vínculo cinético, y cómo reproduce la forma de Friedmann. **La ecuación de fondo.** Sobre un fondo homogéneo e isótropo, la variable dinámica es el estiramiento del medio, e , con $L = e^e$ el mapa

de deformación, y el módulo promedio $\bar{S}$ que lo acompaña. La energía cinética de la deformación isotropa y el potencial efectivo del Pleno son

$$T = \frac{1}{2} \rho_P \ell_P^2 \cdot 3 \dot{e}^2 = \frac{3}{2} \rho_P \ell_P^2 \dot{e}^2, \quad V = V_{\text{eff}}(\bar{S}), \quad (5)$$

donde el factor 3 son las tres direcciones del estiramiento y V_{eff} es el potencial completo del medio (la pared de Klauder del axioma A2 más la cota de Gent [15] del axioma A6), con mínimo en $S_{\text{mín}} = 0,7231$. El módulo promedio y el estiramiento no son independientes: la densidad del medio es $\rho_{\text{medio}} = \rho_P \bar{S}^2$ y diluye como $L^{-3} = e^{-3e}$ al estirarse, de modo que $\bar{S}^2 \propto e^{-3e}$; expresar la dinámica en $\bar{S}$ en lugar de e introduce, por este cambio de variable, un factor $\propto \bar{S}^{-2}$ en la métrica cinética del espacio de configuración. La ecuación de Euler-Lagrange para el módulo, $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\bar{S}}} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \bar{S}} = 0$ con $\mathcal{L} = T - V_{\text{eff}}$, da entonces la ecuación de fondo, en unidades $c = \ell_P = \rho_P = 1$:

$$\ddot{\bar{S}} = \frac{\dot{\bar{S}}^2}{\bar{S}} - \frac{3}{4} \bar{S}^2 V'_{\text{eff}}(\bar{S}). \quad (6)$$

Es una ecuación de **segundo orden** —la de un oscilador no lineal contra una pared dura—, a la que se añade el amortiguamiento viscoso $-\gamma \dot{\bar{S}}$ derivado del sector flexural. La pared infrarroja de Klauder hace del rebote un hecho estructural, y la viscosidad asienta el módulo en $S_{\text{mín}}$, el estado del Telón. **El vínculo cinético y la forma de Friedmann.** La densidad y la presión del fondo son

$$\rho_{\text{Pleno}} = \frac{1}{2} \rho_P \ell_P^2 \dot{\bar{S}}^2 + V_{\text{eff}}(\bar{S}), \quad p_{\text{Pleno}} = \frac{1}{2} \rho_P \ell_P^2 \dot{\bar{S}}^2 - V_{\text{eff}}(\bar{S}). \quad (7)$$

El vínculo de Friedmann no se impone: surge de la invariancia de la acción bajo reparametrización del tiempo. Escribiendo la acción del fondo con una función de lapso N que fija el ritmo del tiempo propio, $dt \rightarrow N d\tau$,

$$\mathcal{S} = \int d\tau N \left[\frac{1}{N^2} \frac{3}{2} \rho_P \ell_P^2 \left(\frac{d\bar{e}}{d\tau} \right)^2 - V_{\text{eff}} \right], \quad (8)$$

la variación respecto al lapso, $\delta \mathcal{S} / \delta N = 0$, da la ligadura hamiltoniana —la anulación de la densidad hamiltoniana, $\mathcal{H} = 0$ —, que es la restricción de energía del sistema:

$$\mathcal{H} \propto \rho_P \ell_P^2 H^2 - \rho_e = 0 \implies H^2 \propto \frac{\rho_e}{\rho_P \ell_P^2} = \frac{G}{c^2} \rho_e, \quad (9)$$

con $H \equiv \dot{L}/L$ la tasa de estiramiento y donde la última igualdad usa la identidad nativa $G = c^2 / (\rho_P \ell_P^2)$. La ligadura fija así la *estructura* $H^2 \propto (G/c^2) \rho_e$; el prefactor numérico es el canónico de las ecuaciones de Einstein que PIU recupera del mismo medio. Ese prefactor no es un ajuste: la acción inducida de Sakharov identifica la rigidez gravitacional con el coeficiente cinético de $F1$ cuando el coeficiente b del término de Einstein-Hilbert inducido cumple $b = 8\pi^2$, y esta igualdad es estructural, no un número por determinar. Equivale a $b/16\pi^2 = \frac{1}{2}$, cuyos dos factores ya están fijados:

$16\pi^2 = (4\pi)^2$ es el volumen de fase tetradimensional del heat-kernel —universal del método— y $\frac{1}{2}$ es el coeficiente cinético de $F1$ en su normalización $\frac{1}{2}\rho_P c^2 \ell_P^2 \partial_\mu \Psi^* \partial^\mu \Psi$. La coincidencia de las dos vías al mismo G —la gravedad inducida y la lectura directa de esa normalización— es por tanto una identidad entre estructura del método y normalización del Lagrangiano, con contenido falsable: un sustrato con un modo gravitacional escalar o polarizaciones adicionales daría $b \neq 8\pi^2$. De ahí el factor canónico $8\pi/3$, de modo que

$$H^2 = \frac{8\pi}{3} \frac{G}{c^2} \rho_e. \quad (10)$$

La ligadura $\mathcal{H} = 0$ es exactamente el mecanismo por el que la relatividad general produce la restricción de Friedmann; aquí surge del mismo modo, de la invariancia temporal de la acción del medio, y el mismo $8\pi/3$ reaparece al leer $H_0^2 = \frac{8\pi}{3} \Theta (c/\ell_P)^2$ con Θ el estado del estiramiento hoy. La estructura cinética está bien definida sobre los reales y preserva la unitariedad: la energía cinética $T = \frac{3}{2}\rho_P \ell_P^2 \dot{e}^2$ es una forma cuadrática manifiestamente no negativa en $\dot{e}$, sin potencias fraccionarias ni signos que pudieran introducir raíces complejas, de modo que el hamiltoniano es real y acotado inferiormente por el potencial. La fuente física es

$$\rho_e = \rho_{m,0} L^{-3} + \rho_{EO}, \quad (11)$$

con la materia (los solitones) diluyendo como L^{-3} al estirarse el medio y el condensado de fase de fondo constante ($w = -1$). Reuniendo la fuente completa con la ligadura del medio, la dinámica de fondo de PIU se condensa en una sola ecuación,

$$H^2 = \frac{8\pi}{3} \frac{1}{\rho_P \ell_P^2} \left[\underbrace{\rho_{m,0} L^{-3}}_{\text{materia}} + \underbrace{\frac{1}{2}\rho_P \ell_P^2 \dot{S}^2}_{\text{cinética del módulo}} + \underbrace{V_{\text{eff}}(\bar{S})}_{\text{potencial con sus dos paredes}} \right] = \frac{8\pi}{3} \frac{G}{c^2} [\dots], \quad (12)$$

donde la forma primaria está enteramente en las propiedades del medio (ρ_P, ℓ_P, c), y la segunda igualdad es solo su lectura convencional: $G/c^2 = 1/(\rho_P \ell_P^2)$ es la identidad nativa (§3), de modo que G no entra como constante externa sino como nombre de la rigidez inversa del medio. La materia son las excitaciones solitónicas; el término cinético del módulo junto al potencial completo son la dinámica del fondo —todo, materia y fondo, configuraciones del único medio. La misma ecuación, adimensionalizada por las escalas del medio, exhibe qué mide H . Escribiendo $V_{\text{eff}} = \rho_P c^2 v(\bar{S})$ y $\rho_{m,0} = \rho_P c^2 \mu$ con v y μ números puros, y factorizando $\rho_P c^2$ del corchete,

$$H^2 = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{c}{\ell_P} \right)^2 \left[\mu L^{-3} + \frac{1}{2} \tau_P^2 \dot{S}^2 + v(\bar{S}) \right], \quad \tau_P = \frac{\ell_P}{c}, \quad (13)$$

con todo el corchete adimensional y la única escala en el prefactor $(c/\ell_P)^2$, la frecuencia del tic de Planck al cuadrado. En esta forma se lee la ontología del reloj: H es una tasa medida en tics de Planck, y la constante de Hubble no es una constante de la naturaleza sino el número de tics que el medio ha corrido —el mismo c/ℓ_P que reaparece en $H_0 = \sqrt{8\pi/3} (c/\ell_P) \sqrt{\Theta}$ (§8). De la ecuación maestra se sigue Λ CDM sin

añadir nada: cerca del suelo el módulo se asienta ($\dot{S} \rightarrow 0$) y las paredes de V_{eff} son despreciables, de modo que $V_{\text{eff}}(\bar{S}) \rightarrow V(S_{\text{mín}}) = \rho_P c^2 S_{\text{mín}}^2 = \rho_{\text{EO}}$ y solo sobreviven la materia diluida y el suelo constante; en consecuencia,

$$H^2(z) = H_0^2 [\Omega_m (1+z)^3 + \Omega_\Lambda], \quad \Omega_\Lambda = f_c, \quad \Omega_m = 1 - f_c, \quad (14)$$

