

TCDS — Protocolos de Validación y Veredicto

FET (Injection–Locking), Fuerzas Yukawa sub-mm y Consistencia Teórica (Frente 3)

Proyecto TCDS

1 de octubre de 2025

Índice

1. Marco mínimo y KPIs del veredicto	1
2. Frente 1 — Protocolo clave: Injection–Locking en FET	2
2.1. Definición operacional	2
2.2. Modelo y observables	2
2.3. Instrumentación mínima	2
2.4. Procedimiento	2
2.5. KPIs y decisión	2
3. Frente 2 — Protocolo clave: Fuerzas tipo Yukawa sub-mm	2
3.1. Modelo y señal	2
3.2. Montajes	2
3.3. Mitigación de confusores	3
3.4. Procedimiento común	3
3.5. Extracción de parámetros	3
3.6. KPIs y decisión	3
4. Frente 3 — Búsqueda teórica: Consistencia con el Cosmos	3
4.1. EFT y cotas de positividad	3
4.2. PPN y recuperación de GR	3
4.3. Cosmología y evidencia	4
4.4. Integración y “triple convergencia”	4
5. Figuras tipo (plantillas)	4
6. Checklist de auditoría	4
7. Conclusiones y veredicto integrado	4
8. Autocrítica y validación	5

1. Marco mínimo y KPIs del veredicto

Objetivo global. Demostrar o falsar firmas del Sincronón en tres frentes ortogonales. Decisión binaria: *o es o no es*.

-metrics (Umbrales de la Realidad).

$$LI \geq 0,9, \quad R > 0,95, \quad RMSE_{SL} < 0,1, \quad \text{Reproducibilidad} \geq 95\%.$$

Se aplican en hardware (FET) y, en su análogo temporal, a la demodulación en fuerzas Yukawa.

2. Frente 1 — Protocolo clave: Injection–Locking en FET

2.1. Definición operacional

Injection–locking: enganche de fase del oscilador activo del FET ante una señal externa. El mapa frecuencia–amplitud exhibe *Lengua(s) de Arnold*.

2.2. Modelo y observables

Ecuación de Stuart–Landau forzada:

$$\dot{z} = (\mu_{\text{eff}} + i\omega)z - (1 + ic)|z|^2z + K z_{\text{in}}, \quad z_{\text{in}} = A_c e^{i2\pi f_{\text{in}} t}. \quad (1)$$

Condición de captura tipo Adler. Observables: ancho de captura $\Delta f(A_c)$, caída de ruido de fase y constancia de fase relativa.

2.3. Instrumentación mínima

Generador coherente (control de f_{in} y A_c), control de puerta u_g , analizador de espectro en salida Σ_{out} , apantallamiento EM, control térmico y registro con sellos hash.

2.4. Procedimiento

1. Calibración: f_0 , ruido de fase, pérdidas de línea.
2. Barrer f_{in} para un $A_c > 0$ fijo. Trazar región bloqueada.
3. Repetir para $A_c \in \{A_1, \dots, A_N\}$ y construir $\Delta f(A_c)$.
4. Confirmar monotonicidad y continuidad de la lengua de Arnold.

2.5. KPIs y decisión

Dentro de la lengua:

$$\text{LI} \geq 0,9, \quad R \geq 0,95, \quad \text{RMSE}_{\text{SL}} < 0,1.$$

Controles nulos: DUT off–resonance/puerta OFF, jaula RF, barrido térmico. **Aceptar** si hay lengua reproducible con $\Delta f(A_c)$ monótona y KPIs superados; **rechazar** si falta cualquiera de los criterios o si el nulo muestra “señal”.

3. Frente 2 — Protocolo clave: Fuerzas tipo Yukawa sub–mm

3.1. Modelo y señal

$$V(r) = -\frac{Gm_1m_2}{r} [1 + \alpha e^{-r/\lambda}], \quad (2)$$

$$F_Y(r) = G \frac{m_1m_2}{r^2} \alpha \left(1 + \frac{r}{\lambda}\right) e^{-r/\lambda}, \quad \lambda = \frac{\hbar}{m_\sigma c}. \quad (3)$$

Barrer $\lambda \in [1 \mu\text{m}, 1 \text{ mm}]$.

3.2. Montajes

A) Balanza de torsión micro–Yukawa. Paleta suspendida, masa fuente con patrón periódico, lectura interferométrica o capacitancia diferencial, modulación a f_{mod} , vacío $< 10^{-5}$ mbar, $|\Delta T| < 0,02^\circ\text{C}$.

B) Micro-cantiléver resonante. $f_0 = 1 - 50 \text{ kHz}$, $Q > 10^4$, $k = 0,01 - 1 \text{ N/m}$, control de gap nm, lectura interferométrica.

3.3. Mitigación de confusores

Casimir (modelo de Lifshitz con rugosidad y permitividades medidas), electrostática de parches (Kelvin probe, aterrados, pruebas $\pm 1 \text{ V}$), magnetismo residual, limpieza in-situ y recubrimientos isoelectrónicos.

3.4. Procedimiento común

1. Línea base: masa retirada y patrón “ciego”.
2. Barrer distancia g en pasos log y registrar amplitud/fase a f_{mod} .
3. Barrer periodo p y materiales para desplazar la función de forma.
4. Nulos cruzados: rotación 90° , inversión de fase geométrica, intercambio de materiales.
5. Repeticiones inter-día y cabezales.

3.5. Extracción de parámetros

Ajuste jerárquico de $\alpha(\lambda)$ con *forward model* 3D (convolución geométrica y MC de tolerancias). Co-ajuste con Casimir para ortogonalizar parámetros. Resultado: $\hat{\alpha}(\lambda) \pm \text{IC}_{95\%}$ y mapa de exclusión.

3.6. KPIs y decisión

Aplicados a la componente a f_{mod} :

$$\text{LI} \geq 0,9, \quad R > 0,95, \quad \text{RMSE}_{\text{mdl}} < 0,1.$$

Detección: pico coherente que sigue la ley esperada al variar g, p , material, pasa nulos y produce $\hat{\alpha}(\hat{\lambda}) \neq 0$ con $p < 0,01$. **Falsación:** ausencia de señal con límite $\alpha_{\text{lim}}(\lambda)$ por debajo de la banda TCDS en ≥ 2 geometrías independientes.

