

Estudio Dinámico Canónico de la Ley de Conservación en TCDS desde el Principio de Acción Mínima

Proyecto TCDS / MSL, México

Octubre 2025

Abstract

Se deriva la conservación total de materia–información en TCDS desde una acción local y parsimoniosa para dos campos escalares, coherencia Σ y sustrato informacional χ , acoplados por un portal cuadrático. La continuidad global $\dot{M}_b = -\dot{M}_\chi$ y $M_b + M_\chi = \text{const}$ emerge como identidad de Noether, no como postulado. Se formulan tasas locales de conversión $\Gamma_{\chi \rightarrow b}$, el cierre mesoscópico efectivo, vínculos geométricos mínimos y un programa de falsación con KPIs. Se incluye autocrítica técnica.

1 Acción parsimoniosa y EOM

Campos reales Σ, χ sobre métrica $g_{\mu\nu}$:

$$S = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \Sigma \partial_\nu \Sigma + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \chi \partial_\nu \chi - V(\Sigma, \chi) \right], \quad (1)$$

$$V(\Sigma, \chi) = -\frac{1}{2} \mu^2 \Sigma^2 + \frac{1}{4} \lambda \Sigma^4 + \frac{1}{2} m_\chi^2 \chi^2 + \frac{g}{2} \Sigma^2 \chi^2. \quad (2)$$

Ecuaciones de Euler–Lagrange:

$$\square \Sigma + \mu^2 \Sigma - \lambda \Sigma^3 - g \Sigma \chi^2 = 0, \quad \square \chi - m_\chi^2 \chi - g \Sigma^2 \chi = 0. \quad (3)$$

Ruptura espontánea: $\Sigma = \Sigma_0 + \sigma$, con $\Sigma_0 = \mu/\sqrt{\lambda}$ y $m_\sigma = \sqrt{2}\mu$.

2 Conservación total por Noether

El tensor canónico simetrizado:

$$T^{\mu\nu} = \sum_{\phi \in \{\Sigma, \chi\}} \partial^\mu \phi \partial^\nu \phi - g^{\mu\nu} \mathcal{L}, \quad \nabla_\mu T^{\mu\nu} = 0. \quad (4)$$

Separando densidades visibles (bariónicas) y de sustrato,

$$\rho_b \equiv \rho_{\text{vis}}(\sigma, \text{SM}), \quad \rho_\chi \equiv \frac{1}{2} \dot{\chi}^2 + \frac{1}{2} (\nabla \chi)^2 + \frac{1}{2} m_\chi^2 \chi^2 + \frac{g}{2} \Sigma^2 \chi^2, \quad (5)$$

y aislando el flujo de interacción inducido por g ,

$$\partial_t \rho_b + \nabla \cdot \mathbf{j}_b = +\Gamma_{\chi \rightarrow b}, \quad \partial_t \rho_\chi + \nabla \cdot \mathbf{j}_\chi = -\Gamma_{\chi \rightarrow b}. \quad (6)$$

Integrando en un volumen V con flujo neto nulo en la frontera:

$$\dot{M}_b = -\dot{M}_\chi, \quad M_b + M_\chi = \text{constante}. \quad (7)$$

La ley de conservación clásica es el límite $\Gamma_{\chi \rightarrow b} \rightarrow 0$.

3 Mecanismo local de conversión $\chi \rightarrow b$

Se adopta la forma fenomenológica mínima, positiva y covariante:

$$\Gamma_{\chi \rightarrow b}(x) = \kappa_0 \Sigma^2 \chi^2 + \kappa_1 (\nabla \Sigma)^2 \chi^2 + \kappa_\phi \phi \Sigma^2 \chi^2, \quad (8)$$

donde ϕ es fricción de sincronización efectiva. En regímenes ordinarios $\Sigma \approx \Sigma_0$, $\nabla \Sigma \approx 0 \Rightarrow \Gamma \approx 0$, recuperando conservación bariónica local.

4 Cierre mesoscópico y control

El *coarse-graining* sobre el CGA define la dinámica efectiva:

$$\partial_t \Sigma = \alpha \Delta \Sigma - \beta \phi + Q, \quad Q_{\text{ctrl}} = -\gamma(\Sigma - \Sigma_{\text{tgt}}) - \delta \partial_t \Sigma. \quad (9)$$

El portal modula la masa efectiva $m_\chi^2 \rightarrow m_\chi^2 + g\Sigma^2$, alterando $\Gamma_{\chi \rightarrow b}$. Esto ancla realizaciones en hardware (FET) y bancos $\nabla \Sigma$.