que es la ecuación de Friedmann de Λ CDM, con la identificación $\Omega_\Lambda = f_c$ de la fracción de condensado —derivada aparte, en §10.4, no una consecuencia de (12)—. Los dos términos que Λ CDM inscribe como sustancias independientes —materia y Λ — son, en (12), dos lecturas del mismo medio: la materia como sus solitones, Λ como el valor de su potencial en el suelo. El término cinético, despreciable hoy, es el que gobierna los bordes donde Λ CDM falla. **Por qué es exacto en las anclas, y por qué falla fuera de ellas.** El límite que lleva de (12) a Friedmann es exacto solo donde sus dos condiciones se cumplen. Cerca del suelo del potencial, donde el módulo está relajado, el término no lineal $\frac{3}{4}\bar{S}^2 V'_{\text{eff}}$ y el amortiguamiento son despreciables, y la ecuación de segundo orden se reduce a la restricción de primer orden de Friedmann. Esa reducción es exacta en las dos anclas observacionales de Λ CDM —la época actual y el último scattering—, porque en ambas el medio está cerca del suelo y las correcciones de pared se anulan. La divergencia con Λ CDM vive en el régimen no lineal de las paredes: el origen del universo (donde la pared de Gent convierte la singularidad en rebote) y los bordes donde las correcciones de pared dejan de ser despreciables. Ahí es donde Λ CDM falla, y es el contenido de la sección siguiente. Una sola ecuación explica así las dos cosas: colapsa a Λ CDM cuando la cinética se apaga y las paredes se alejan, y se separa de ella —en forma de tensiones— justo cuando cualquiera de esas dos condiciones deja de valer. Dos rasgos más completan el porqué del éxito de Λ CDM. Primero, sus **componentes-fluido son modos del Pleno que se desacoplan a orden lineal**: al linealizar $F1$ alrededor del vacío relajado, el módulo (la materia) y la fase (la luz, la energía oscura) no se mezclan a primer orden, de modo que un observador que mide el fondo más perturbaciones lineales ve componentes independientes que se comportan como fluidos separados —el inventario de Λ CDM. Funciona porque "un fluido por modo" es la contabilidad correcta a ese orden; la unificación en un solo medio solo se hace visible al orden no lineal. Segundo, $w = -1$ **funciona porque es el suelo real del potencial**: Λ CDM lo postula y acierta, y PIU explica por qué el suelo es exactamente -1 (la simetría del estado fundamental, §8.3).

8 La comparación término por término: cómo se corresponde cada parámetro y por qué

La ecuación de fondo (12) ya contiene la correspondencia entera en forma integrada: cada símbolo de la ecuación de Friedmann de Λ CDM tiene, dentro de ella, un objeto del medio que lo produce. Lo que sigue desglosa esa correspondencia parámetro por parámetro. Cada parámetro de Λ CDM ocupa un lugar dentro de PIU, y ese lugar explica por qué Λ CDM funciona y por qué falla. El mapeo que sigue toma la estructura de seis parámetros de Λ CDM y da, para cada uno, qué objeto de PIU le corresponde,

con qué álgebra, y qué libertad de ajuste se pierde en la traducción. El sector oscuro (§10) es el ejemplo donde la comparación tiene mayor palanca.

8.1 El principio de la comparación: tres piezas colapsadas en una

La fragilidad de Λ CDM frente a PIU tiene una raíz precisa. Toda magnitud cosmológica, en PIU, se factoriza en tres piezas (§6): una razón geométrica fija, un ancla de unidades y un factor de estado posicional. Λ CDM colapsa las tres en un solo número ajustado a los datos y anclado a la época del último scattering ($z \approx 1089$). Al hacerlo, no distingue lo que es estructura —derivable de primeros principios— de lo que es posición —una lectura del estado del universo hoy. La comparación parámetro por parámetro es, en el fondo, la operación de descolapsar cada número de Λ CDM en sus tres piezas y ver cuál domina.

8.2 El sector de fondo: los dos parámetros estructurales de PIU

El sector cosmológico de PIU queda descrito por dos parámetros estructurales, ninguno ajustado libremente. El primero es gravitacional; el segundo, dinámico. El **acoplamiento gravitacional** κ es el coeficiente que la acción inducida de Sakharov identifica con el término de Einstein-Hilbert —la rigidez gravitacional del medio leída del Hamiltoniano de $F1$:

$$\kappa \equiv \frac{1}{2}\rho_P c^2 \ell_P^2 = \frac{c^4}{2G} \approx 6,05 \times 10^{43} \text{ N}, \quad (15)$$

donde la segunda igualdad es la lectura de κ en términos de la constante derivada $G = c^2/(\rho_P \ell_P^2)$, no su definición: la forma primaria es la rigidez del medio $\frac{1}{2}\rho_P c^2 \ell_P^2$, y $c^4/2G$ es su expresión en el lenguaje convencional. Su valor se sigue de las propiedades primarias (ρ_P, ℓ_P, c) sin ajuste, y coincide con el coeficiente cinético del término de $F1$: la misma rigidez que pesa las deformaciones del medio es la que fija la constante de acoplamiento gravitacional. El **parámetro dinámico** δ es la razón, en cada instante, entre la contribución cinética y la de potencial del Pleno de fondo:

$$\delta(t) \equiv \frac{\frac{1}{2}\rho_P \ell_P^2 \dot{\tilde{S}}(t)^2}{V(\tilde{S}(t))}, \quad \delta(t) \geq 0. \quad (16)$$

La densidad y la presión del sector son $\rho = \frac{1}{2}\rho_P \ell_P^2 \dot{\tilde{S}}^2 + V$ y $p = \frac{1}{2}\rho_P \ell_P^2 \dot{\tilde{S}}^2 - V$ (§7). Su cociente, dividido numerador y denominador por V e introduciendo δ , da la ecuación de estado en forma cerrada:

$$w(t) = \frac{p}{\rho} = \frac{\frac{1}{2}\rho_P \ell_P^2 \dot{\tilde{S}}^2 - V}{\frac{1}{2}\rho_P \ell_P^2 \dot{\tilde{S}}^2 + V} = \frac{\delta(t) - 1}{\delta(t) + 1}. \quad (17)$$

Estos dos parámetros gobiernan todo el fondo cosmológico, y su contraste con los seis de Λ CDM es el contenido de la comparación.

8.3 El mapeo, parámetro por parámetro

La constante de Hubble H_0 . En Λ CDM es una constante de la naturaleza, medida. En PIU es el factor de estado posicional de tipo A —la hora de un reloj—,

$$H_0 = \sqrt{\frac{8\pi}{3}} \frac{c}{\ell_P} \sqrt{\Theta}, \quad (18)$$

con Θ el estado del estiramiento del medio hoy. La forma de la relación está derivada; el valor es posicional, no una constante derivable como número atemporal. El redshift entero se reinterpreta con la misma lógica: $1 + z = L(\tau_0)/L(\tau_e)$, la razón de estiramiento del medio, no el crecimiento de un escenario. El número no cambia respecto a Λ CDM; su estatus ontológico sí. **La ecuación de estado de la energía oscura w .** Λ CDM la postula igual a -1 (la constante cosmológica) y acierta. PIU la deriva: el sector tardío es el condensado de fase en su estado fundamental, en reposo en $S_{\min}$ con $\dot{\theta}_0 = 0$, de modo que la densidad cinética se anula, $\delta = 0$, y

$$w = \left. \frac{\delta - 1}{\delta + 1} \right|_{\delta=0} = -1 \quad \text{exacto.} \quad (19)$$

No es un límite asintótico aproximado, sino la simetría del estado fundamental: con la cinética anulada, el tensor energía-momento es $T_{\mu\nu} \propto g_{\mu\nu}$, el cuadrivector de reposo desaparece, y $p = -\rho$. Aquí está la diferencia esencial con un modelo de quintaesencia, que responde a la objeción natural de que $w + 1 \geq 0$ es genérico de cualquier campo escalar canónico. Lo es —en efecto, $\delta \geq 0$ da $w \geq -1$ para cualquier sector escalar—, pero en quintaesencia el potencial $V(S)$ se postula con libertad para ajustar la trayectoria $w(z)$, mientras que en PIU el potencial efectivo está derivado con parámetros fijos y el estado fundamental es el reposo en $S_{\min}$. Lo que distingue a PIU no es la cota $w \geq -1$, sino que el mismo suelo $S_{\min}$ que fija $w = -1$ fija también la razón de materia oscura $\sqrt{3}\pi$ y la fracción de energía oscura f_c (§10): un modelo de quintaesencia no liga su ecuación de estado a la proporción del sector oscuro; PIU sí, porque las tres cantidades salen del mismo potencial sobre la misma red diamante (§5). **Los parámetros de energía oscura dinámica w_0, w_a .** La extensión de Λ CDM que ajusta los datos de DESI [2, 3] introduce dos parámetros libres para permitir que w evolucione. En PIU no hay dos libertades: el fondo tiene $\delta = 0$ estructural, y la única libertad del sector es la condición inicial del rebote que fija dónde quedó el módulo sobre su trayectoria de relajación. Los dos parámetros de Λ CDM colapsan a uno, y ese uno es posicional, no una ecuación de estado dinámica. El veto de un $\delta > 0$ dinámico en el fondo está derivado: un condensado que ganara densidad física con el tiempo tendría $w + 1 = -\frac{1}{3} d \ln \rho / dN < 0$, es decir $w < -1$ fantasma —el signo opuesto al observado y prohibido por la positividad de la cinética—, y un modo de fase que rodara ($\dot{\theta}_0 \neq 0$) diluiría como polvo, $\rho \propto L^{-3}$, incompatible con una componente de $w = -1$. El sector tardío tiene $\delta = 0$ estructural, no $\delta > 0$ pequeño. **Las densidades Ω_Λ y Ω_m .** En Λ CDM son dos parámetros ligados por la planitud ($\Omega_\Lambda + \Omega_m = 1$). En PIU son la fracción de condensado f_c y su complemento: $\Omega_\Lambda = f_c$, $\Omega_m = 1 - f_c$, con $f_c = S_{\max, \text{eff}}^2 / S_{\max, \text{geom}}^2 \approx 0,6869$ (derivado en §10.4), a $0,30\sigma$ y $0,27\sigma$ de Planck respectivamente. La estructura del cociente está derivada; el numerador es posicional.