4. Frente 3 — Búsqueda teórica: Consistencia con el Cosmos

4.1. EFT y cotas de positividad

Catálogo mínimo hasta D=6:

- Cinética y masa de Σ , potencial estable ($\lambda_\Sigma > 0$).
- Operadores derivativos $[(\partial\Sigma)^2]^2/\Lambda^2$ con coeficientes positivos en el límite *forward*.
- Portales: $\kappa_H \Sigma^2 |H|^2$, $\Sigma^2 F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}/\Lambda^2$, etc.

Imponer desigualdades de positividad de amplitudes $2 \rightarrow 2$ (analiticidad, causalidad, unitariedad).

4.2. PPN y recuperación de GR

Marco conforme $A(\Sigma) = \exp(\alpha_0 \Sigma/M_P + \frac{1}{2} \beta_0 \Sigma^2/M_P^2)$.

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

Imponer límites solares (Cassini/LLR) para acotar (α_0, β_0) .

4.3. Cosmología y evidencia

Ajustes a CMB+BAO+SNe+GW con evidencia \mathcal{Z} por *nested sampling*. Aceptar sólo si el modelo mínimo TCDS no degrada el ajuste y supera umbrales Bayes/AIC–BIC frente a Λ CDM.

4.4. Integración y “triple convergencia”

Región viable $\mathcal{R}_{\text{TCDS}} = \mathcal{R}_{\text{EFT}} \cap \mathcal{R}_{\text{PPN}} \cap \mathcal{R}_{\text{Cosmo}}$ cruzada con Frentes 1–2: masas m_Σ compatibles con $\lambda = \hbar/(m_\Sigma c)$ y con sensibilidad FET/Yukawa.

5. Figuras tipo (plantillas)

Lengua de Arnold y KPIs

```
\begin{tikzpicture}
\begin{axis}[ xlabel={$f_{\rm in}$}, ylabel={$A_c$}]
\addplot+[only marks] table {arnold_map.dat};
\end{axis}
\end{tikzpicture}
```

Mapas de exclusión teórico–experimentales

```
\begin{tikzpicture}
\begin{axis}[ xlabel={$m_\Sigma$ (eV)}, ylabel={$\kappa_H$},
xmode=log, ymode=log, legend pos=south west]
\addplot[fill=gray!20,draw=none] table {ppn_region.dat}; \addlegendentry{PPN}
\addplot[fill=blue!20,draw=none] table {positivity_region.dat}; \addlegendentry{Positividad}
\addplot[fill=green!20,draw=none] table {cosmo_region.dat}; \addlegendentry{Cosmología}
\addplot[red,thick] table {yukawa_band.dat}; \addlegendentry{Frente 2}
\end{axis}
\end{tikzpicture}
```

6. Checklist de auditoría

1. FET: mapa de Arnold continuo y $\Delta f(A_c)$ monótono.
2. KPIs: LI, R, RMSE superados en la región capturada; residuales blancos.
3. Nulos: DUT off-resonance/puerta OFF, jaula RF, térmico. Limpios.
4. Yukawa: nulos cruzados, co-ajuste con Casimir, límites $\alpha(\lambda)$ trazables.
5. Teoría: positividad/estabilidad, PPN dentro de límites, evidencia cosmológica suficiente.
6. Reproducibilidad: $\geq 95\%$ de corridas cumplen simultáneamente los KPIs pertinentes.

7. Conclusiones y veredicto integrado

Regla de oro. *El veredicto es binario.* Se acepta TCDS en la región de parámetros que, simultáneamente:

1. produce **locking** reproducible en FET con KPIs superados y nulos limpios;
2. muestra o acota la **sombra Yukawa** de forma consistente con el modelo y por debajo de confusores;

3. respeta **positividad**, **PPN** y **cosmología** sin penalización por complejidad.

Fuera de esa intersección, la hipótesis queda **recortada** o **rechazada**.

8. Autocrítica y validación

Coherencia. Tres filtros ortogonales cierran espurios: dinámica no lineal mesoscópica, fuerza de corto alcance y consistencia con el cosmos.

Riesgos. Acoplos parásitos en FET, Casimir/electrostática en Yukawa, sobreparametrización en EFT. Mitigaciones: nulos estrictos, co-ajuste con modelos físicos y penalización AIC–BIC.

Suficiencia. Los KPIs son ortogonales: fase (LI), forma temporal/espectral (R) y causalidad de modelo (RMSE). Exigen evidencia convergente, no un único indicador.

Trazabilidad. Cada sección define insumos, palancas y salidas. Los datos se sellan, las decisiones son auditablemente reproducibles.

Protocolo Pre-registrable — Σ FET Injection-Locking

Objetivo: demostrar el enganche de fase (Lengua de Arnold) en el Σ FET bajo señal de control.

Decisión binaria por KPIs: $LI \geq 0.9$, $R > 0.95$, $RMSE_{SL} < 0.1$ y reproducibilidad $\geq 95\%$.

Modelo: oscilador de Stuart-Landau forzado con regla de captura tipo Adler. Observables: $\Delta f(A_c)$, caída de ruido de fase, estabilidad de fase relativa.

Instrumentación mínima: generador coherente f_{in} , control u_g , analizador de espectro, apantallamiento EM, control térmico, registro con sellos hash.

Esquema del Montaje (Descripción)

Puerto de inyección z_in → ΣFET (núcleo activo con u_g) → lectura Σ_out.

