

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 $1/\Lambda$), (ii) un **esquema $\Sigma \rightarrow g_{\mu\nu}$** 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 $1/\Lambda$)

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 $\sigma = f_\Sigma \Sigma$ y reemplazamos $\sigma/\Lambda \rightarrow (f_\Sigma/\Lambda) \Sigma$.

\$

$\mathcal{L}_{\text{TMRCU-EFT}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{2} (\partial_\mu \sigma)^2 - V(\sigma)$

;\,+;

$\frac{\kappa_H}{\Lambda} \sigma, H^\dagger H + \frac{\lambda_H \sigma^2}{2\Lambda^2}, \sigma^2 H^\dagger H$

;\,+;

$\sum_{V \in \{B, W, G\}} \frac{c_V}{4\Lambda} \sigma, F^\mu{}_\nu(V) F^\nu{}_\mu(V)$

;\,+;

$\sum_f \frac{y_f}{\Lambda} \sigma, \bar{Q}_L H f_R + \text{h.c.}$

;\,+;

$\frac{c_J}{\Lambda} (\partial_\mu \sigma) J^\mu$;

\$

- **Potencial**: $V(\sigma) = \frac{1}{2} m_\sigma^2 \sigma^2 + \frac{\lambda_3}{3!} \sigma^3 + \frac{\lambda_4}{4!} \sigma^4$.

- **Términos gauge**: $F^\mu{}_\nu(B)$, $F^\mu{}_\nu(W)$, $F^\mu{}_\nu(G)$ son los tensores de $U(1)_Y$, $SU(2)_L$, $SU(3)_c$. Tras renormalizar cinética (estilo **dilatón**), emergen vértices $\sigma \rightarrow VV$ y variación efectiva de acoplos.

- **Portal Yukawa gauge-invariante**: $\sigma \bar{Q}_L H f_R / \Lambda \rightarrow \sigma \bar{q} f$ tras EWSB, sin romper simetrías.

- **Corriente derivativa** $(\partial_\mu \sigma) \cdot J^\mu / \Lambda$: 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 $\Sigma \rightarrow g_{\mu\nu}$ 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:

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

- **Mapa TMRCU:** identifico tu Σ operativa como $\Sigma = A^2(\sigma)/f_\Sigma$. 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):

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

Traducción numérica con Cassini y LLR:

- Cassini (Shapiro): $(|\gamma - 1| \lesssim 2.3 \times 10^{-5}) \Rightarrow (|\alpha_0| \lesssim \sqrt{|\gamma - 1|/2} \approx 3.391 \times 10^{-3})$.
- LLR/Nordtvedt: $(|\beta - 1| \sim 10^{-4}) \Rightarrow (|\beta_0| \lesssim 2, |\beta - 1|/\alpha_0^2 \approx 19.1)$ **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 $(|\alpha_1| \lesssim 3 \times 10^{-3})$ 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)**: $|\gamma-1| \lesssim 2.3 \times 10^{-5}$ $\Rightarrow |\alpha_0| \lesssim 3.391 \times 10^{-3}$.
- **LLR/Nordtvedt**: $|\beta-1| \approx (1.2 \pm 1.1) \times 10^{-4}$ \Rightarrow cota sobre β_0 dada α_0 .
- **Higgs (CMS Nature 2022; ATLAS Nature 2022)**: $\mu \approx 1$ a nivel $\sim 6\%$ \Rightarrow para mezcla universal pura, $|\sin\theta| \lesssim 0.33$ (depende de supuestos sobre anchos).
- **BR($H \rightarrow \text{inv.}$) comb.**: $|\cdot| < 10.7\%$ \Rightarrow restringe Γ_{new} .
- **MICROSCOPE (WEP)**: $|\eta| \sim 10^{-15}$ \Rightarrow favorece **universalidad** de acoplos a composición.
- **Relojes atómicos**: $|\dot{\alpha}/\alpha| \lesssim 10^{-18}, |\dot{a}^{-1}| \Rightarrow$ 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 $|\alpha_1| \leq 3 \times 10^{-3}$.
2. **Higgs-portal:** usa $(\kappa_H/\Lambda, \lambda_{H\sigma}/\Lambda^2)$ pequeños para respetar μ y $BR(H \rightarrow \text{inv.})$.
3. **Gauge:** comienza con $(c_B, c_W, c_G \rightarrow 0)$ y activa de forma controlada (revisa $(\sigma/\gamma, Z/\gamma, gg)$).
4. **Derivativos a fermiones:** fija $(c_J \rightarrow 0)$ por ahora (evitar WEP/clock bounds), o hazlos **universales**.
5. **Disformalidad:** $(B(\sigma)) \approx 0$ 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 , $BR_{\text{inv.}}$):** 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” ($\Sigma \rightarrow 1$) con la **invariancia local** del tiempo propio, introduce un **funcional de reloj** $\int d\tau = \int \mathcal{F}(\partial\Sigma, \nabla\Sigma, \chi) dt$ 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 —