No hay dos libertades, sino una estructura derivada más una lectura de estado —un acuerdo más débil que el de $\sqrt{3}\pi$, porque su blanco comparte la dependencia de modelo de Ω_Λ , como se detalla en §10.4. **La densidad de materia oscura** $\omega_c = \Omega_c h^2$. En Λ CDM es un parámetro independiente de la densidad bariónica ω_b . En PIU no es independiente: se deriva de ω_b por la razón geométrica

$$\omega_c = \sqrt{3}\pi \cdot \omega_b \quad (\text{derivación completa en §10.2}), \quad (20)$$

con $\sqrt{3}\pi = 5,4414$, que se confronta con el valor de Planck 2018 $\Omega_{\text{dm}}/\Omega_b = 5,375 \pm 0,077$ a $0,86\sigma$ —un acuerdo del 98,8 % con cero parámetros libres y cero input observacional. El contraste con Λ CDM es directo: donde Λ CDM tiene dos parámetros ajustados independientemente cuyo cociente no predice, PIU fija la proporción del sector oscuro por la geometría de la red. Y la comparación es robusta, no heredada del modelo: el cociente cancela el factor h^2 , de modo que se confronta contra densidades físicas leídas de las alturas de los picos acústicos, que Λ CDM no puede elegir para coincidir con PIU. **La escala acústica** θ_* , **el índice espectral** n_s **y la amplitud** A_s . La escala acústica $\theta_* = r_s/D_M$ es una razón de distancias sobre la función de expansión $E(z)$; en PIU, $E(z)$ está forzada por el potencial $v(S)$ del fondo, de modo que la forma de θ_* está derivada aunque su valor incorpore el estado. El índice espectral n_s y la amplitud escalar A_s son los dos descriptores —inclinación y normalización— del mismo espectro primordial, que en PIU no se postula sino que se imprime en el cruce de empaquetamiento $Z = 12 \rightarrow Z = 4$ del rebote (§5): el tilt n_s es de tipo B —depende de la tasa $\dot{S}$ del cruce—, con su valor a orden cero derivado del espectro del rebote y una corrección posicional; la amplitud A_s es igualmente posicional, fijada por la velocidad del congelamiento en la transición, no un parámetro independiente sino la normalización del mismo espectro cuyo tilt da n_s . Donde Λ CDM ajusta n_s y A_s como dos números libres del espectro inicial, PIU los liga al único evento que los imprime. **La reionización** τ_{reio} . Es astrofísica de la formación de las primeras estrellas, fuera del sector de fondo tanto en Λ CDM como en PIU; ninguno de los dos marcos la deriva. Su presencia en la lista de seis de Λ CDM revela que esa lista mezcla parámetros de fondo con astrofísica: τ_{reio} es el único sin una razón geométrica debajo.

8.4 El balance de la comparación

Reuniendo el mapeo, las correspondencias caen en cuatro clases, y la comparación de libertad es el resultado central: Las clases son: **colapsadas**, donde PIU deriva un parámetro de otro y tiene menos libertad que Λ CDM (ω_c vía $\sqrt{3}\pi$; w_0, w_a reducidos a una condición inicial; Ω_Λ, Ω_m vía f_c); **reclasificada**, donde lo que Λ CDM postula PIU deriva ($w = -1$); **reinterpretadas sin cambiar el número**, donde el valor coincide pero la ontología cambia (H_0 como hora del reloj, el redshift como estiramiento); y **fuera del fondo en ambos marcos** (τ_{reio}). El conteo de parámetros no es el objetivo del trabajo —lo es la derivación de Λ CDM y de sus fallos—, pero la tabla muestra el resultado estructural de la comparación: donde Λ CDM tiene parámetros independientes, PIU tiene con frecuencia una sola cantidad geométrica o posicional detrás, y esa reducción de libertad es lo que da contenido falsable a la relación.

Parámetro Λ CDM	Objeto en PIU	Clase de correspondencia
<i>Los seis parámetros base de ΛCDM</i>		
ω_b	densidad bariónica	ancla posicional
ω_c	$\sqrt{3}\pi\omega_b$	derivado de ω_b (geometría)
θ_*	r_s/D_M sobre $E(z)$ forzado por $v(S)$	forma derivada
n_s	tilt del espectro del rebote	derivado a orden 0 + posicional (tipo B)
A_s	normalización del mismo espectro	posicional (velocidad del congelamiento)
τ_{reio}	reionización	astrofísica (fuera del fondo, ambos marcos)
<i>Parámetros derivados y extensiones</i>		
Ω_Λ	f_c	estructura derivada + valor posicional
Ω_m	$1 - f_c$	derivado
H_0	$\sqrt{8\pi/3}(c/\ell_P)\sqrt{\Theta}$	posicional (hora del reloj, tipo A)
w	$(\delta - 1)/(\delta + 1)$, $\delta = 0$	derivado ($w = -1$ exacto)
w_0, w_a	condición inicial del rebote	una sola libertad (colapsada 2→1)

9 Por qué Λ CDM falla: los cuatro bordes de su dominio

Los fallos de Λ CDM son los bordes del régimen lineal. Son cuatro, y en tres de ellos el signo y la localización de la desviación se derivan desde el sustrato, lo que convierte las tensiones observacionales de anomalías inexplicadas en predicciones de PIU.

9.1 La singularidad se vuelve rebote (borde: densidad de saturación)

Λ CDM extrapola su límite lineal hasta densidad infinita: el Big Bang singular. PIU no puede hacer esa extrapolación porque el axioma A6 impone una cota dura de deformación —la pared de Gent en el potencial, que diverge cuando $S \rightarrow S_{\text{máx}}$ —: antes de alcanzarla, la respuesta del medio se endurece y el colapso rebota. El cálculo cuantifica por qué la auto-gravedad local de la materia no basta para llevar el medio hasta la pared. El potencial efectivo del módulo tiene forma cerrada derivada, con sus tres contribuciones —la respuesta hiperelástica del medio saturable, la pared logarítmica de Gent (axioma A6) y la pared cuántica de Klauder (axioma A2)— que la figura 1 exhibe en escala logarítmica,

$$V_{\text{eff}}(S) = \frac{E_0}{2} \frac{S^4}{(S_{\text{máx}}^2 - S^2)^2} - \frac{\rho_P c^2}{2} \ln\left(1 - \frac{S^2}{S_{\text{máx}}^2}\right) + \frac{3}{8} \frac{\rho_P c^2}{S^2}, \quad (21)$$

con E_0 fijado sin libertad por la condición de que el mínimo del potencial total caiga en el suelo espectral: $V'_{\text{eff}}(S_{\text{mín}}) = 0$ es una sola ecuación algebraica con E_0 como única incógnita, cuyo despeje da $E_0 = 4,2546 \rho_P c^2$ evaluado en $S_{\text{mín}} = 0,7231$ y $S_{\text{máx}}^2 = (8/3)\sqrt{2/3} = 2,1773$ (§10.4). El número no se ajusta: es el que hace coincidir la posición espectral del mínimo con la dinámica del potencial, y el script suplementario lo recompute. Su mínimo cae así exactamente en el suelo $S_{\text{mín}} = 0,7231$, y la energía de exceso de una sobredensidad sobre el fondo es $\Delta\varepsilon(S) = V_{\text{eff}}(S) - V_{\text{eff}}(S_{\text{mín}})$. Integrando la ecuación de fondo con la fuerza gravitacional de esa sobredensidad, la fuerza restauradora dV_{eff}/dS vence a la gravedad cerca del suelo y el sistema se estabiliza apenas por encima del fondo, en $S \approx 0,743$. El balance energético es explícito, evaluando V_{eff} en los dos extremos. El exceso que la auto-gravedad local puede aportar, hasta $S \approx 0,74$, es

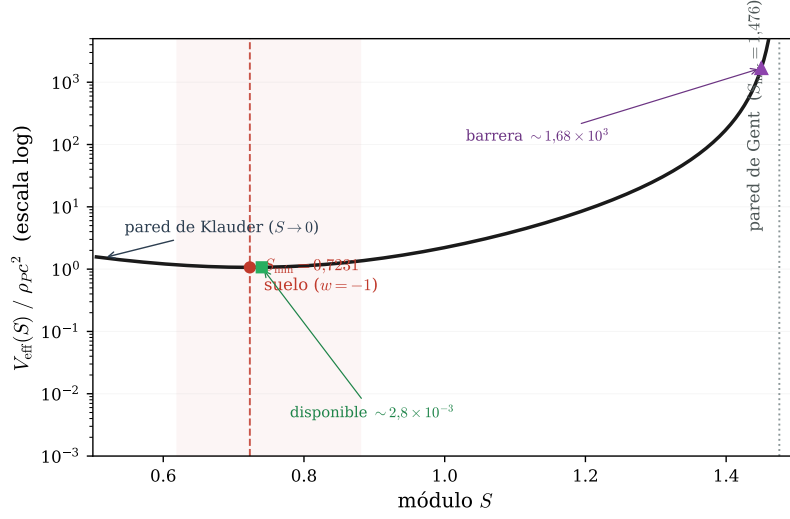


Fig. 1 Potencial efectivo del módulo, $V_{\text{eff}}(S)$, en escala logarítmica, con sus tres contribuciones derivadas. El recorrido completo del módulo se muestra entre sus dos paredes: el suelo $S_{\text{mín}} = 0,7231$ (el Telón, con $w = -1$), con la pared de Klauder (axioma A2) divergiendo a su izquierda cuando $S \rightarrow 0$, y la pared de Gent (axioma A6) cuando $S \rightarrow S_{\text{máx}} = 1,476$. La escala logarítmica hace visibles en un solo panel tanto el pozo relajado como la barrera que convierte la singularidad en rebote: la energía requerida para alcanzar la pared de Gent ($\sim 1,68 \times 10^3 \rho_P c^2$) excede en casi seis órdenes de magnitud la que la auto-gravedad local puede aportar ($\sim 2,8 \times 10^{-3} \rho_P c^2$).

$$\Delta\varepsilon(0,74) \approx 2,8 \times 10^{-3} \rho_P c^2, \quad (22)$$

mientras que llevar el módulo hasta la zona de la pared ($S \approx 1,45$, donde el término de Gent ya diverge) exige

$$\Delta\varepsilon(1,45) \approx 1,68 \times 10^3 \rho_P c^2, \quad (23)$$

de modo que el cociente entre lo requerido y lo disponible es

$$\frac{\Delta\varepsilon(1,45)}{\Delta\varepsilon(0,74)} \approx \frac{1,68 \times 10^3}{2,8 \times 10^{-3}} \approx 6 \times 10^5. \quad (24)$$

La auto-gravedad local es, por tanto, insuficiente en casi seis órdenes de magnitud para comprimir el Pleno hasta la pared de Gent por sí sola: la compresión hasta el rebote exige el forzamiento cosmológico global del colapso —la contracción de Friedmann, que por $\rho_{\text{medio}} = \rho_P S^2$ y $\rho \propto 1/a^3$ da $S^2 \propto 1/a^3$ y comprime el módulo hacia $S_{\text{máx}}$ [DERIVADO]. El rebote es estructural, y con él desaparece la singularidad que ΛCDM hereda de la relatividad general sin resolver.

