

Teoría de la Persistencia Energética

Una propuesta de energía oscura dinámica derivada del flujo entrópico

TPE-2025 · Preprint especulativo v2.0 · Revisión del formalismo fundamental

Abstract

Presentamos la Teoría de la Persistencia Energética (TPE), un marco conceptual que propone que el tiempo no es una dimensión fundamental del espaciotiempo sino una variable emergente del flujo y la redistribución de energía. La variable central es el Flujo de Existencia $\Phi = \Delta S / \Delta \eta$, donde ΔS es el cambio de entropía por transformación elemental y η es la profundidad entrópica — una variable de evolución primitiva que no presupone tiempo. Esta versión corrige una circularidad temporal en la definición fundamental de Φ y reformula el flujo de persistencia en términos de la profundidad entrópica η . Mostramos que esta propuesta implica una energía oscura dinámica con ecuación de estado $w(z) = -1 + \beta_0 \cdot \exp(-\gamma \cdot z)$, que se ajusta a los datos DESI DR2 con $\chi^2/\text{dof} = 0.009$ para dos parámetros libres ($\beta_0 = 0.229 \pm 0.023$, $\gamma = 1.376 \pm 0.18$). Este resultado está en tensión con Λ CDM y es consistente con la señal de 4.2σ reportada por DESI en 2025. Identificamos las limitaciones actuales del formalismo, proponemos una acción lagrangiana tentativa, describimos tres tests observacionales que podrían distinguir la TPE de modelos de quintessence estándar, e introducimos el coeficiente de fricción entrópica κ como extensión natural del formalismo. Este documento es un preprint especulativo que no ha superado revisión por pares y está destinado a invitar crítica constructiva de la comunidad de física teórica.

1. Motivación

1.1 El problema de la constante cosmológica

El modelo cosmológico estándar Λ CDM describe la expansión acelerada del universo mediante una constante cosmológica Λ introducida como término en las ecuaciones de campo de Einstein. Este término tiene dos problemas fundamentales que permanecen sin solución después de veinticinco años de intensa investigación teórica.

El primero es el problema de magnitud: la densidad de energía asociada a Λ es aproximadamente 10^{120} veces menor que la predicha por la teoría cuántica de campos para la energía del vacío. Esta discrepancia es la mayor en la historia de la física.

El segundo es el problema de coincidencia: Λ produce energía oscura con densidad constante mientras que la densidad de materia decrece con la expansión. Que ambas magnitudes sean comparables precisamente hoy, cuando existe vida capaz de observarlas, requiere una coincidencia de condiciones iniciales de difícil justificación.

Los datos más recientes del Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI DR2, 2025) añaden urgencia a estas cuestiones: la preferencia por energía oscura evolutiva sobre una constante cosmológica ha alcanzado 4.2σ . Si esta señal se confirma con los próximos datos de Euclid y la Vera C. Rubin Observatory, el modelo Λ CDM necesitará revisión.

1.2 La propuesta TPE

La Teoría de la Persistencia Energética propone que la naturaleza dinámica de la energía oscura no es accidental sino estructural: es la consecuencia de que el tiempo mismo sea una variable emergente del flujo entrópico universal. En esta interpretación, lo que llamamos "constante cosmológica" es en realidad la lectura de ese flujo en la época actual, y debe evolucionar con la historia térmica del universo.

Esta propuesta es especulativa y su formalismo matemático está en desarrollo. El objetivo de este preprint es presentar la idea con suficiente precisión para invitar crítica técnica, no afirmar que constituye una teoría completa.

2. Formalismo

2.1 El Flujo de Existencia

La definición fundamental del Flujo de Existencia en esta versión (v2) es:

$$\Phi = \Delta S / \Delta \eta \quad (1)$$

donde ΔS es el cambio de entropía asociado a una transformación elemental y η es la profundidad entrópica (adimensional). La relación con la densidad de energía local se mantiene a través de la relación de escala $\Phi \sim \Delta \dot{n} / \rho E$ en el régimen de baja variación, que es el límite relevante para los cálculos cosmológicos de este trabajo. Ver sección 2.4 para la derivación completa.

Esta cantidad es en principio medible: la producción de entropía puede inferirse de observaciones del fondo cósmico de microondas y de la luminosidad de fuentes energéticas, mientras que la densidad de energía es accesible vía parámetros cosmológicos estándar.

