

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) (\partial^\mu \sigma) - V(\sigma)
;+;
\frac{\kappa_H}{\Lambda} \partial_\mu \sigma, H^\dagger H +
\frac{\lambda_{H\sigma}}{2\Lambda^2} \partial_\mu \sigma^2 H^\dagger H
;+;
\sum_{B,W,G} \frac{c_V}{4\Lambda} \partial_\mu \sigma, F^{(V)}_{\mu\nu} F^{(V)\mu\nu}
;+;
\sum_f \frac{y_f}{\Lambda} \partial_\mu \sigma, \bar{Q}_L H f_R + \text{h.c.}
;+;
\frac{c_J}{\Lambda}, (\partial_\mu \sigma) J^\mu
$
```

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

- **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**: $\sigma, \bar{Q}_L H f_R \not\propto \Lambda$, tras EWSB, sin romper simetrías.

- **Corriente derivativa**: $(\partial_\mu \sigma) \cdot J \not\propto \Lambda$: 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 **acople 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 acople **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_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 acople:** $(\alpha(\sigma) \equiv d \ln A(\sigma)/d\sigma)$, 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{\beta_0}{1+\alpha_0^2} \simeq \frac{\beta_0}{(1+\alpha_0^2)^2}.  
$
```

Traducción numérica con Cassini y LLR:

- Cassini (Shapiro): $(|\gamma - 1| \lesssim 2.3 \times 10^{-5}) \Rightarrow (|\alpha_0| \lesssim \sqrt{|\gamma - 1|/2} \approx 3.391e-03)$.
- 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)**: $(|\gamma - 1| \leqslant 2.3 \times 10^{-5}) \Rightarrow (|\alpha_0| \leqslant 3.391 \times 10^{-3})$.
- **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, $(|\sin\theta| \leqslant 0.33)$ (depende de supuestos sobre anchos).
- **BR($H \rightarrow \text{inv.}$) comb.**: $(< 10.7\%) \Rightarrow$ restringe (Γ_{new}) .
- **MICROSCOPE (WEP)**: $(|\eta| \sim 10^{-15}) \Rightarrow$ favorece **universalidad** de acoplos a composición.
- **Reloj atómico**: $(|\dot{\alpha}/\alpha| \leqslant 10^{-18}, |\alpha|^{-1}) \Rightarrow$ 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 $(|\alpha_1| \leqslant 3 \times 10^{-3})$.
2. **Higgs-portal:** usa $(\kappa_H/\Lambda, \lambda_{H\sigma}/\Lambda^2)$ pequeños para respetar (μ) y $\text{BR}(H \rightarrow \text{inv.})$.
3. **Gauge:** comienza con (c_B, c_W, c_G) y activa de forma controlada (revisa $(\sigma/\gamma\gamma/\gamma\gamma, Z/\gamma\gamma, gg)$).
4. **Derivativos a fermiones:** fija (c_J) 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_inv)**: CMS *Nature* 2022; ATLAS *Nature* 2022; CERN Courier 2023; PDG 2024.
- **WEP (MICROSCOPE)**: Touboul et al., *Phys. Rev. Lett.* 129, 121102 (2022).
- **Reloj atómico / $(\dot{\alpha})$ **: *Science* 2022; *Phys. Rev. A* 2024 (resúmenes).

Nota final sobre “tiempo emergente” (consistencia RG)

Para ligar tu tesis de “congelamiento del tiempo” ($\langle \langle \Sigma \rangle \rangle$) 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 —

Observable, Experimental limit (95% CL approx.), Mapping to TMRCU/Scalar-Tensor, Implied bound, Experimental limit (2 σ lower), Mapping, Experimental limit (95% CL), Experimental limit PPN $\gamma - 1$ (Cassini Shapiro delay), $\lesssim 2.3 \times 10^{-5}$, $|\gamma - 1| \approx 2 \alpha_0^2$, $|\alpha_0| \lesssim 3.391e-03$, , , ,
PPN $\beta - 1$ (LLR/Nordtvedt), $\approx (1.2 \pm 1.1) \times 10^{-4}$, $\beta - 1 \approx \frac{1}{2} \beta_0 \alpha_0^2$ ($\beta_0 \equiv da/d\sigma$ 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, BR_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 acople 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 y potencial ;

portal escalar y ;

acoplos dilatónicos a gauge para ;

términos Yukawa gauge-invariantes ;

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

2) Esquema y PPN

En marco de Einstein con materia acoplada a .

Parámetros PPN (campo débil, cuasiestático):

$$\begin{aligned}\gamma &\simeq -2\alpha_0^2, \quad \text{y} \\ \beta &\simeq \frac{1}{2}\beta_0,\alpha_0^2.\end{aligned}$$

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

Elección práctica para TMRCU: con satisface Cassini cómodamente (anoto cómo propagar a 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 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 (relojes): \Rightarrow acota fuertemente acoplos fotónicos ligeros (vía) y/o de fondo.

Notas prácticas para avanzar (ya integradas en el anexo)

Gravedad: trabajar con acople 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 $\text{y BR}(H \rightarrow \text{text}\{\text{inv}\})$; 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.