9.2 La señal de energía oscura dinámica de DESI (borde: régimen no lineal)

Los análisis de DESI (2024–2025) [2, 3], al ajustar la expansión con una parametrización de energía oscura dinámica, infieren $w_0 > -1$ hoy. En PIU el fondo tiene $w = -1$ exacto (§5), de modo que esta señal no puede ser una desviación física de $w = -1$: es el artefacto de forzar un medio con $w = -1$ dentro de un molde paramétrico que no le corresponde. El signo del artefacto está derivado. La densidad y la presión del sector de fondo se leen del tensor de energía–momento del campo del módulo (§7):

$$\rho = \frac{1}{2}\rho_P\ell_P^2\dot{S}^2 + V_{\text{eff}}, \quad p = \frac{1}{2}\rho_P\ell_P^2\dot{S}^2 - V_{\text{eff}}, \quad (25)$$

de donde la ecuación de estado $w \equiv p/\rho$ cumple

$$w + 1 = \frac{p + \rho}{\rho} = \frac{\rho_P\ell_P^2\dot{S}^2}{\frac{1}{2}\rho_P\ell_P^2\dot{S}^2 + V_{\text{eff}}} = \frac{2\delta}{\delta + 1} \geq 0, \quad \delta \equiv \frac{\frac{1}{2}\rho_P\ell_P^2\dot{S}^2}{V_{\text{eff}}}, \quad (26)$$

donde $\delta \geq 0$ es el cociente entre la energía cinética del módulo y la potencial. Equivalentemente $w = (\delta - 1)/(\delta + 1)$, que en el suelo ($\delta = 0$, $\dot{S} = 0$) da $w = -1$ exacto y para cualquier excitación ($\delta > 0$) da $w > -1$. Por la positividad de la cinética canónica, cualquier residuo empuja la w inferida por encima de -1 (hacia quintaesencia), nunca por debajo (hacia la región fantasma) [DERIVADO]. Esa es exactamente la dirección que DESI reporta. La predicción es falsable: la señal debe disolverse en observables crudos (el patrón D_H/r_d , el ángulo acústico sin procesar); si se consolidara en $w_0 < -1$, la región fantasma que la cinética veta, PIU quedaría refutado.

9.3 La tensión de Hubble (borde: un factor de estado leído como constante)

ΛCDM trata H_0 como una constante y la mide por dos vías —el fondo cósmico de microondas (≈ 67) [1] y la escalera de distancias local (≈ 73) [4]— que disienten en más de 5σ . En PIU, $H_0 = \sqrt{\Theta}$ es la hora de un reloj, un factor de estado posicional de tipo A (§6), no una constante. La discrepancia se lee entonces con dos afirmaciones

distintas. Primero, el valor local (73) no es válido como valor de fondo. La edad del universo se obtiene de la ecuación maestra integrando $H = \dot{a}/a$: como $dt = da/(aH)$,

$$t_0 = \int_0^1 \frac{da}{a H(a)}, \quad H(a) = H_0 \sqrt{\Omega_m a^{-3} + \Omega_\Lambda}, \quad (27)$$

de modo que el producto adimensional $A \equiv H_0 t_0$ depende solo de Ω_m (con $\Omega_\Lambda = 1 - \Omega_m$):

$$A(\Omega_m) = \int_0^1 \frac{da}{a \sqrt{\Omega_m a^{-3} + \Omega_\Lambda}} = \frac{2}{3\sqrt{1 - \Omega_m}} \operatorname{arcsinh} \sqrt{\frac{1 - \Omega_m}{\Omega_m}}. \quad (28)$$

Con la densidad de materia derivada del programa, $\Omega_m = 1 - f_c = 0,3131$ (§10), esto da el techo $A(w=-1) = 0,9526$ [DERIVADO]. El techo es condicional a sus dos entradas —la densidad de materia Ω_m y la ecuación de estado $w = -1$, ambas derivadas en el mismo sector—, y $A(\Omega_m)$ es monótona: un Ω_m mayor lo baja, uno menor lo sube, y solo un $w < -1$ lo elevaría por encima de la unidad. Un fondo con la edad observada del universo ($t_0 \approx 13,8$ Gyr) y $H_0 = 73$ exigiría en cambio $A = H_0 t_0 \approx 1,030$, por encima del techo; alcanzarlo requeriría $\Omega_m < 0$ o $w < -1$ —la región fantasma vetada por la positividad cinética del borde anterior. El valor $H_0 = 67,4$ da $A = 0,951$, por debajo del techo y por tanto permitido. Así, el 73 es correcto como lectura de la escalera local, pero queda excluido como valor de fondo del reloj [DERIVADO]. Segundo: como PIU y Λ CDM coinciden a orden lineal (§7), la brecha entre 67 y 73 no puede ser física de expansión. La corrección no lineal de PIU al fondo primordial es de centésimas de porcentaje ($\approx 0,02\%$), no del 8% que separaría 67 de 73. Esto no es un fallo de PIU: es la evidencia de la tesis. Si las dos descripciones coinciden donde Λ CDM ancla su 67, la brecha con el 73 tiene que ser un artefacto de leer un factor de estado como si fuera una constante. La predicción es que la tensión se atenúa o disuelve en observables independientes del modelo.

9.4 El crecimiento de estructura (borde: arrastre ponderomotriz de fase)

El cuarto borde toca el crecimiento de la estructura, cuantificado por $f\sigma_8(z)$. PIU predice aquí un efecto que Λ CDM no contiene: una fuerza de arrastre sobre la materia, mediada por las ondas de fase del Telón (§5), cuya forma se deriva del término cinético de $F1$. El término cinético pondera la fase por el módulo, $\mathcal{L}_{\text{cin}} = \frac{1}{2} \rho_P c^2 \ell_P^2 [(\partial S)^2 + S^2(\partial\theta)^2]$, y es ese factor S^2 el que acopla los dos sectores. Sustituyendo la perturbación del vacío relajado, $\Psi = (S_{\text{mín}} + \delta S) e^{i(\theta_0 + \delta\theta)}$, y reteniendo hasta segundo orden, el término de fase da

$$S^2(\partial\delta\theta)^2 = \underbrace{S_{\text{mín}}^2(\partial\delta\theta)^2}_{\text{onda libre}} + \underbrace{2S_{\text{mín}}\delta S(\partial\delta\theta)^2}_{\text{acoplamiento onda-materia}} + \mathcal{O}(\delta^3), \quad (29)$$

cuyo término cruzado liga la perturbación del módulo (la materia, δS) con la energía de la onda de fase. No es un ingrediente añadido: es el segundo orden del mismo

término cinético que, a primer orden, da las ecuaciones libres del módulo y la fase. Promediando sobre las oscilaciones rápidas de fase, la fuerza de arrastre por unidad de densidad de materia se sigue por variación respecto a δS :

$$\mathbf{F}_{\text{arrastre}} = -\rho_P c^2 \ell_P^2 S_{\text{mín}} \nabla \langle (\partial \delta \theta)^2 \rangle \quad [\text{DERIVADO}]. \quad (30)$$

La fuerza es ponderomotriz, y tres propiedades se leen de su forma. Una onda uniforme no arrastra: el efecto requiere modulación de amplitud, $\nabla \langle (\partial \delta \theta)^2 \rangle \neq 0$. La onda, sin masa, viaja a c y supera a la materia, que la sigue parcialmente. El signo $\mathbf{F} = -\nabla \langle \dots \rangle$ atrae la materia hacia los mínimos de agitación de fase. De ahí se sigue una consecuencia local con signo definido: una *anti-correlación* entre la agitación de fase de la energía oscura y la sobredensidad de materia —la materia se asienta donde la fase está tranquila—, distinguible en principio de la estructura que produce la sola curvatura emergente [DLF]. El efecto *neto* sobre la tasa de crecimiento, en cambio, no se lee de la fuerza local aislada: resulta de la dinámica acoplada módulo–fase, que se resuelve abajo por la clase a la que pertenece el acoplamiento. En lenguaje cosmológico, el arrastre es un acoplamiento efectivo energía–oscura–materia, una quinta fuerza mediada por las ondas de fase que se suma a la curvatura emergente del Pleno. Su estructura es la de un *acoplamiento de momento* entre el sector de energía oscura (la fase θ del Telón) y la materia (el módulo δS): el mismo término cinético liga el gradiente de la fase con la perturbación del módulo, y lo hace sin acoplamiento a nivel del fondo —el arrastre es puramente perturbativo, existe sobre el Telón homogéneo cualquiera que sea su ecuación de estado. Esa firma —acoplamiento en las perturbaciones pero no en el fondo— es exactamente la que define la clase de modelos de transferencia de momento puro entre materia oscura y energía oscura estudiada por Pourtsidou, Skordis y Copeland [21] (su modelo de Tipo 3) y por Pourtsidou y Tram [22]. Para esa clase, el efecto sobre el crecimiento está establecido: el acoplamiento de momento comunica a la materia un flujo peculiar adicional que compite con el colapso gravitacional en la ecuación de continuidad y *suprime* el crecimiento de estructura, un resultado que Chamings, Avgoustidis, Copeland, Green y Pourtsidou [23] demuestran ser genérico de los acoplamientos de este tipo. El arrastre ponderomotriz de PIU realiza físicamente ese acoplamiento de momento —la fuerza $\mathbf{F} = -\nabla \langle (\partial \delta \theta)^2 \rangle$ es su forma explícita—, de modo que su efecto sobre $f\sigma_8$ hereda el signo de la clase: **suprime el crecimiento de estructura respecto de Λ CDM**, en la dirección de la tensión S_8 observada. La localización temporal del efecto también está determinada: gana peso relativo hacia el presente ($z \rightarrow 0$), por el mismo mecanismo estructural por el que la energía oscura crece en peso relativo mientras su densidad física decrece —la materia diluye como a^{-3} y la agitación de fase, un modo sin masa de tipo radiación, como a^{-4} , de modo que el arrastre gana importancia frente a la gravedad-motriz a medida que el universo envejece [DLF]. Lo robusto es el signo del crecimiento relativo, no su exponente exacto. El observable legítimo con que confrontar no es la «tensión S_8 » —una cantidad dependiente de Λ CDM, pues σ_8 es una salida del ajuste de seis parámetros—, sino $f\sigma_8(z)$ medido crudo (distorsiones de redshift, cizalla cósmica). El arrastre es un efecto perturbativo de las ondas $\delta\theta$, independiente de que el fondo tenga $w = -1$ exacto: su firma vive en el crecimiento de estructura, no en la ecuación de estado del fondo ni en la señal w_0 – w_a de DESI. Así, el mecanismo (el acoplamiento

