Anexo Técnico — Inferencia del Sincronón: del Laboratorio a la Cosmología

Desarrollo matemático para justificar (o refutar) la atribución cosmológica frente a explicaciones convencionales de materia condensada

Este anexo establece un marco matemático y un plan de controles para distinguir entre dos hipótesis rivales al analizar fenómenos de sincronización en dispositivos tipo ΣFET/SYNCTRON y análogos de osciladores no lineales:

H■ (Convencional): Todos los efectos observados se explican por dinámica de materia condensada estándar (osciladores de Stuart–Landau/Adler con ruido térmico, 1/f, acoplos magnón–fonón, retroalimentación electrónica, etc.).
H■ (Σ-cosmológico): Además de H■, existe un acoplamiento universal a un campo escalar fundamental (Σ), cuyo cuanto es el *Sincronón* (σ), con propagador relativista y masa m_σ. Ese acoplo modifica medibles de bloqueo por inyección, ruido de fase y lenguas de Arnold con firmas espectrales específicas.

El objetivo es (i) derivar observables con poder de discriminación, (ii) especificar pruebas de exclusión de H■, y (iii) establecer el puente cuantitativo *laboratorio → cosmología* sin incurrir en extrapolaciones no justificadas.

1. Modelos dinámicos rivales y observables

1.1. Modelo H■ (base): Stuart–Landau + Adler con ruidos físicos

Sea z(t)=A(t)e^{iθ(t)} el modo oscilante. La ecuación efectiva (cerca de Hopf) es ■ = (α + iω■)z − (β + iβ■)|z|² z + K e^{iω_in t} + ξ(t), con ξ(t) ruido (térmico, 1/f, instrumental). En fase relativa ϕ=θ−ω_in t se obtiene la ecuación de Adler estocástica: ϕ■ = Δω − K sinϕ + η(t), donde Δω=ω■−ω_in y S_ϕ(Ω) se determina por S_η. La anchura de la lengua de Arnold a primer orden es W■ ≈ 2K, con dependencia suave de T, bias y no idealidades del oscilador.

1.2. Modelo H■ (Σ-extendido): término de respuesta de campo escalar

Postulamos un acoplo efectivo del modo oscilante a Σ por una fuerza generalizada F_Σ(t) con susceptibilidad χ_Σ(ω) = 1/(ω_σ² − ω² − iγ_σ ω), ω_σ≡m_σ/■. La ecuación de fase se corrige a ϕ■ = Δω − K sinϕ + κ Re[χ_Σ(ω_in)] + η(t), y el ruido efectivo recibe un término adicional proporcional a Im[χ_Σ], produciendo *picos/antipicos* en S_ϕ(Ω) alrededor de ω≈ω_σ.

Observables con poder de decisión: (i) desplazamiento resonante de las fronteras de bloqueo (lenguas de Arnold) ∝ Re[χ_Σ(ω_in)], (ii) anómala supresión o realce del ruido de fase ∝ Im[χ_Σ(ω_in)], (iii) no linealidades p:q con curvatura adicional en los diagramas (K vs ω_in) cerca de ω_σ.

2. Derivaciones clave y firmas matemáticas exclusivas

2.1. Corrección al tironeo de frecuencia (pulling) y a la condición de locking

Para una perturbación periódica y un acoplo débil κ, la condición de bloqueo estacionario ϕ■=0 da |Δω + κ Re[χ_Σ(ω_in)]| ≤ K. Así, la lengua se traslada por un término que <u>cambia de signo</u> al cruzar ω_in=ω_σ, lo que constituye una firma *antisimétrica* que H■ no reproduce sin introducir *ad hoc* resonancias externas.

2.2. Ruido de fase y densidad espectral

El espectro S_ϕ(Ω) ≈ S_η(Ω)/[K cosϕ_*]^2 recibe una corrección multiplicativa S_ϕ → S_ϕ · [1 +

c·Im(χ_Σ(ω_in))]^2. La parte imaginaria introduce un *pico disipativo* de línea Lorentziana con ancho γ_σ, cuya posición es ω_σ. H■ carece de un polo universal fijo; toda resonancia debe trazarse a un modo del dispositivo o del lazo de medida.

2.3. No linealidades p:q (lenguas de Arnold superiores)
Las regiones p:q satisfacen aproximaciones de tipo |pω_in − qω■ + κ Re[χ_Σ(pω_in/q)]| ≤ K_{eff}. La dispersión con p,q revela de nuevo un *polo único* en ω_σ, reescalado, con simetrías que no coinciden con resonancias mecánicas/eléctricas internas (cuyas frecuencias escalan con geometría y bias, no universalmente).

3. Controles y pruebas de exclusión de explicaciones convencionales (H■)

1. **C1 — Isotopía/Material:** Cambiar el núcleo (SHNO → VO■ → VCO RF) manteniendo el lazo de instrumentación. Firmas Σ deben persistir; modos internos no.
2. **C2 — Escalado geométrico:** Duplicar/halver dimensiones. Modos internos escalan ