Anexos técnicos TMRCU — EFT, mapa grav./PPN y límites experimentales
Fecha: 2025-08-25

Estos anexos entregan (i) un **Lagrangiano EFT** para el campo de coherencia canonizado `σ` (con supresión explícita por `1/Λ`), (ii) un **esquema Σ→g_{μν}** con fórmulas PPN listadas para traducir tu acoplamiento a límites solares, y (iii) una **tabla mínima de límites experimentales** con su mapeo al modelo (incluye números guía). Señalo siempre **qué vía** sigo para cada ecuación.

I. Lagrangiano EFT corregido (consistente con `1/Λ`)

Vía usada: partimos de un escalar real `σ` con dimensión de masa 1 en 4D y cinética canónica. Todo operador de **dimensión 5** se **suprime por Λ**. Si prefieres trabajar con el orden de coherencia adimensional `Σ`, definimos `σ = f_Σ Σ` y reemplazamos `σ/Λ → (f_Σ/Λ) Σ`.

$$
\mathcal{L}_\text{TMRCU-EFT} = \mathcal{L}_\text{SM} + \frac{1}{2} (\partial_\mu \sigma)(\partial^\mu \sigma) - V(\sigma)
\;+\;
\frac{\kappa_H}{\Lambda}\,\sigma\, H^\dagger H +
\frac{\lambda_{H\sigma}}{2\Lambda^2}\,\sigma^2 H^\dagger H
\;+\;
\sum_{V\in\{B,W,G\}} \frac{c_V}{4\Lambda}\,\sigma\, F^{(V)}_{\mu\nu} F^{(V)\,\mu\nu}
\;+\;
\sum_f \frac{y_f}{\Lambda}\,\sigma\, \bar Q_L H f_R + \text{h.c.}
\;+\;
\frac{c_J}{\Lambda}\,(\partial_\mu \sigma) J^\mu \;.
$$

- **Potencial**: $V(\sigma)=\tfrac{1}{2} m_\sigma^2\sigma^2 + \tfrac{\lambda_3}{3!}\sigma^3 + \tfrac{\lambda_4}{4!}\sigma^4$.
- **Términos gauge**: $F^{(B)}_{\mu\nu}$, $F^{(W)}_{\mu\nu}$, $F^{(G)}_{\mu\nu}$ son los tensores de U(1)_Y, SU(2)_L, SU(3)_c. Tras renormalizar cinética (estilo **dilatón**), emergen vértices $\sigma\to VV$ y variación efectiva de acoplos.
- **Portal Yukawa gauge–invariante**: $\sigma\,\bar Q_L H f_R/\Lambda\Rightarrow\sigma \bar f f$ tras EWSB, sin romper simetrías.
- **Corriente derivativa** $(\partial\sigma)\cdot J /\Lambda$: integrar por partes liga a **divergencias de corrientes** (proporcionales a masas/anomalías).

> **Elección práctica:** si tu objetivo inmediato es **minimizar** violaciones de equivalencia/PPN, toma **acoplo universal** vía gravitación (sección II) y **apaga** c_J y los acoplos no universales a fermiones. Mantén κ_H, c_V pequeños y compatibles con Higgs y relojes atómicos.

II. Esquema $\Sigma \to g_{\mu\nu}$ y fórmulas PPN (gravedad emergente con EFT)

Vía usada: nos basamos en el formalismo estándar de **escalar–tensor** (Damour–Esposito‑Farèse). Trabajamos en **marco de Einstein** con métrica $g_{\mu\nu}$ y acoplo **conforme** de la materia:

$$
S = \int d^4x\,\sqrt{-g}\left[\frac{M_\text{Pl}^2}{2} R - \frac{1}{2}(\partial\sigma)^2 - V(\sigma) \right]
+ S_\text{m}[\psi_i, A^2(\sigma)\, g_{\mu\nu}] \;.
$$

- **Mapa TMRCU:** identifico tu **Σ** operativa como $\Sigma = \sigma/f_\Sigma$. La **métrica física** vista por la materia es $\tilde g_{\mu\nu} = A^2(\sigma) g_{\mu\nu}$. (Un término **disformal** $+ B(\sigma)\,\partial_\mu\sigma\,\partial_\nu\sigma/\Lambda^2$** se puede añadir**, pero lo fijo a cero en el Sistema Solar para evitar dependencias en gradientes cosmológicos.)
- **Función de acoplo:** $\alpha(\sigma) \equiv d\ln A(\sigma)/d\sigma$, y sus valores de fondo $\alpha_0 = \alpha(\sigma_0),\; \beta_0 = d\alpha/d\sigma|_{\sigma=\sigma_0}$.