onda-materia) está **derivado** del segundo orden de $F1$; su clase (transferencia de momento sin acoplamiento de fondo) y con ella el signo del efecto (*supresión* del crecimiento) están fijados por la correspondencia con la literatura de acoplamiento de momento [21–23]; y su localización temporal ($z \rightarrow 0$) es [DLF]. Lo único que resta es la *magnitud* [CALIBRADO] —un coeficiente de eficiencia de orden unidad que fija cuánta de la agitación de fase se transfiere al crecimiento tardío, y que espera el cómputo perturbativo completo o una simulación del medio. El sector S_8 se alinea así con los otros tres bordes: PIU aporta un mecanismo derivado y un signo —en la dirección observada—, con la magnitud declarada como cabo abierto.

10 El sector oscuro: derivación cuantitativa del 95%

El sector oscuro es donde la ignorancia de Λ CDM es máxima y el poder derivacional de PIU es más completo, y por eso es el terreno donde la comparación entre las dos descripciones tiene mayor palanca. En Λ CDM, la materia oscura y la energía oscura son dos parámetros de origen desconocido: el modelo ajusta sus densidades a los datos, pero no ofrece un mecanismo para su existencia, ni una explicación de su naturaleza, ni una razón para su proporción. En PIU no hay dos sustancias oscuras que postular, sino un medio modulado de dos maneras, y las dos cantidades se derivan en detalle con el álgebra explícita: la razón entre materia oscura y bariónica, $\sqrt{3}\pi$, y la fracción de energía oscura, f_c .

10.1 La materia oscura: naturaleza y transparencia

La materia oscura, en PIU, son configuraciones del módulo del tipo Q-ball [17]: solitones sin carga topológica de *winding*, cuya estabilidad la sostiene una carga de Noether global —la fase interna rota, $\theta \neq 0$, y esa rotación *es* su carga $U(1)$ (axioma A5)—, no una carga gauge acoplada al fotón. La materia ordinaria, en cambio, son solitones con carga topológica bariónica $B = 1$: la configuración enrolla en $\pi_3(SU(2)) = \mathbb{Z}$, con el entero B el número de winding, y esa carga no puede deshacerse sin desenrollar la configuración. De esta distinción se sigue, derivada, la transparencia de la materia oscura. El acoplamiento al fotón —el modo de fase gauge $U(1)_{\text{em}}$ que emerge sobre la bipartición A/B de la red— requiere carga gauge, distinta tanto del número bariónico B como de la carga de Noether global de la Q-ball. La Q-ball no porta esa carga gauge: su rotación de fase es global, no la holonomía local que se acopla al fotón. No emite, absorbe ni refleja luz; es gravitacionalmente activa —curva la métrica emergente como cualquier configuración con masa— pero electromagnéticamente inerte. Donde Λ CDM constata que la materia oscura no interactúa con la luz, PIU deriva la razón de la clasificación del defecto.

10.2 La razón $\Omega_{MO}/\Omega_M = \sqrt{3}\pi$: derivación

La razón cosmológica entre materia oscura y bariónica no es un parámetro ajustado. Se obtiene del cociente de las funciones de partición semiclásicas de las dos clases de solitón, evaluadas en el régimen saturado posterior a la cristalización. Para cada clase

$i \in \{M, MO\}$, la función de partición se expande en cinco factores,

$$\mathcal{Z}_i = \underbrace{e^{-S_E[\Psi_i^*]/\hbar}}_{(\alpha) \text{ acción clásica}} \cdot \underbrace{\mathcal{N}_i}_{(\beta) \text{ norm.}} \cdot \underbrace{\mathcal{V}_i^{\text{moduli}}}_{(\gamma) \text{ moduli}} \cdot \underbrace{\det'_{\text{surf}}}_{(\delta) \text{ superficie}} \cdot \underbrace{\chi_{\text{FR}}^{(i)}}_{(\varepsilon) \text{ estadística}}, \quad (31)$$

y el peso de cada sector es $W_i = \mathcal{Z}_i$. La razón buscada emerge de la cancelación controlada de estos factores, no de un producto heurístico de constantes. **Pilar 1 — las áreas de frontera y por qué el peso es lineal en el área.** El escalado del peso con el área es un hecho de energía *clásica*, no de fluctuación cuántica, y conviene establecerlo con cuidado porque la vía correcta no es la ingenua. En el régimen saturado la cota dura de Gent del axioma A6 hace divergir la curvatura del potencial en el interior del defecto, $V''_{\text{eff}}(S) \propto (S_{\text{máx}} - S)^{-2}$, y con ella el coste de toda deformación interna del módulo: las fluctuaciones quedan confinadas a una cáscara de frontera de espesor $\xi \rightarrow 0$. Esa supresión tiene una consecuencia exacta y verificable sobre el determinante de fluctuaciones del módulo, $\det'(-K\nabla^2 + V''_{\text{eff}})$: su término de *volumen* —el coeficiente de Seeley-DeWitt a_0 , proporcional a $\int_{\Omega} d^3x$ — es común a ambas clases (mismo suelo saturado, mismo V'' de bulk) y *se cancela idénticamente en el cociente*; una integración de Gelfand-Yaglom del perfil radial lo confirma numéricamente (la parte de volumen del log-determinante renormalizado es independiente del tamaño del defecto, $d(\log \det_{\text{ren}})/dL \rightarrow 0$). Lo que sobrevive al cociente es el primer invariante sensible a la frontera, el coeficiente de borde a_1 , estrictamente proporcional al área con coeficiente universal (idéntico para esfera y tetraedro). Ahora bien, ese determinante gaussiano contribuye al peso como $\exp(-\frac{1}{2} \log \det) \sim \exp(-\sigma A_i)$: es *exponencial* en el área, no lineal, y por sí solo daría un cociente $\exp[-\sigma(A_S - A_T)]$, no la razón de áreas buscada. La linealidad en el área —la que produce A_S/A_T — no proviene del determinante, sino de la *masa efectiva* del solitón, que es energía clásica de pared. La contribución de la cáscara de frontera es una pared de dominio del módulo entre el interior del defecto y el mar $S_{\text{mín}}$, con tensión superficial

$$\Sigma = \int \sqrt{2V_{\text{eff}}(S)} dS \quad (\text{pared BPS}), \quad (32)$$

de modo que la masa del solitón es $m_i = \Sigma A_i$. La tensión Σ depende *solo* del potencial V_{eff} , que es el mismo para ambas clases: Σ es por tanto universal y se cancela en el cociente de masas, dejando $m_{MO}/m_M = A_S/A_T$ exacto y lineal. Es esta lectura clásica —masa igual a tensión universal por área— la que fija la dependencia lineal; el determinante de superficie solo garantiza, por la cancelación de su término de volumen, que ninguna contribución de bulk contamina el cociente. El factor (δ) de la partición se entiende así de forma precisa: no es el origen de la linealidad, sino el control de que el bulk no la rompe. El área que cada clase ocupa está forzada por su topología. Para la materia oscura (Q-ball, $B = 0$), la fase no enrolla y la frontera es libre de relajar. La energía de superficie que el Lagrangiano le asigna es el término de gradiente $\frac{1}{2}\rho_P c^2 \ell_P^2 |\nabla S|^2$, manifiestamente isótropo. A volumen fijo, ese funcional se minimiza por la esfera (teorema isoperimétrico), de modo que la geometría esférica

no se postula sino que es el mínimo del funcional:

$$A_S = 4\pi R^2. \quad (33)$$

Para la materia ordinaria (solitón, $B = 1$), la fase enrolla, y ese enrollamiento ancla el defecto a la red: no puede deslizarse ni redondearse sin desenrollar la carga, lo que la conservación topológica prohíbe. La frontera queda clavada a los nodos, y la región mínima que contiene un nodo con su coordinación tetraédrica $Z = 4$ es su celda de Voronoi, un tetraedro (único 2-diseño esférico de cuatro puntos [13]). Su área se sigue de la geometría de esa celda: un tetraedro regular con circunradio R tiene arista $a = R\sqrt{8/3}$ y área total $\sqrt{3}a^2$, de modo que

$$A_T = \sqrt{3} \left(R\sqrt{8/3} \right)^2 = \sqrt{3} \cdot \frac{8}{3} R^2 = \frac{8\sqrt{3}}{3} R^2. \quad (34)$$