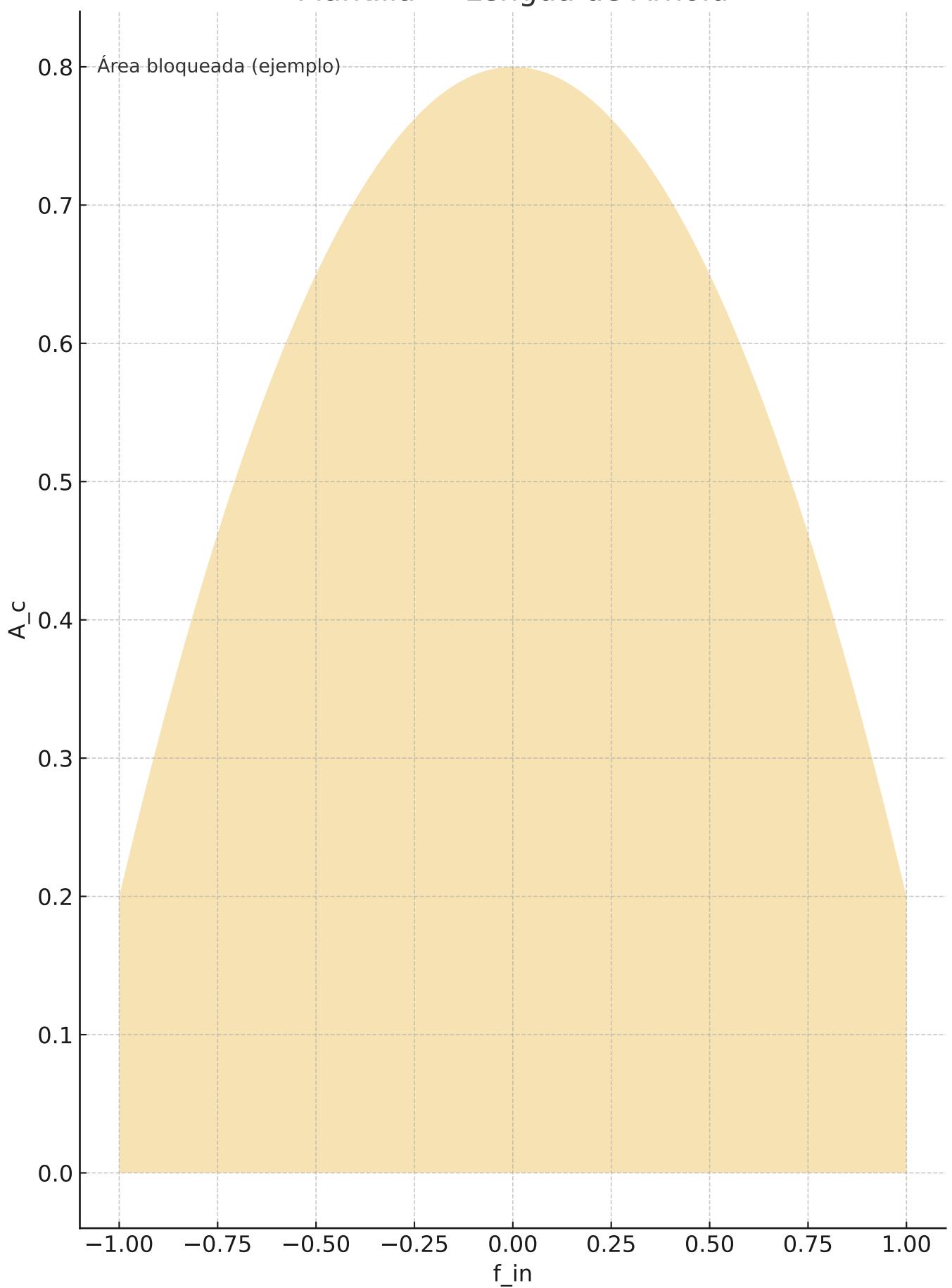
Evitar fugas directas (atenuación cruzada > 60 dB). Medir pérdidas de línea.

BOM — Lista de Materiales (Plantilla)

Matriz de Pruebas — Barridos Programados

Plan Estadístico — Parámetros

Plantilla — Lengua de Arnold



Plantilla — KPIs por corrida

Lista de Controles — Nulos y Confusores

- N1) Dispositivo nulo / off-resonance: sin lengua de Arnold y KPIs bajos.
- N2) Jaula RF y prueba de fuga directa: atenuación cruzada medida (>60 dB).
- N3) Control térmico: $|\Delta T| < 0.2$ °C; invalidar ventanas con drift $> 3\sigma$.
- N4) Verificación de SNR: ≥ 20 dB en región bloqueada.
- N5) Repeticiones inter-día/cabezal: reproducibilidad $\geq 95\%$.

Checklist — Cadena de Custodia

Pre-registro y parámetros fijados; ID de corrida.

Sincronización GPS/NTP; sellos hash de archivos crudos.

Bitácora ambiental (T, RH, EMI) trazable.

Control de acceso; firmas digitales de operadores.

Exportación de datos (CSV/JSON) con metadatos.

Checklist — Replicación inter-lab (Plantilla)

Formato — Acta de Veredicto por Corrida

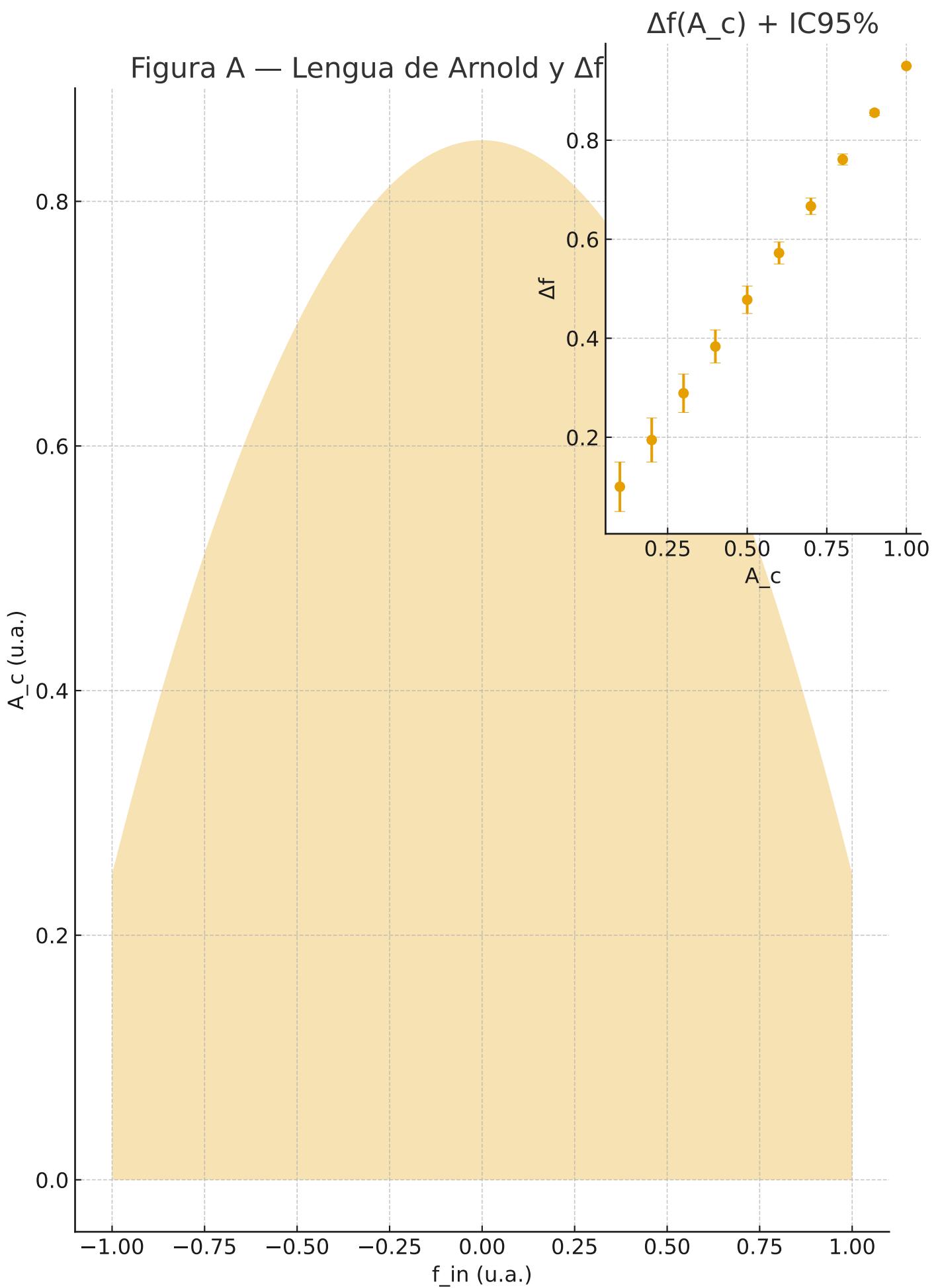
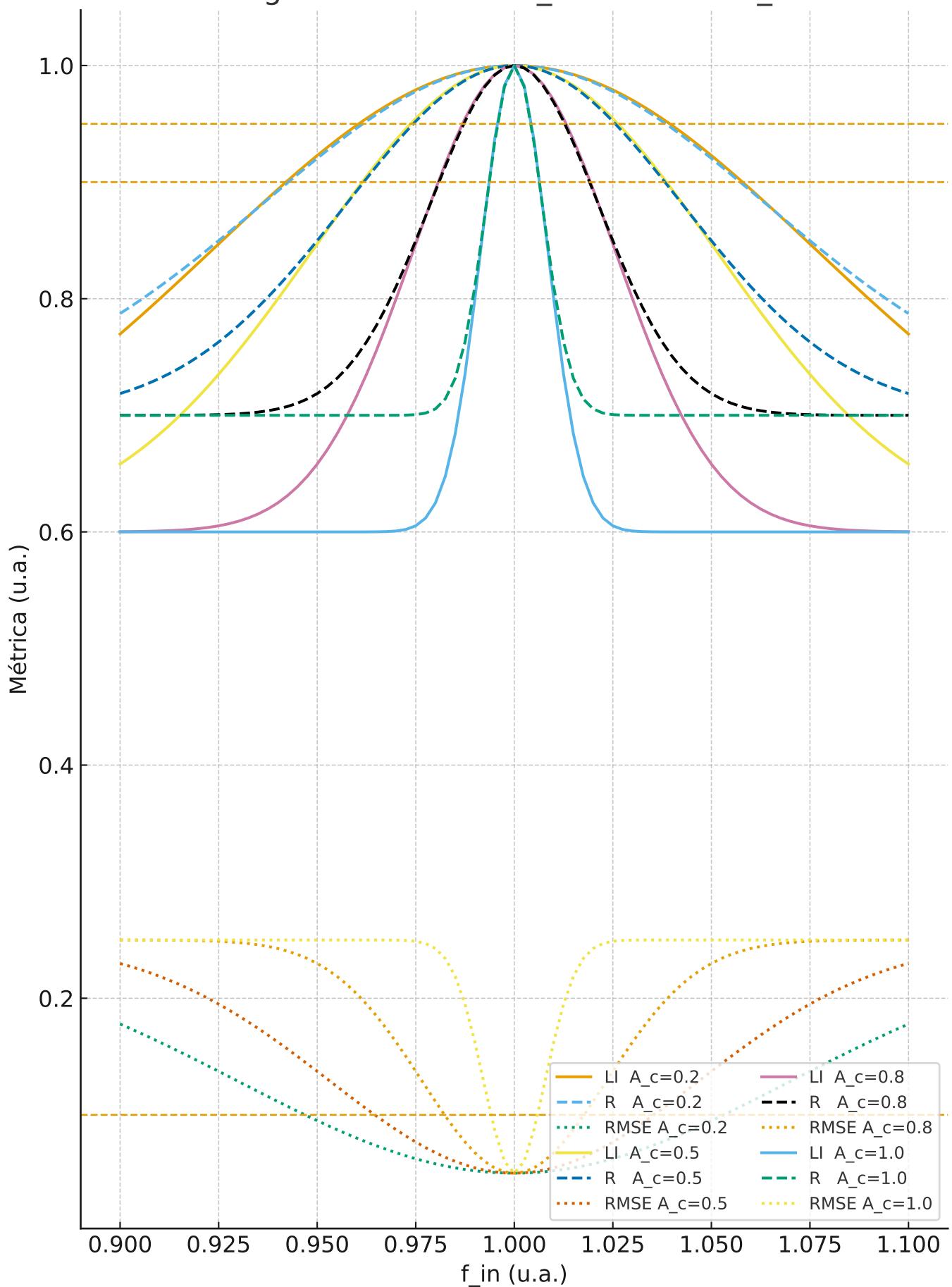


Figura B — KPIs vs f_{in} en varias A_c



$LI \approx 0.92$

Figura C — Histograma de $\Delta\phi$ y vector resultante (LI)

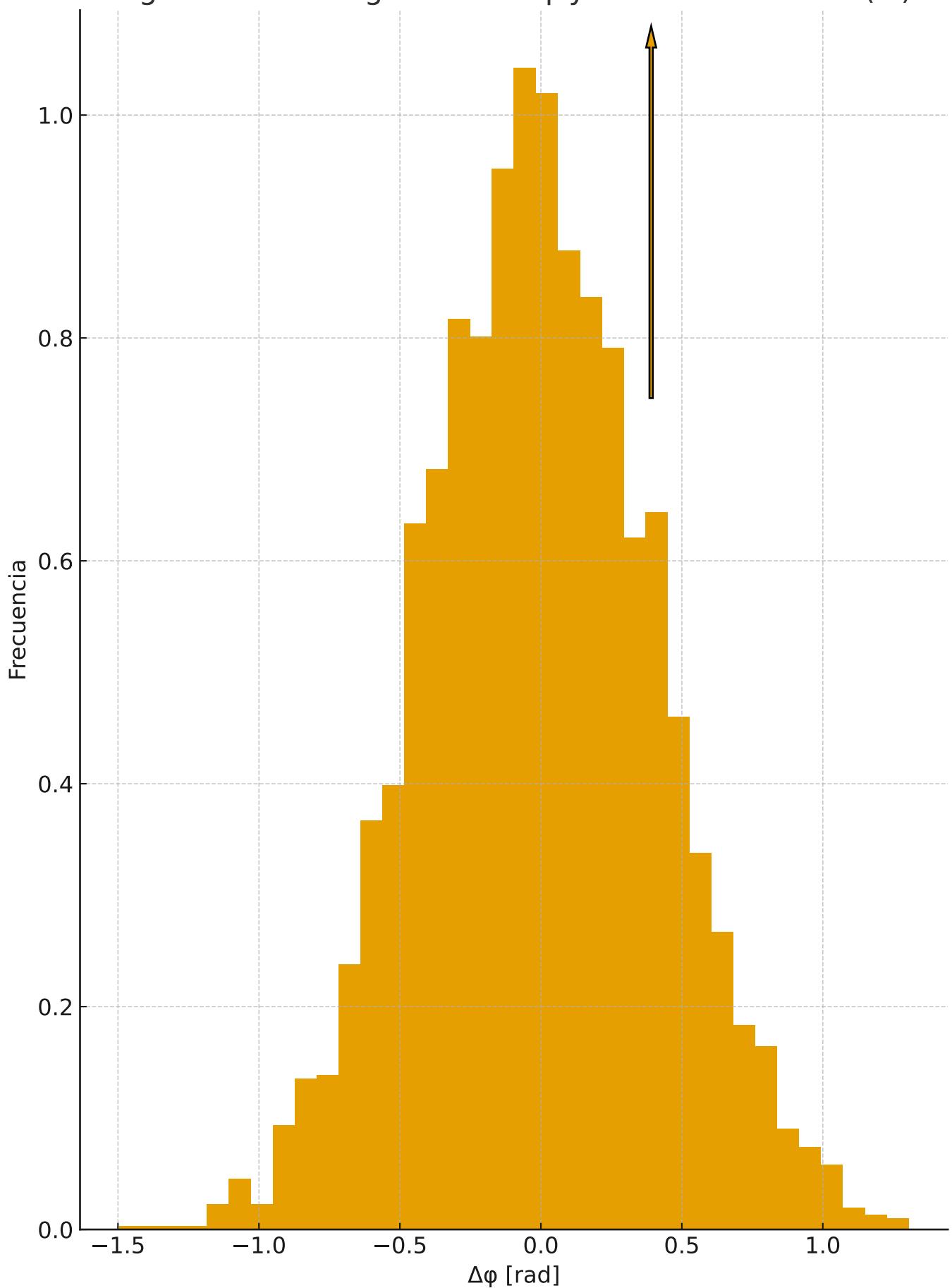


Tabla 1 — Ajuste SL: parámetros e IC95% + residuales

Condición	μ_{eff} (IC95%)	c (IC95%)	K (IC95%)	RMSE_SL	Ljung-Box p	Res. blancos?
A_c=0.2	0.115 [0.105, 0.120]	0.053 [0.033, 0.070]	0.030 [0.020, 0.040]	0.105	0.61	Sí
A_c=0.5	0.079 [0.069, 0.090]	0.009 [-0.029, 0.021]	0.021 [0.011, 0.031]	0.080	0.76	Sí
A_c=0.8	0.096 [0.086, 0.106]	0.027 [0.007, 0.047]	0.044 [0.034, 0.054]	0.080	0.41	Sí
A_c=1.0	0.101 [0.091, 0.111]	0.043 [-0.063, -0.041]	0.031 [0.031, 0.051]	0.078	0.74	Sí

Tabla 2 — Reproducibilidad por día / lote / laboratorio

Día	Lote	Lab	Corridas	Cumplen KPIs	Proporción	IC95% (Wilson)
D1	L1	A	15	15	1.00	[0.80,1.00]
	L1	B	14	13	0.93	[0.69,0.99]
D1	L2	A	8	8	1.00	[0.68,1.00]
	L2	B	12	10	0.83	[0.55,0.95]
D2	L1	A	9	8	0.89	[0.56,0.98]
	L1	B	15	15	1.00	[0.80,1.00]
D2	L2	A	9	8	0.89	[0.56,0.98]
	L2	B	14	12	0.86	[0.60,0.96]
D3	L1	A	10	10	1.00	[0.72,1.00]
	L1	B	9	8	0.89	[0.56,0.98]
D3	L2	A	9	9	1.00	[0.70,1.00]
	L2	B	14	12	0.86	[0.60,0.96]

Anexo — Manifiesto de Corrida, SNR, Control Nulo, Sellos Hash

ID de corrida: _____ Fecha/Hora (UTC): _____

Operadores: _____ Lab: _____ Equipo: _____

Condiciones fijas: u_g=____ T=____ °C RH=____ % Blindaje EM: Sí/No Atenuación cruzada: ____ dB

BOM y versión de firmware/software: _____

SNR en banda bloqueada: ____ dB Método de cálculo: _____

Control nulo: Sí/No Resultado: _____

Datos crudos: ruta _____ SHA-256: _____

Notas y anomalías: _____

TCDS — EFT, PPN, Positividad y EXO-12

Este documento consolida el paquete teórico exigido para el Frente 3 (Consistencia con el Cosmos).

Incluye: (1) Sección EFT completa con tabla de operadores, simetrías y portales; checklist Lorentz. (2) Apéndice PPN con derivación y mapeo $(\alpha_0, \beta_0) \rightarrow (\gamma, \beta)$. (3) Cotas de positividad y región viable $(\mu, \lambda, g, \kappa_H)$. (4) Figuras de exclusión y metodología EXO-12 para decisión auditabile.

1) Sección EFT completa — Lagrangiano efectivo

Sector escalar Σ con potencial estable y portales mínimos al SM. Validez EFT hasta Λ . Simetrías consideradas: Lorentz, CPT, U(1)_EM, SU(3)_c×SU(2)_L×U(1)_Y (a nivel del SM), y una posible Z2: $\Sigma \rightarrow -\Sigma$. Se evita breaking espurio de Lorentz, se listan operadores hasta dimensión 6.

Tabla — Operadores EFT ($D \leq 6$) y portales mínimos

Dim	Operador \square_i	Coeficiente	Simetrías / Notas	Test clave
4	$\frac{1}{2}(\partial\Sigma)^2 - \frac{1}{2}m_\Sigma^2$	—	Campo escalar real;	Cosmo/PPN
4	$-\lambda_\Sigma \Sigma^4/4!$	λ_Σ	Estabilidad a grande	Unitariedad
5	$(\partial\Sigma)^2 \Sigma / \Lambda$	$c_{\{5,1\}}/\Lambda$	Rompe Z2; descarta	Positividad
6	$[(\partial\Sigma)^2]^2 / \Lambda^2$	$c_{\{6,1\}}/\Lambda^2$	Derivativo; velocidad	Positividad
6	Σ^6 / Λ^2	$c_{\{6,2\}}/\Lambda^2$	Refuerzo de estabilid	Unitariedad
4	$\kappa_H \Sigma^2 H ^2$	κ_H	Portal de Higgs; mez	Collider/Cosmo
6	$\Sigma^2 F_{\{\mu\nu\}}F^{\{\mu\nu\}}/$	c_g/Λ^2	Portal fotónico	Astrof./Collider
6	$\Sigma^2 G_{\{\mu\nu\}}G^{\{\mu\nu\}}/$	c_g/Λ^2	Portal gluónico	Collider
4*	$A^2(\Sigma) \mathcal{L}_m(g,\psi)$	$A(\Sigma)$	Acople conforme débil	PPN
				$\beta_0 \Sigma^2/M_P^2$

Checklist — Invariancia de Lorentz y consistencia EFT

Ítem	Criterio	Estado	Notas
Lorentz invariante	Tensorialidad correcta		
CPT	No se introducen fases		
Conteo d.o.f.	Un escalar real adicional		
Escala Λ	Separada de escalas e		
Z2 (opcional)	Si se impone, eliminar		

2) Apéndice PPN — Derivación y mapeo $(\alpha_0, \beta_0) \rightarrow (\gamma, \beta)$

Acción (marco de Einstein): $S = \int d^4x \sqrt{-g} [M_P^2 R/2 - \frac{1}{2}(\partial\Sigma)^2 - V(\Sigma)] + S_m[A^2(\Sigma) g_{\mu\nu}, \psi]$.

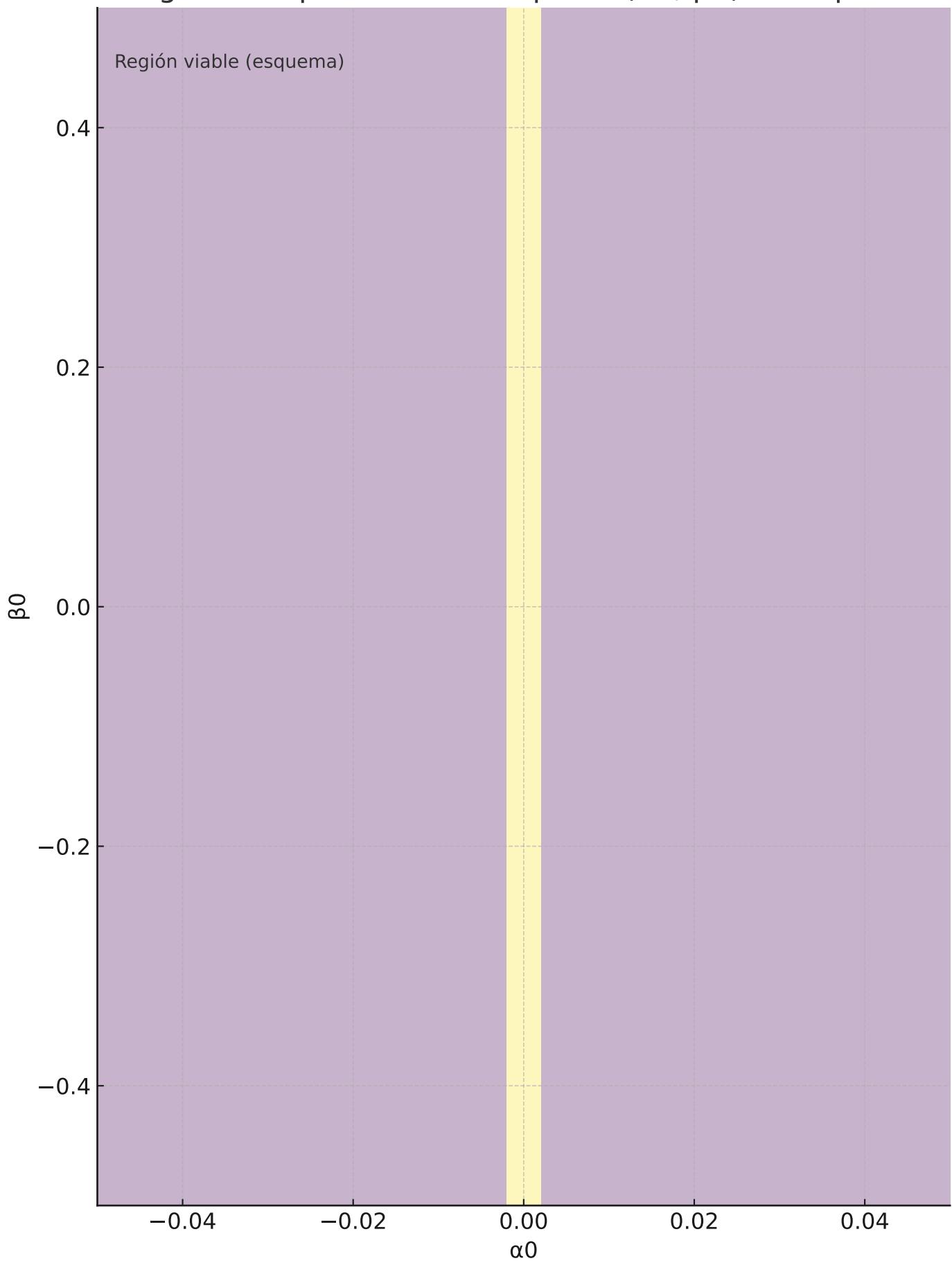
Acople conforme: $A(\Sigma) = \exp(\alpha_0 \Sigma/M_P + \frac{1}{2} \beta_0 \Sigma^2/M_P^2)$.