PPN en términos de (α_0,β_0) (límite cuasi‑estático, campo débil):

$$
\gamma - 1 \approx -\frac{2\alpha_0^2}{1+\alpha_0^2} \simeq -2\alpha_0^2,\qquad
\beta - 1 \approx \frac{1}{2}\,\frac{\beta_0\,\alpha_0^2}{(1+\alpha_0^2)^2} \simeq
\tfrac{1}{2}\beta_0\alpha_0^2\;.
$$

Traducción numérica con Cassini y LLR:

- Cassini (Shapiro): $|\gamma-1| \lesssim 2.3\times10^{-5}$ ⇒ $|\alpha_0| \lesssim \sqrt{|\gamma-1|/2} \approx 3.391e-03$.
- LLR/Nordtvedt: $|\beta-1| \sim 10^{-4}$ ⇒ $|\beta_0| \lesssim 2\,|\beta-1|/\alpha_0^2 \approx 19.1$ **si** α_0 satura Cassini (de lo contrario, el límite en β_0 es más débil).

Elección de $A(\sigma)$ útil: $A(\sigma)=\exp(\alpha_1 \sigma/M_\text{Pl})$ con $|\alpha_1|\lesssim 3\times10^{-3}$ cumple Cassini; $\beta_0 = d\alpha/d\sigma = \alpha_1/M_\text{Pl}$ queda automáticamente pequeño.

III. Tabla mínima de límites experimentales y su mapeo

Vía usada: compilo límites **estándar y recientes** (Cassini/LLR, LHC Higgs, MICROSCOPE, relojes atómicos) y los **traduzco** a los parámetros del EFT cuando procede. Detalles numéricos y fuentes se citan abajo.

> La versión interactiva de esta tabla está visible en esta sesión como “**Límites experimentales mínimos**”.

- **Cassini (Shapiro)**: \(|\gamma-1| \lesssim 2.3\times10^{-5}\) ⇒ \(|\alpha_0| \lesssim 3.391e-03\).
- **LLR/Nordtvedt**: \(\beta-1 \approx (1.2\pm1.1)\times10^{-4}\) ⇒ cota sobre \(\beta_0\) dada \(\alpha_0\).
- **Higgs (CMS Nature 2022; ATLAS Nature 2022)**: \(\mu\approx1\) a nivel \(\sim 6\%\) ⇒ para mezcla universal pura, \(|\sin\theta| \lesssim 0.33\) (depende de supuestos sobre anchos).
- **BR(H→inv.) comb.**: \(\,<10.7\%\) ⇒ restringe \(\Gamma_\text{new}\).
- **MICROSCOPE (WEP)**: \(\eta \sim 10^{-15}\) ⇒ favorece **universalidad** de acoplos a composición.
- **Relojes atómicos**: \(|\dot\alpha/\alpha| \lesssim 10^{-18}\,\text{a}^{-1}\) ⇒ limita **acoplos fotónicos** y/o \(\dot\sigma\) de fondo.

IV. Recomendaciones de parametrización para TMRCU

1. **Gravedad:** adopta marco Einstein con \(A(\sigma)=\exp(\alpha_1 \sigma/M_\text{Pl})\), fija \(|\alpha_1| \le 3\times10^{-3}\).
2. **Higgs-portal:** usa \(\kappa_H/\Lambda, \lambda_{H\sigma}/\Lambda^2\) pequeños para respetar \(\mu\) y BR\((H\to\text{inv})\).
3. **Gauge:** comienza con \(c_B,c_W,c_G\to0\) y activa de forma controlada (revisa \(\sigma\to\gamma\gamma, Z\gamma, gg\)).
4. **Derivativos a fermiones:** fija \(c_J\to0\) por ahora (evitar WEP/clock bounds), o hazlos **universales**.
5. **Disformalidad:** \(B(\sigma)\approx0\) en Solar; explóralo en cosmología o régimen fuerte.

V. Fuentes (principales) para los límites
- **Cassini / Shapiro / γ:** Bertotti et al., *Nature* 425, 374 (2003); ver también Ashby (2010). Resumen reciente: de Mora Losada et al. (2025).
- **β (LLR/Nordtvedt):** Williams et al. (2009); Biskupek et al. (2020, arXiv:2012.12032); reseñas LLR 2018–2025.
- **Higgs (μ, BR_inv):** CMS *Nature* 2022; ATLAS *Nature* 2022; CERN Courier 2023; PDG 2024.
- **WEP (MICROSCOPE):** Touboul et al., *Phys. Rev. Lett.* 129, 121102 (2022).
- **Relojes atómicos / \(\dot\alpha\)):** *Science* 2022; *Phys. Rev. A* 2024 (resúmenes).

Nota final sobre “tiempo emergente” (consistencia RG)
Para ligar tu tesis de “congelamiento del tiempo” (\(\Sigma\to1\)) con la **invariancia local** del tiempo propio, introduce un **funcional de reloj** \(d\tau = \mathcal{F}(\partial\Sigma,\nabla\Sigma,\chi)\,dt\) cuya forma de bajo campo recupere el tiempo propio geodésico en \(\tilde g_{\mu\nu}\). Esto evita contradicciones con observadores en **caída libre** y preserva RG en el límite.

— Fin de anexos —