Pilar 2 — el factor espinorial (factor γ). Los dos grupos de moduli proyectan de manera distinta a observables. La materia ordinaria es fermiónica: su solitón tipo skyrmión vive en $SU(2) \cong S^3$, con estadística fermiónica obligatoria para B impar (rotación de 2π con factor $(-1)^B$ [12], teorema de Finkelstein-Rubinstein [11]). La materia oscura es escalar y vive en $SO(3)$. El cociente de los volúmenes invariantes es exacto,

$$\frac{\text{Vol}(SO(3))}{\text{Vol}(SU(2))} = \frac{\pi^2}{2\pi^2} = \frac{1}{2} \quad (SO(3) \cong SU(2)/\mathbb{Z}_2), \quad (35)$$

de modo que la materia ordinaria sufre una reducción $\frac{1}{2}$ al proyectar de $SU(2)$ a los observables $SO(3)$, y la materia oscura no la sufre. **Los factores que cancelan.** Los otros tres factores no contribuyen al cociente. La acción clásica (α) cancela porque ambos sectores se estabilizan en el mismo suelo de saturación, con acciones iguales. La normalización (β) cancela porque las condiciones de frontera asintóticas, y con ellas los grupos de simetría asintótica, son idénticas. La estadística de Finkelstein-Rubinstein (ε) distingue la interpretación cuántica de cada clase (materia fermiónica, materia oscura bosónica), pero no las densidades medias, para las que interviene $|\chi_{\text{FR}}|^2 = 1$ en ambos casos. **El puente a las densidades de energía.** Queda el paso que conecta el cociente de masas con el cociente de densidades cosmológicas. La densidad de energía de cada clase es $\rho_i = n_i m_i$, con n_i la densidad numérica y $m_i = \Sigma A_i$ la masa de superficie (32). La razón de densidades hereda la razón de áreas por dos hechos estructurales del medio, cada uno con un frente de refinamiento declarado. El primero es la **igualdad de densidades numéricas al cristalizar**, $n_{MO}/n_M = 1$. Ambas clases nucleon sobre el mismo Pleno-suelo con la misma densidad de estados de superficie, de modo que la cristalización deposita el mismo número de defectos por clase; la dilución posterior es común a ambas ($n_i \propto L^{-3}$, materia no relativista) y se cancela en el cociente [DERIVADO]. El refinamiento pendiente —si la nucleación de Kibble-Zurek [9, 10] introduce una corrección de densidad dependiente de la clase— es un cálculo de severidad baja sobre un resultado ya derivado, no un hueco en él [CABO: NUCLEACIÓN POR CLASE]. El segundo es la **dominancia de la energía de pared**: el exceso de energía de cada solitón sobre el mar es su pared de superficie ΣA_i , con las

fluctuaciones internas suprimidas por la divergencia de Gent $V'' \propto (S_{\text{máx}} - S)^{-2}$ que confina el módulo a una cáscara de espesor evanescente. Esto fija $m_i \propto A_i$ [DERIVADO]. Que la energía de carga de Noether ωQ de la Q-ball no altere el cociente —al ser común su contabilización sobre el mismo suelo— se cierra por completo con la masa de la Q-ball saturada desde $F1$, un frente declarado de severidad baja [CABO: RÉGIMEN DE PARED VS. CARGA]. Con ello,

$$\frac{\rho_{MO}}{\rho_M} = \frac{n_{MO} m_{MO}}{n_M m_M} = \frac{n_{MO}}{n_M} \cdot \frac{\Sigma A_{MO} g_{MO}}{\Sigma A_M g_M} = \frac{A_{MO} g_{MO}}{A_M g_M}, \quad (36)$$

donde g_i es el factor de proyección de moduli del Pilar 2 (la reducción espinorial $\frac{1}{2}$ de la clase fermiónica) y la tensión universal Σ se cancela. La razón numérica es la unidad y la dilución común se cancela, de modo que la razón de densidades de energía en el régimen tardío queda fijada por la geometría de las fronteras y el factor de moduli, sin más ingredientes. **Ensamblaje.** Reuniendo los factores que no cancelan:

$$\frac{\Omega_{MO}}{\Omega_M} = \frac{W_{MO}}{W_M} = \frac{A_S \cdot 1}{A_T \cdot \frac{1}{2}} = \frac{2A_S}{A_T} = \frac{2 \cdot 4\pi R^2}{(8\sqrt{3}/3)R^2} = \frac{8\pi}{8\sqrt{3}/3} = \frac{3\pi}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}\pi. \quad (37)$$

Numéricamente, $\sqrt{3}\pi = 1,7321 \times 3,1416 = 5,4414$. El valor de Planck 2018 es $\Omega_{\text{dm}}/\Omega_b = 5,375 \pm 0,077$ [1], de modo que el acuerdo es de $0,86\sigma$, con cero parámetros libres y cero entrada observacional. La cadena es una derivación completa [DERIVADO]: cada eslabón —la geometría de las dos fronteras, el mínimo isoperimétrico y el anclaje de Voronoi, el factor $\frac{1}{2}$ de Peter-Weyl, la cancelación del término de volumen del determinante y la masa de superficie con tensión universal— se sigue de $F1$ sin ningún número ajustado. Los dos frentes de refinamiento del puente no alteran ese estatus: operan sobre eslabones ya derivados y son de severidad baja, del mismo modo que la corrección de orden superior de una cantidad calculada no rebaja el orden que ya está establecido. Dos rasgos acompañan a este resultado. Primero, es robusto frente a la dependencia de modelo: el cociente $\Omega_{MO}/\Omega_M = \omega_{\text{dm}}/\omega_b$ cancela el factor h^2 , de modo que se compara contra densidades físicas leídas directamente de las alturas de los picos acústicos, no contra parámetros que heredarían supuestos de ΛCDM ; las alturas de los picos fijan el blanco con poca libertad, así que ΛCDM no puede elegirlo para coincidir con PIU. Segundo, la geometría de entrada admite una prueba de que no es una coincidencia de búsqueda. Fijado un conjunto de átomos ($\{1, 2, 3, 4, \pi, e\}$) y de operaciones (suma, resta, producto, cociente, raíz, logaritmo, cuadrado), el espacio de expresiones algebraicas hasta complejidad cinco tiene del orden de cuatro mil elementos distintos; la fracción de ese espacio que cae dentro de la ventana de dos sigma alrededor del valor observado de $\Omega_{\text{dm}}/\Omega_b$ es del orden de 10^{-2} , y la de Ω_Λ del mismo orden, de modo que la probabilidad de que dos expresiones reproduzcan *ambas* cantidades a la vez es $\sim 10^{-4}$. Ese número es una propiedad del conjunto de átomos y operaciones declarados, no una constante universal, y el script suplementario lo recomputa con esos supuestos a la vista, de modo que cualquiera puede variar el conjunto y ver cómo cambia. Su lectura es acotada: no prueba la teoría, sino que descarta que reproducir $\sqrt{3}\pi$ desde geometría simple sea genérico. [CALIBRADO] El programa desarrolla, separadamente, un factor de Bayes que pondera además la calidad del ajuste en

cada ancla y que sitúa la evidencia contra la hipótesis de coincidencia en la categoría decisiva de la escala de Jeffreys [18]. Ese cálculo no se reproduce en este trabajo — depende de la construcción bayesiana completa del corpus [20], no de la enumeración de arriba, y encadenar los dos sería mezclar cantidades de cómputos distintos—; se remite al corpus para reproducirlo, no como autoridad sino como código abierto que el lector puede correr.

10.3 La energía oscura: qué es, y su ecuación de estado

La energía oscura es el Telón: el condensado de fase del Pleno en su estado de mínima excitación, en el suelo $S_{\min}$, con la fase de fondo en reposo ($\dot{\theta}_0 = 0$). En ese estado el cuadvivector de reposo del sector desaparece y el tensor energía-momento es proporcional a la métrica,

$$T_{\mu\nu} \propto g_{\mu\nu} \implies p = -\rho \implies w = -1 \text{ exacto.} \quad (38)$$

La densidad es $\rho_{\text{EO}} = \rho_P c^2 S_{\min}^2$ —el valor del potencial del módulo $V(S) = \rho_P c^2 S^2$ evaluado en el suelo, sin las contribuciones de pared que solo actúan lejos de él—, estructuralmente constante porque tanto el ancla como el suelo son fijos; lo que crece con el tiempo cósmico es solo el peso relativo Ω_{EO} , porque la materia diluye mientras la densidad del Telón permanece. Que este $w = -1$ sea derivado y no postulado, y por qué eso distingue a PIU de un modelo de quintaesencia, se trató en el mapeo del parámetro w (§8.3). El mismo suelo $S_{\min}$ que fija $w = -1$ fija también las dos cantidades geométricas de esta sección, $\sqrt{3}\pi$ y f_c .