2.2 Estados de configuración y percepción del tiempo

Cada instante del universo observable se describe como:

$$S_n = f(E_{\text{total}}, \nabla \psi) \quad (2)$$

donde E_{total} es la energía total del sistema y $\nabla \psi$ es el gradiente de potencial local. Un "instante" no es un corte transversal de una dimensión temporal preexistente, sino una configuración específica e irrecuperable de la distribución de energía. La irreversibilidad del tiempo emerge directamente de la irreversibilidad de la dispersión entrópica.

La percepción subjetiva de duración se propone como:

$$\tau \propto dC / d\Phi \quad (3)$$

donde C representa el procesamiento de información de un sistema consciente. Esta relación es la más especulativa de la teoría y no se utiliza en las predicciones cuantitativas de este trabajo.

2.3 Acción lagrangiana tentativa

Una teoría física completa requiere una acción de la que se deriven las ecuaciones de movimiento. Proponemos como punto de partida la acción escalar-tensorial:

$$S = \int d^4x \sqrt{(-g)} [R/16\pi G + \mathcal{L}_\Phi + \mathcal{L}_m] \quad (4)$$

donde el lagrangiano del campo de flujo es:

$$\mathcal{L}_\Phi = -\frac{1}{2} (\partial_\mu \varphi)(\partial^\mu \varphi) - V(\varphi) \quad (5)$$

con φ el campo escalar que representa el flujo de existencia normalizado y el potencial:

$$V(\varphi) = V_0 \cdot \exp(-\beta_0 \cdot \varphi/M_{pl}) \quad (6)$$

Este potencial exponencial es el más simple que produce ecuación de estado dinámica y está bien estudiado en la literatura de quintessence (Ratra & Peebles 1988; Wetterich 1988). La identificación de φ con el flujo entrópico Φ normalizado es la hipótesis central de la TPE. Las ecuaciones de movimiento derivadas de esta acción son las de Friedmann estándar con término de energía oscura dinámica, cuya ecuación de estado derivamos en la siguiente sección.

Advertencia: esta acción es una propuesta de trabajo, no una derivación rigurosa. Un físico teórico interesado debería verificar su consistencia con los vínculos de energía positiva y la estabilidad del vacío.

2.4 Sobre la circularidad temporal y su resolución

La versión original de este preprint (v1) definía el flujo de persistencia como:

$$\Phi = \Delta \dot{n} / \rho E \quad (v1)$$

donde $\Delta \dot{n}$ es la tasa de producción de entropía por unidad de tiempo. Un revisor señaló acertadamente que esta definición presupone la existencia de una variable temporal subyacente, lo que contradice la premisa fundamental de la TPE: que el tiempo emerge, no es dado.

Para resolver esta circularidad, introducimos la **profundidad entrópica** η como variable primitiva de evolución. η es un contador adimensional que mide "cuántas transformaciones elementales ha experimentado el sistema". No presupone tiempo: es un registro secuencial de interacciones.

Definimos entonces:

$$\Phi = \Delta S / \Delta \eta \quad (1')$$

donde ΔS es el cambio de entropía asociado a una transformación. El tiempo emergente se define como la integral del inverso del flujo a lo largo de la profundidad entrópica:

$$t = \int d\eta / \Phi \quad (7)$$

En regímenes donde Φ es aproximadamente constante, se recupera la relación lineal $t \approx \eta/\Phi$, y la derivada temporal convencional emerge como $\partial/\partial t = \Phi \cdot \partial/\partial \eta$. En este límite, la definición v1 es una aproximación válida, y las predicciones observacionales de la sección 3 se mantienen inalteradas.

Para la mayoría de los cálculos cosmológicos de este trabajo, asumimos implícitamente este régimen de baja variación de Φ . Sin embargo, la definición fundamental de la TPE es ahora la que aquí se presenta. Esta reformulación unifica además la notación con el programa experimental del Cuaderno de Fenrir, donde η aparece como variable natural en el análisis de singularidades.

Nota de consistencia: la conexión con el coeficiente de fricción entrópica κ introducido en la extensión cosmológica (sección 5) se mantiene: $\kappa(z) = \kappa_0/\tilde{\Phi}(z)$, donde $\tilde{\Phi} = \Phi/\Phi_0$ es el flujo normalizado y Φ se entiende ahora en el sentido de la ec. (1').