Observable, Experimental limit (95% CL approx.), Mapping to TMRCU/Scalar-Tensor, Implied bound, Experimental limit (2σ lower), Mapping, Experimental limit (95% CL), Experimental limit
PPN $\gamma - 1$ (Cassini Shapiro delay), $\lesssim 2.3 \times 10^{-5}$, $|\gamma - 1| \approx 2 \alpha_0^2$, $|\alpha_0| \lesssim 3.391 \times 10^{-3}$,
PPN $\beta - 1$ (LLR/Nordtvedt), $\approx (1.2 \pm 1.1) \times 10^{-4}$, $\beta - 1 \approx \frac{1}{2} \beta_0 \alpha_0^2$ ($\beta_0 \equiv d\alpha/d\sigma$ at background), $|\beta_0| \lesssim 19.13$ (if $|\alpha_0|$ saturates Cassini),
"Higgs signal strength μ (CMS, 2022)", $|\sin\theta| \lesssim 0.33$ (mass-dependent details omitted), $\mu \geq 0.888$, Universal mixing \Rightarrow couplings $\propto \cos\theta \Rightarrow \mu \approx \cos^2\theta$ (no exotic width),
BR($H \rightarrow$ invisible) combined, Model-dependent; enforce $\Gamma_{\text{new}}/\Gamma_{\text{SM}} < 0.12$
aprox., Constrains exotic widths from portal couplings, $\text{BR}_{\text{inv}} < 10.7\%$,
WEP (MICROSCOPE Eötvös η), Favor universal $A(\sigma)$; suppress composition-dependent terms, Composition dependence from non-universal $\alpha_i(\sigma)$ couplings, $\eta \lesssim O(10^{-15})$
Time variation of α (atomic clocks), Model-dependent; typically $|d_e \sigma/\Lambda|$ very small, $\delta\alpha/\alpha \approx d_e \sigma/\Lambda \Rightarrow$ constrains photophilic couplings and σ background, $|\dot{\alpha}/\alpha| \lesssim 10^{-18} \text{ yr}^{-1}$

Qué hice (vías y método)

Partí de un escalar canonizado (dimensión 1 en 4D) y reescribí todos los operadores dim-5 con .

Mapeé tu operativa como y usé un acoplo conforme (escalar–tensor estándar) para derivar PPN en términos de y .

Tradujé los límites Cassini/LLR y LHC Higgs a cotas sobre y mezcla escalar–Higgs; añadí MICROSCOPE (WEP) y relojes atómicos para variación de . Cito fuentes bajo cada afirmación.

Resumen muy breve de lo entregado

1) EFT corregido (coherencia con)

Lagrangiano (ver anexo) con:

cinética canónica para ϕ y potencial $V(\phi)$;

portal escalar ϕ y χ ;

acoplos dilatónicos a gauge $U(1)_X$ para ϕ ;

términos Yukawa gauge-invariantes ;

opcional (lo recomiendo apagar para minimizar tensiones con WEP/PPN y relojes).

2) Esquema ϕ y PPN

En marco de Einstein con materia acoplada a ϕ .

Parámetros PPN (campo débil, cuasiestático):

$$\gamma - 1 \simeq -2\alpha_0^2, \quad \beta - 1 \simeq \frac{1}{2}\beta_0, \quad \alpha_0^2.$$

Con LLR (Nordtvedt) , si β_0 satura Cassini entonces β_0 (más laxo si β_0 es menor).

Elección práctica para TMRCU: con β_0 satisface Cassini cómodamente (anoto cómo propagar ϕ en el anexo).

3) Límites experimentales mínimos (traducción al modelo)

(Detallado y calculado en los archivos adjuntos; también visible como tabla interactiva.)

PPN (Cassini, Shapiro): \Rightarrow .

PPN (LLR, Nordtvedt): \Rightarrow cota sobre β_0 dada .

Higgs, señal global : (CMS, Nature 2022) y mapa detallado de ATLAS (Nature 2022). Bajo mezcla universal pura \Rightarrow a (inferencia explícita en el anexo; depende de supuestos sobre anchos).

Higgs invisible: límite combinado (95% CL) \Rightarrow restringe el portal a sectores oscuros.

WEP (MICROSCOPE): sin violación \Rightarrow prefiere acoplos universales (o muy suprimidos) a composición.

Variación temporal de ϕ (relojes): \Rightarrow acota fuertemente acoplos fotónicos ligeros (vía χ) y/o de fondo.

Notas prácticas para avanzar (ya integradas en el anexo)

Gravedad: trabajar con acoplo conforme universal y dejar el término disformal nulo en Sistema Solar; así garantizas dentro de cotas.

Portal al Higgs y gauge: mantener , en el rango permitido por $BR(H \rightarrow \text{inv})$; en el anexo indico cómo propagar a vértices .

Corrientes derivativas: apágalas o hazlas universales para no activar WEP.

“Tiempo emergente”: propongo en el anexo un funcional de reloj compatible con tiempo propio local para cuadrar tu tesis “” con RG en el límite débil.