10.4 La fracción de energía oscura f_c : estructura derivada, valor posicional

La fracción de energía oscura se escribe como el cociente de dos cotas del módulo,

$$f_c \equiv \frac{S_{\max, \text{eff}}^2}{S_{\max, \text{geom}}^2}, \quad (39)$$

y aquí el patrón geometría-fija $\times$ posición se ve con transparencia, en una gradación epistémica precisa. El **denominador** $S_{\max, \text{geom}}^2$ está derivado de primeros principios: es la capacidad máxima del modo coherente, fijada por el empaquetamiento de la red. La cota dura del axioma A6 corresponde a la densidad de empaquetamiento máxima (Kepler-Hales) relativa a la densidad estructural de la red diamante, y ese cociente tiene forma cerrada,

$$S_{\max, \text{geom}}^2 = \frac{n_{\text{FCC}}^{\max}}{n_{\text{diamante}}} = \frac{\sqrt{2}/\ell_P^3}{3\sqrt{3}/(8\ell_P^3)} = \frac{8\sqrt{2}}{3\sqrt{3}} = \frac{8}{3}\sqrt{\frac{2}{3}} \approx 2,1773, \quad (40)$$

geometría pura de la red, sin ningún parámetro libre. El **numerador** $S_{\max, \text{eff}}^2$ es posicional: mide la ocupación efectiva del modo coherente en el presente, es decir, en qué punto de su trayectoria de relajación quedó el módulo del universo, fijado por la

condición inicial del rebote. Su valor actual, $S_{\text{máx,eff}}^2 \approx 1,4956$, no es una constante atemporal derivable, sino una cantidad de estado, en pie de igualdad con la constante de Hubble —una lectura de reloj. El cociente da entonces

$$f_c = \frac{S_{\text{máx,eff}}^2}{S_{\text{máx,geom}}^2} = \frac{1,4956}{2,1773} \approx 0,6869, \quad (41)$$

que coincide con Ω_Λ observado a $0,30\sigma$, y $\Omega_m = 1 - f_c \approx 0,3131$ a $0,27\sigma$ de Planck. El estatus de este resultado es más débil que el de $\sqrt{3}\pi$: la estructura del cociente está derivada con cero parámetros de ajuste cosmológico —no se ajusta nada contra el valor observado de Ω_{EO} , y por eso la predicción no es circular—, pero el numerador se calibra a la física del régimen actual, no se deriva como número cerrado. PIU explica *qué es* la energía oscura y *por qué* tiene $w = -1$, y sitúa su cantidad exacta en la misma categoría que la hora del reloj cósmico: una lectura del estado del universo, no una constante derivable.

Conviene precisar la relación entre este $\Omega_m = 1 - f_c \approx 0,3131$ y la “tensión de Ω_m ” entre sondas —que la geometría BAO y el análisis de forma completa de DESI sitúan cerca de 0,296, y el CMB cerca de 0,315— para evitar una lectura errónea. Los dos números no son el mismo objeto y no compiten. El 0,3131 de aquí es una cantidad *posicional*, heredada del numerador calibrado $S_{\text{máx,eff}}^2$; no es una predicción rígida del programa, sino una lectura de estado con la misma dependencia de modelo que su blanco Ω_Λ , y por eso su acuerdo se declara más débil. El 0,296, en cambio, es el valor que ajusta las *distancias* BAO independientes del CMB. La cantidad que PIU sí fija sin libertad en este sector no es ninguno de los dos Ω_m , sino la razón de densidades *físicas* $\omega_{\text{dm}}/\omega_b = \sqrt{3}\pi$, que cancela h^2 y vive en la capa robusta —la que la tensión de Ω_m no toca—, donde el acuerdo es de $0,86\sigma$. La tensión de Ω_m es una disputa sobre la partición $\Omega_m = \omega_m/h^2$ de una densidad física común, es decir sobre el reparto (Ω_m, h) , no sobre la densidad robusta que el programa predice; el trabajo dedicado al sector de DESI [24] desarrolla esta lectura en detalle. La predicción cerrada de PIU, por tanto, no elige un lado de esa tensión: la elude, situándose en la capa donde el observable no depende del reparto.

10.5 El contraste, y por qué no es un ajuste local

ΛCDM describe el 95 % del universo con dos parámetros cuya naturaleza deja abierta. PIU no tiene ese 95 % de ignorancia: la existencia y la naturaleza de ambas componentes se siguen del Lagrangiano, la proporción mutua se deriva de geometría pura, y la fracción de energía oscura se factoriza en una parte geométrica derivada y una parte posicional. ΛCDM acierta al cuantificar dos componentes que no puede explicar; PIU explica qué son, por qué existen y por qué en esa proporción, y recupera los mismos números. La fuerza de estos resultados no reside en el sector oscuro tomado aparte, sino en que las mismas escalas (ρ_P, ℓ_P) que dan G y $\hbar$, y la misma geometría de red que da las cargas de las partículas, fijan también $\sqrt{3}\pi$ y f_c . No son ajustes locales de un modelo de energía oscura, sino consecuencias de un sustrato ya restringido por la gravedad y la mecánica cuántica. El problema de la constante cosmológica lo ilustra: la pregunta de por qué la densidad del vacío es unos 120 órdenes de magnitud menor

que la de Planck —el peor ajuste fino del modelo estándar— ni siquiera se plantea en Λ CDM como resoluble. En PIU se reformula: ese número no es una densidad diminuta que explicar, sino la lectura posicional de un universo viejo medido en tics de Planck. La partición se reduce a la fracción de orden uno $f_c \approx 0,69$, y la escala absoluta al inverso del cuadrado de la edad en tics; no hay que explicar el exponente, sino contar cuántos tics ha corrido el reloj, y eso es una edad, no un parámetro afinado.

11 Confrontación, falsabilidad y cabos declarados

Una teoría de fundamentación se juzga por dos cosas: que su clasificación de las anomalías conocidas sea coherente, y que declare con exactitud lo que aún no cierra. A esas dos exigencias se antepone una tercera, más básica: que sus números sean reproducibles sin fe. Cada cantidad derivada de este trabajo —el suelo $S_{\min} = 12(\pi^2 - 4)/\pi^4$, la cota $S_{\max, \text{geom}}^2 = (8/3)\sqrt{2/3}$, la razón $\sqrt{3}\pi$ del sector oscuro, la fracción f_c , la coordinación $Z = 4$ fijada por el escalado $1/Z^2$, el mínimo del potencial efectivo y la barrera de casi seis órdenes que convierte la singularidad en rebote— se recompone desde las definiciones estructurales del medio, sin ningún valor ajustado, en un script de verificación de una sola ejecución que acompaña este trabajo. Lo que el script establece es acotado y exacto: que cada número del cuerpo se sigue de las definiciones geométricas sin ajuste oculto, que las tres formas de la ecuación maestra son idénticas término por término, que $\sqrt{3}\pi$ es adimensional —las escalas ρ_P , c , ℓ_P se cancelan—, y que la tensión de pared se cancela en el cociente del sector oscuro. Los datos de Planck entran solo como vara de confrontación, declarados como externos. El script no prueba la teoría —verifica la consistencia interna del cuerpo y aborta ante cualquier discrepancia fuera de tolerancia—, y esa es exactamente su función: garantizar que ningún resultado descansa en un número metido a mano. Los tres números que el sector fija — $\sqrt{3}\pi$, f_c y la coordinación $Z = 4$ — coinciden con cantidades ya medidas, y esa coincidencia es una retrodicción, no una predicción a priori: el aparato reproduce un valor que la observación ya había establecido. La distinción importa para leer el peso de la evidencia con exactitud. Una retrodicción es débil cuando el valor observado entró como entrada del cálculo —entonces la coincidencia es tautológica— y fuerte cuando no entró. Aquí no entró: la geometría de la red diamante fija $\sqrt{3}\pi$ sin un solo parámetro cosmológico ajustado, y el script confirma que las escalas del medio se cancelan idénticamente en el cociente. Un número derivado por vía propia que cae a $0,86\sigma$ de una densidad bien constreñida es una coincidencia improbable bajo la hipótesis de que la geometría de entrada fuera arbitraria; llegar al valor correcto por un camino independiente no lo cuestiona, sino que ofrece otra forma de ver el mismo hecho. La fuerza probatoria está precisamente en que el cálculo pudo haber dado cualquier otro número y dio el medido. Confrontada con la lista de tensiones vivas del modelo estándar, cada una cae en un factor posicional leído como constante o en una modulación del medio no contenida en Λ CDM: la tensión de Hubble y la señal DESI como factores de estado (tipo A y tipo B respectivamente), la desviación de $f\sigma_8$ como la fuerza de arrastre ponderomotriz de fase. Como control negativo, la curvatura Ω_K —que en PIU es geométrica, no posicional— no debería mostrar tensión posicional, y en efecto se disuelve al combinar datos, tal como se predice. Que las tensiones

vivas sean posicionales y el control geométrico no lo sea es evidencia a favor de la lectura. La falsabilidad es explícita y múltiple. El programa se rompe si la tensión de Hubble persiste en observables independientes del modelo en lugar de disolverse; si la señal de DESI se consolida en la región fantasma $w_0 < -1$ que la cinética veta, o persiste como $w_0 > -1$ en observables crudos; si la corrección no lineal de la expansión arroja un signo incompatible con las oscilaciones acústicas sin procesar; o si el crecimiento de estructura crudo exige una desviación grande de origen no astrofísico que el arrastre de fase no puede producir. Cada tensión es, a la vez, una predicción con signo y una vía de refutación. El estatus del programa se sitúa con esto entre la conjetura y la teoría establecida, y conviene nombrarlo con exactitud. Es falsable: cada tensión declara la medición que lo rompería. Está parcialmente confirmado, pero solo en el sentido preciso de que sus consecuencias necesarias ya contrastables han pasado sus pruebas —la igualdad estructural $v_\gamma = v_{\text{GW}}$, exigida por la unicidad del cono causal, verificada por GW170817 a una parte en 10^{15} ; la recuperación de G y $\hbar$ dentro del 0,1 %— sin que ninguna de ellas sea todavía discriminante frente a la relatividad general o a ΛCDM . Lo que decidiría el estatus permanece pendiente: las predicciones que *solo* PIU hace —el signo de la desviación de DESI en observables crudos, la supresión de $f\sigma_8$, la corrección ultravioleta de dispersión— son predicciones a ciegas sobre cantidades aún no medidas con la precisión necesaria. El programa no reclama, por tanto, ser física establecida; reclama ser un marco falsable cuyas retrodicciones son numerosas y cuya confirmación discriminante espera al dato. Cuatro cabos permanecen abiertos en el sector tratado. El primero es la magnitud del arrastre ponderomotriz de $f\sigma_8$: el acoplamiento y la forma de la fuerza están derivados del segundo orden de $F1$, y el signo del efecto —supresión del crecimiento— queda fijado por la clase de acoplamiento de momento a la que pertenece, pero la magnitud depende de la amplitud de las perturbaciones de fase, que no está fijada sin input adicional, y permanece calibrada —el cómputo cerrado requiere análisis perturbativo completo o simulación del medio. El segundo es la corrección no lineal fina de $H(z)$ que introducen las paredes de Gent y Klauder a los desplazamientos al rojo accesibles, y si es medible en el BAO D_H/r_d crudo; de ella depende el valor exacto del techo $A(w=-1)$ del argumento de Hubble. Los dos restantes conciernen a la derivación de $\sqrt{3}\pi$ (§10.2) y no tocan ni la geometría de entrada —derivada— ni el resultado numérico —robusto a $0,86\sigma$ —, sino dos refinamientos de régimen del puente a densidades, cada uno sobre un eslabón ya derivado: la igualdad de densidades numéricas al cristalizar, $n_{MO}/n_M = 1$, cuyo posible ajuste por clase mediante la nucleación de Kibble-Zurek resta por calcular; y la contabilización de la energía de carga de la Q-ball, que se cierra con la masa del solitón saturado desde $F1$. Ninguno de los cuatro afecta a las afirmaciones centrales; los cuatro marcan el frente de investigación siguiente.