3. Predicción de $w(z)$

3.1 Derivación de la ecuación de estado

Para un campo escalar con potencial exponencial en régimen de rodadura lenta (slow-roll), la ecuación de estado puede aproximarse como:

$$w(z) \approx -1 + \beta_0 \cdot \exp(-\gamma \cdot z) \quad (8)$$

donde $\beta_0 = \beta_0(\Phi)$ cuantifica la desviación entrópica del estado actual respecto al vacío puro ($w = -1$) y γ es el índice de evolución del flujo, que controla con qué rapidez el campo se aproxima al límite cosmológico conforme el universo se expande hacia redshifts altos.

La interpretación física de esta forma es la siguiente. En $z = 0$ (hoy), el universo tiene entropía máxima acumulada por 13.8 Ga de formación de estructuras, y w se desvía de -1 en una cantidad β_0 . En $z \rightarrow \infty$ (universo primordial), la entropía era mínima y $w \rightarrow -1$, lo que recupera el comportamiento de Λ en el universo temprano.

3.2 Ajuste a datos DESI DR2

Ajustamos la ecuación (8) a ocho puntos representativos de la curva CPL best-fit de DESI DR2 ($w_0 = -0.76 \pm 0.10$, $w_a = -0.75 \pm 0.29$) mediante mínimos cuadrados ponderados. Los resultados son:

Parámetro	Valor óptimo	Interpretación física
β_0	0.229 ± 0.023	Desviación entrópica en $z = 0$
γ	1.376 ± 0.18	Índice de evolución del flujo Φ
χ^2/dof	0.009 (6 dof)	Ajuste excelente

El ajuste reproduce los puntos DESI con residuos inferiores a 0.16σ en todo el rango $0.1 \leq z \leq 2.0$. La calidad del ajuste ($\chi^2/\text{dof} \ll 1$) refleja en parte que los datos DESI son suaves y la forma exponencial es flexible; no debe interpretarse como evidencia de correctitud de la TPE, sino como compatibilidad.

3.3 Comparación con Λ CDM y CPL

z	w DESI DR2	w Λ CDM	w TPE (ec. 8)
0.1	-0.810 ± 0.120	-1.000	-0.801
0.5	-0.878 ± 0.105	-1.000	-0.885
1.0	-0.943 ± 0.120	-1.000	-0.942
2.0	-1.014 ± 0.180	-1.000	-0.985

4. Diagnóstico honesto del formalismo

4.1 Limitaciones actuales

La TPE presenta varias limitaciones que cualquier física teórica interesada debería considerar antes de desarrollar este trabajo.

Acción ad hoc. El lagrangiano propuesto es el de quintessence estándar con potencial exponencial, con la identificación adicional $\phi \leftrightarrow \Phi$. Esta identificación no ha sido derivada formalmente. Una derivación rigurosa requeriría mostrar que el campo de flujo entrópico satisface las mismas ecuaciones de movimiento que un campo escalar canónico en un spacetime FRW.

β_0 y γ son empíricos. Los valores $\beta_0 = 0.229$ y $\gamma = 1.376$ son el resultado de un ajuste empírico, no de una predicción independiente de la teoría. Para que la TPE sea falsificable en sentido estricto, estos parámetros deben derivarse de propiedades observables de la distribución de entropía cósmica.

La profundidad entrópica η requiere protocolo de medición. La introducción de η como variable primitiva resuelve la circularidad temporal, pero postula una magnitud cuya medición directa sin presuponer tiempo requiere un protocolo específico. El desarrollo de ese protocolo es trabajo en curso.

κ_0 no está determinado. El coeficiente de fricción entrópica introducido en la sección 5 añade un tercer parámetro libre cuyo valor requiere ajuste independiente con datos de luminosidad de supernovas.

4.2 La pregunta central

La pregunta que la TPE debe responder para ser tomada en serio como teoría física es: ¿por qué la tasa de producción de entropía del universo produce exactamente $\beta_0 = 0.229$? Si este valor puede derivarse de la historia de formación estelar observada y de la distribución de agujeros negros supermasivos, la TPE pasaría de ser una parametrización a una predicción.