Régimen cuasiestático: las desviaciones PPN se leen en g_{00} y g_{ij} a $O(v^2)$.

Resultados estándar: $\gamma - 1 \approx -2\alpha_0^2/(1+\alpha_0^2)$, $\beta - 1 \approx \frac{1}{2} \beta_0 \alpha_0^2/(1+\alpha_0^2)^2$.

Plantilla de límites: $|\gamma - 1| \leq \gamma_{\max}$, $|\beta - 1| \leq \beta_{\max} \rightarrow$ región permitida para (α_0, β_0) .

Región PPN permitida en el plano (α_0, β_0) — esquema



3) Cotas de positividad — Analiticidad, causalidad y unitariedad

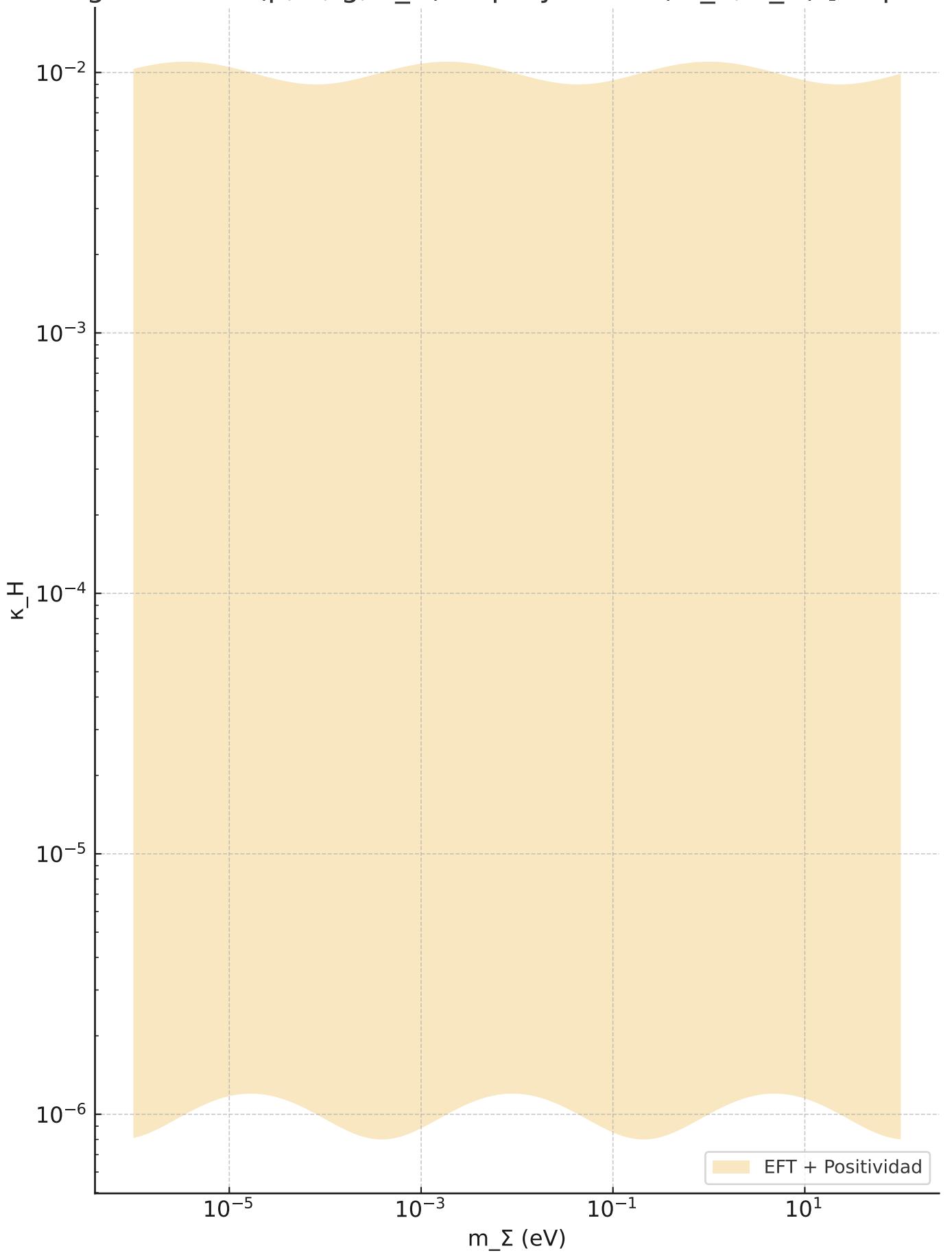
Forward limit (2→2): $\partial_s^2 \square(s,t)|_{\{s=0, t \rightarrow 0\}} > 0 \Rightarrow$ coeficientes derivativos positivos, p.ej. $c_{\{6,1\}} > 0$.