5 Vínculo geométrico mínimo

Ansatz conforme económico para estudiar geodésicas influenciadas por Σ :

$$g_{\mu\nu}^{(\Sigma)} = \Omega^2(\Sigma) \eta_{\mu\nu}, \quad \Omega(\Sigma) = e^{\kappa \Sigma}. \quad (10)$$

A primer orden se sigue el vínculo operativo $R \propto \nabla^2 \Sigma$, útil para óptica/“lentes” de coherencia sin violar covarianza.

6 Observables y KPIs

-metrics: $R(t)$, índice de locking LI , y $RMSE_{SL}$.

- FET: objetivos $LI \geq 0.9$, $R > 0.95$, $RMSE_{SL} < 0.1$.
- Fuerzas cortas (Yukawa): $V(r) = -\frac{g_{\text{eff}}^2}{4\pi} \frac{e^{-m_\sigma r}}{r}$.
- Relojes ópticos: deriva correlacionada por fondo $\sigma(t)$ (Allan deviation).
- Bancos $\nabla \Sigma$: empuje sub- μN con controles nulos térmicos/EMI.

7 Programa de falsación

F1. FET: mapear lenguas de Arnold vs. amplitud A_c ; estimar (γ, δ) ; extraer firma de reducción efectiva de ruido ligada a κ_0 .

F2. Sub-mm: curvas de exclusión para (m_σ, g) mediante torsión/AFM.

F3. Metrología de tiempo: búsqueda de modulación anual/diaria coherente con $\sigma(t)$.

F4. Macroentornos : cotas a Γ en discos de acreción vía balances energéticos sin violar $M_b + M_\chi$.

8 Parsimonia y unicidad del modelo

Dos campos, un portal y potencial sombrero bastan para: ruptura, mediador σ , conversión $\chi \rightarrow b$ y conservación total. Términos extra (derivadas altas, cúbicos mixtos, no local) no aumentan el poder explicativo básico y añaden grados de libertad innecesarios.

9 Resultados lógicos

1. Conservación clásica \Rightarrow límite $\Gamma \rightarrow 0$.
2. Conservación extendida \Rightarrow identidad de continuidad total de Noether.
3. Origen causal \Rightarrow activación de Γ por Σ y ϕ en dominios extremos.

Apéndice A: Bosón de coherencia

Expansión alrededor del vacío: $\Sigma = \Sigma_0 + \sigma$, $V \supset \frac{1}{2}m_\sigma^2\sigma^2$ con $m_\sigma = \sqrt{2}\mu$. Rango de interacción corto: $\lambda_\sigma = \hbar/(m_\sigma c)$.

Apéndice B: Esbozo de Noether

Bajo traslaciones infinitesimales $x^\mu \rightarrow x^\mu + \epsilon^\mu$ y variaciones de campo $\delta\phi = \epsilon^\nu \partial_\nu \phi$, $\delta S = \int d^4x \sqrt{-g} \nabla_\mu T^\mu{}_\nu \epsilon^\nu = 0 \Rightarrow \nabla_\mu T^\mu{}_\nu = 0$. La partición $\{\rho_b, \rho_\chi\}$ induce ecuaciones de continuidad con fuentes opuestas $\pm\Gamma_{\chi \rightarrow b}$ que cancelan globalmente.

Autocrítica

Chequeo de simetrías. Acción local \Rightarrow covarianza y conservación de energía-momento. La separación b/χ puede doble-contabilizar; aquí se define ρ_b sin solaparse con términos del portal.

Identificabilidad. Parám. correlacionados $\{\mu, \lambda, g, \kappa_i\}$ requieren múltiples canales (FET, torsión, relojes) para rotación del espacio de parámetros.

Riesgos instrumentales. Γ fenomenológica puede confundirse con térmico/EMI: se exigen ciegos, dispositivos nulos, preregistro y replicación inter-lab.

Límites. Si m_σ grande o g pequeño $\Rightarrow \Gamma$ indetectable; el marco sigue conservativo pero pierde poder predictivo práctico.

Razón de confianza. La conservación total no se impone; se deriva de la acción mínima y Noether. El resto conecta con observables y KPIs definidos.