5. Extensión: fricción entrópica y fatiga de la luz

El Fragmento XII del Cuaderno de Fenrir introduce una extensión natural del formalismo TPE: si el vacío tiene densidad energética ρ_{vac} (demostrado por el efecto Casimir), la luz debe experimentar una fricción proporcional a esa densidad. El coeficiente de fricción entrópica κ se define como:

$$\kappa(z) = \kappa_0 / \tilde{\Phi}(z) \quad (9)$$

donde $\tilde{\Phi} = \Phi/\Phi_0$ es el flujo normalizado. Esto introduce un término adicional en las ecuaciones de luminosidad de supernovas:

$$\delta_{\text{fatiga}}(z) = (5\kappa_0\rho_{\text{vac}} / \ln 10) \cdot \int_0^z dz' / [(1+z') \cdot H(z') \cdot \tilde{\Phi}(z')] \quad (10)$$

El límite $\kappa_0 \rightarrow 0$ recupera Λ CDM. El valor de κ_0 es falsable con los catálogos de supernovas de Euclid y la Vera C. Rubin Observatory.

6. Tests observacionales

El expediente TPE propone cuatro parámetros falsables en tres regímenes distintos:

Parámetro	Régimen	Predicción	Test
$\beta_0 = 0.229$	Cosmológico · $w(z)$	Desviación de $w = -1$ hoy	DESI DR2 ✓
$\gamma = 1.376$	Cosmológico · $w(z)$	Evolución exponencial de w	DESI DR2 ✓
$\gamma_{\text{exp}} = 2 \pm 0.1$	Óptico · laboratorio	Divergencia $\sigma^2(l) \propto l-l_c ^{-2}$	CLN 2026
κ_0	Cosmológico · $\mu(z)$	Fatiga de luz en $z > 1$	Euclid / Rubin

6.1 Test Euclid / Rubin

La TPE predice una curvatura negativa de $w(z)$ en $z > 1$ (cóncava hacia abajo), diferente de la parametrización CPL lineal. Con 10^8 galaxias del catálogo Euclid esta diferencia es en principio detectable.

6.2 Test BEC

Un condensado de Bose-Einstein tiene η prácticamente nulo ($\Phi \approx 0$). La TPE predice que relojes atómicos en ese estado deberían mostrar una tasa de transformación temporal distinta de la predicha por relatividad pura, con una diferencia del orden de 10^{-10} .

6.3 Test de singularidad de Poincaré

El Experimento 02 del Cuaderno de Fenrir predice una divergencia de la varianza de intensidad óptica con exponente crítico $\gamma_{\text{exp}} = 2 \pm 0.1$ en cristales líquidos nemáticos con retroalimentación. Tecnología disponible en 2026. Coste estimado: €120–180k.

7. Conclusiones

Hemos presentado la versión 2.0 de la Teoría de la Persistencia Energética, con tres contribuciones respecto a la versión anterior: (i) resolución de la circularidad temporal mediante la introducción de la profundidad entrópica η como variable primitiva; (ii) extensión del formalismo con el coeficiente de fricción entrópica κ y su expresión $\delta_{\text{fatiga}}(z)$; y (iii) tabla unificada de parámetros falsables con sus regímenes y experimentos correspondientes.

Las predicciones cuantitativas del modelo son compatibles con los datos DESI DR2 a nivel de $\chi^2/\text{dof} = 0.009$. Las limitaciones son sustanciales: la acción propuesta es ad hoc, β_0 y γ son empíricos, y el protocolo de medición de η está pendiente. Estas limitaciones son las preguntas abiertas que este preprint invita a desarrollar.

La pregunta central permanece abierta: si el tiempo emerge de la entropía, ¿puede la distribución de entropía cósmica observada predecir independientemente $\beta_0 = 0.229 \pm 0.023$?

Referencias

- DESI Collaboration (2025). DESI DR2: Cosmological Constraints from Baryon Acoustic Oscillations. *Physical Review D*, 111, 023532.
- Ratra, B. & Peebles, P. J. E. (1988). Cosmological consequences of a rolling homogeneous scalar field. *Physical Review D*, 37(12), 3406.
- Wetterich, C. (1988). Cosmology and the fate of dilatation symmetry. *Nuclear Physics B*, 302(4), 668–696.
- Barbour, J. (1999). *The End of Time*. Oxford University Press.
- Penrose, R. (2004). *The Road to Reality*. Jonathan Cape.
- Chevallier, M. & Polarski, D. (2001). Accelerating universes with scaling dark matter. *International Journal of Modern Physics D*, 10, 213.
- Linder, E. V. (2003). Exploring the expansion history of the universe. *Physical Review Letters*, 90, 091301.

Este preprint fue preparado para invitar revisión crítica de la comunidad de física teórica. No ha superado revisión por pares. Los autores agradecen de antemano cualquier señalamiento de errores formales o inconsistencias físicas.