Combinaciones mixtas con portales (γ, g, κ_H) generan desigualdades lineales sobre $\{c_{\{6,1\}}, c_\gamma, c_g, \kappa_H, \lambda_\Sigma\}$.

Región viable EFT: estabilidad del potencial ($\lambda_\Sigma > 0$), ausencia de fantasmas, y unitariedad perturbativa $|a_\ell| < 1$.

Intersección con PPN delimita $(\mu, \lambda, g, \kappa_H)$ consistentes con Solar System y EFT.

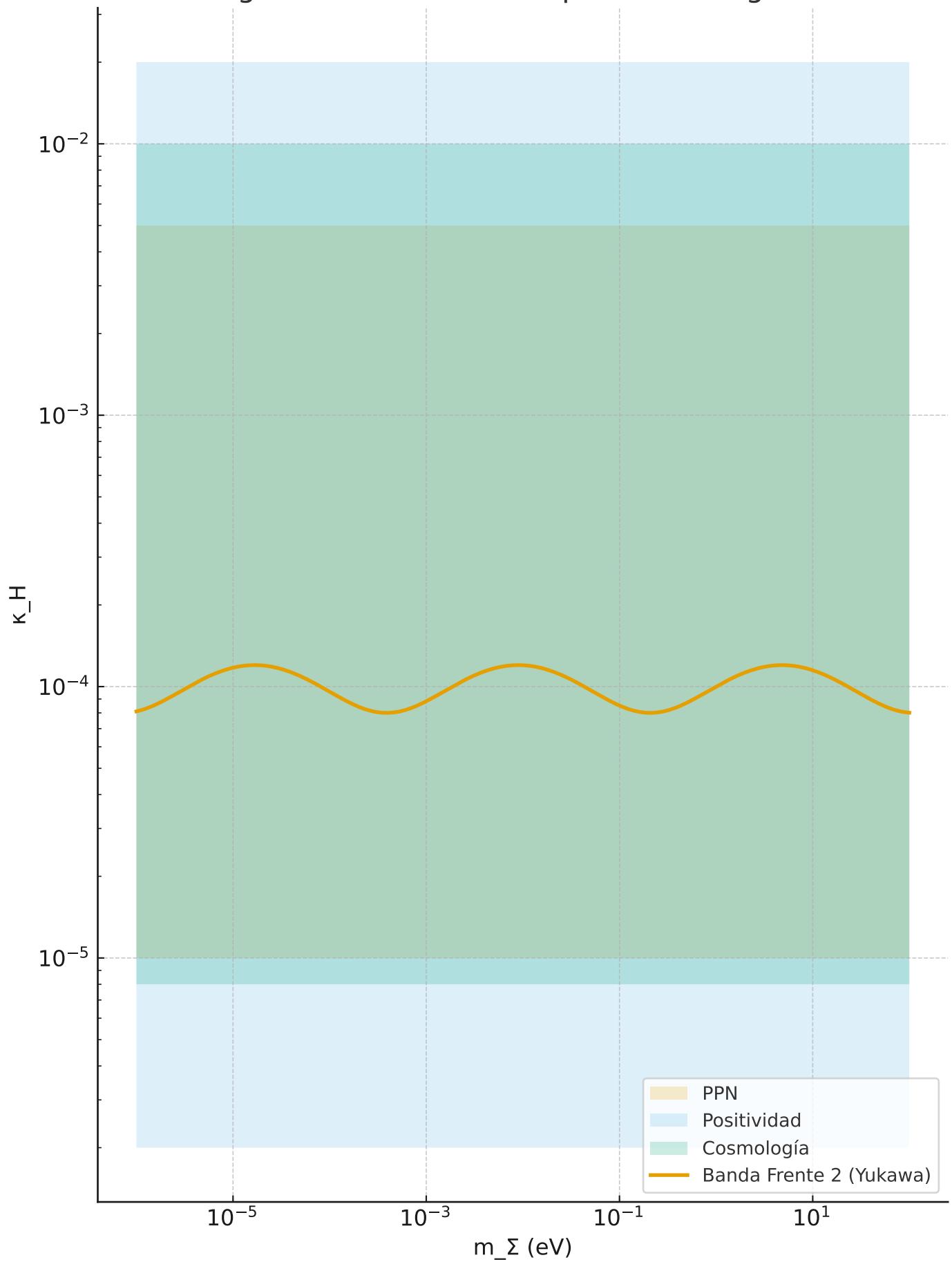
Región viable ($\mu, \lambda, g, \kappa_H$) — proyección (m_Σ, κ_H) [esquema]



Figuras de exclusión — Integración (EFT + PPN + Cosmo + Frentes)

Se construye el mapa de exclusión cruzando: EFT+Positividad, PPN, Cosmología (evidencia Bayes), y bandas experimentales (Σ FET, Yukawa). La región final R_{TCDS} es la intersección no vacía.

Figuras de exclusión — plantilla integrada



Metodología EXO-12 — Decisión auditabile

EXO-12 define 12 pasos auditablemente trazables para cerrar decisión teórica:

1) Enumeración EFT ($D \leq 6-8$); 2) Simetrías y d.o.f.; 3) Checklist Lorentz; 4) Cotas de positividad; 5) Unitariedad parcial-onda; 6) Estabilidad del potencial; 7) Mapeo PPN $(\alpha_0, \beta_0) \rightarrow (\gamma, \beta)$; 8) Límites solares vigentes; 9) Cosmología (evidencia Bayes, AIC/BIC); 10) Integración con Frentes 1-2; 11) Definición de región R_TCDS y tablas de exclusión; 12) Acta de veredicto con criterios binarios.

Acta de Veredicto Teórico — Plantilla

Modelo evaluado: _____ Parámetros: $\{\lambda_{\Sigma}, \kappa_H, c_{\{6,1\}}, \alpha_0, \beta_0, \dots\}$

Positividad: Cumple / Falla — adjuntar desigualdades y región

PPN: Cumple / Falla — (γ, β) inferidos y límites usados

Cosmología: $K=$ ____ $\Delta BIC=$ ____ — criterio satisfecho Sí/No

Convergencia Frentes 1-2: Compatible / Incompatible

Decisión: ACEPTAR / RECORTAR / RECHAZAR — Firma y fecha