12 Conclusión

Este trabajo ha derivado ΛCDM entero como el límite lineal de la dinámica de fondo de un único medio —el Pleno—, y ha mostrado que su relación con PIU- Ψ es la que la termodinámica guarda con la mecánica estadística: no una teoría rival, sino la teoría

del sustrato que le da contenido y le marca los límites. Λ CDM funciona con la precisión que funciona porque su límite lineal es exacto en las dos anclas observacionales —la época actual y el último scattering—, y falla, cuando falla, exactamente en los bordes donde ese límite se agota. Ahí está la lectura que unifica las tres tensiones que hoy ocupan a la cosmología. La de Hubble, la señal de energía oscura dinámica de DESI y la desviación del crecimiento de estructura no son física nueva ni anomalías sin causa: son la firma —de una descripción efectiva analizada bajo supuestos estáticos y con parámetros que son salidas del propio ajuste que se busca trascender— de un régimen lineal usado más allá de su borde. En dos de ellas, Hubble y DESI, PIU deriva el signo de la desviación desde primeros principios y lo declara falsable sobre observables crudos, independientes de Λ CDM. En la tercera, el crecimiento de estructura, el arrastre ponderomotriz de fase realiza un acoplamiento de momento entre materia y energía oscura —de la clase estudiada por Pourtsidou, Skordis y Copeland [21–23], cuya firma es acoplar en las perturbaciones pero no en el fondo—, y su efecto sobre el crecimiento es la supresión, en la dirección de la tensión observada. Cada una es falsable: si la tensión de Hubble persiste en lugar de disolverse, si la señal de DESI se consolida en la región fantasma que la cinética veta, o si el crecimiento crudo exigiera un *aumento* del crecimiento que un acoplamiento de momento no puede producir, el programa queda refutado. El sector oscuro es donde la lectura tiene mayor palanca, y donde el título de este trabajo se cumple. El 95 % del universo que Λ CDM cuantifica sin explicar deja de ser una ignorancia parametrizada: la materia oscura y la energía oscura son dos modulaciones de un solo medio, con su naturaleza derivada —por qué la materia oscura es transparente a la luz, por qué la energía oscura tiene $w = -1$ exacto— y su proporción fijada por la geometría de la red. La razón entre materia oscura y bariónica es $\sqrt{3}\pi$, un número puro de las áreas del defecto; la fracción de energía oscura se factoriza en una capacidad geométrica derivada y una lectura posicional del estado del universo. El 95 % oscuro es, en la parte que la teoría fija, geometría del sustrato; en la parte que no, la hora del reloj cósmico —no una constante que explicar, sino un estado que leer. Que la cosmología reciba esta lectura no es un resultado local, y ahí reside su peso. Los mismos ρ_P y ℓ_P que dan G y $\hbar$ fijan las proporciones cosmológicas; la misma geometría de red que da las cargas fraccionales de los quarks da la razón materia oscura/bariónica. Un solo sustrato reproduce a la vez escalas gravitacionales, cuánticas y cosmológicas, y esa coherencia —no un ajuste afortunado del sector oscuro— es lo que sostiene la lectura de Λ CDM como límite efectivo y lo que distingue a PIU de un modelo más de energía oscura. Λ CDM no queda refutado: queda fundamentado, con su dominio de validez derivado y sus bordes explicados. Cuatro cabos quedan abiertos en el sector tratado —la magnitud del arrastre ponderomotriz de $f\sigma_8$, la corrección no lineal fina de $H(z)$ en el BAO crudo, y dos refinamientos de régimen del puente a densidades del sector oscuro—, ninguno de los cuales afecta a las afirmaciones centrales; todos marcan el frente siguiente. El sector cosmológico es, además, una parte de un programa más amplio que aplica el mismo medio y el mismo Lagrangiano a las ecuaciones de Einstein, al Modelo Estándar y al origen topológico del espín, con las derivaciones, los scripts de verificación y el compendio completo depositados abiertamente en Zenodo [20] y reseñados en piuniversal.com. La invitación no es a creer estos resultados, sino a reproducirlos y a

intentar romperlos: cada tensión de Λ CDM es, a la vez, una predicción con signo del sustrato y una vía por la que el programa puede caer. Si el Pleno es correcto, su firma está en los observables crudos, esperando a ser leída.

Disponibilidad de datos y código

El corpus completo de PIU- Ψ V5.0, con todas las derivaciones y el compendio matemático, está depositado abiertamente en Zenodo (DOI 10.5281/zenodo.21205881). El script de verificación numérica que recompone desde las definiciones geométricas del medio cada cantidad derivada de este trabajo, y confirma su consistencia interna, acompaña el artículo como material suplementario. Los datos observacionales de confrontación proceden de Planck 2018 [1] y DESI [2, 3], públicamente disponibles.

References

- [1] Planck Collaboration (Aghanim, N., et al.): Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. *Astron. Astrophys.* **641**, A6 (2020)
- [2] DESI Collaboration (Adame, A.G., et al.): DESI 2024 VI: cosmological constraints from the measurements of baryon acoustic oscillations. *J. Cosmol. Astropart. Phys.* **2025**(02), 021 (2025)
- [3] DESI Collaboration (Abdul-Karim, M., et al.): DESI DR2 results II: measurements of baryon acoustic oscillations and cosmological constraints. *arXiv:2503.14738* (2025)
- [4] Riess, A.G., et al.: A comprehensive measurement of the local value of the Hubble constant with 1 km/s/Mpc uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES team. *Astrophys. J. Lett.* **934**, L7 (2022)
- [5] Di Valentino, E., et al.: The CosmoVerse White Paper: addressing observational tensions in cosmology with systematics and fundamental physics. *Phys. Dark Universe* **49**, 101965 (2025)
- [6] Sakharov, A.D.: Vacuum quantum fluctuations in curved space and the theory of gravitation. *Dokl. Akad. Nauk SSSR* **177**, 70–71 (1967)
- [7] Visser, M.: Sakharov’s induced gravity: a modern perspective. *Mod. Phys. Lett. A* **17**, 977–991 (2002)
- [8] Jacobson, T.: Thermodynamics of spacetime: the Einstein equation of state. *Phys. Rev. Lett.* **75**, 1260–1263 (1995)
- [9] Kibble, T.W.B.: Topology of cosmic domains and strings. *J. Phys. A* **9**, 1387–1398 (1976)

- [10] Zurek, W.H.: Cosmological experiments in superfluid helium? *Nature* **317**, 505–508 (1985)
- [11] Finkelstein, D., Rubinstein, J.: Connection between spin, statistics, and kinks. *J. Math. Phys.* **9**, 1762–1779 (1968)
- [12] Krusch, S.: Homotopy of rational maps and the quantization of skyrmions. *Ann. Phys.* **304**, 103–127 (2003)
- [13] Delsarte, P., Goethals, J.M., Seidel, J.J.: Spherical codes and designs. *Geom. Dedicata* **6**, 363–388 (1977)
- [14] Klauder, J.R.: The benefits of affine quantization. *J. High Energy Phys. Gravit. Cosmol.* **6**, 175–185 (2020)
- [15] Gent, A.N.: A new constitutive relation for rubber. *Rubber Chem. Technol.* **69**, 59–61 (1996)
- [16] Weinberg, S.: Phenomenological Lagrangians. *Physica A* **96**, 327–340 (1979)
- [17] Coleman, S.: Q-balls. *Nucl. Phys. B* **262**, 263–283 (1985)
- [18] Jeffreys, H.: *Theory of Probability*, 3rd edn. Oxford University Press, Oxford (1961)
- [19] CODATA: Tiesinga, E., Mohr, P.J., Newell, D.B., Taylor, B.N.: CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2018. *Rev. Mod. Phys.* **93**, 025010 (2021)
- [20] Celedón Mejía, M.A.: PIU- Ψ V5.0: a single elastic medium as substrate for gravity, quantum mechanics, the Standard Model, and cosmology. Zenodo, DOI 10.5281/zenodo.21205881 (2026)
- [21] Pourtsidou, A., Skordis, C., Copeland, E.J.: Models of dark matter coupled to dark energy. *Phys. Rev. D* **88**, 083505 (2013)
- [22] Pourtsidou, A., Tram, T.: Reconciling CMB and structure growth measurements with dark energy interactions. *Phys. Rev. D* **94**, 043518 (2016)
- [23] Chamings, F.N., Avgoustidis, A., Copeland, E.J., Green, A.M., Pourtsidou, A.: Understanding the suppression of structure formation from dark matter–dark energy momentum coupling. *Phys. Rev. D* **101**, 043531 (2020)
- [24] Celedón Mejía, M.A.: La señal de energía oscura dinámica de DESI como tensión de Ω_m : el fondo $w = -1$ de PIU- Ψ y la predicción robusta del sector oscuro. Zenodo (2026)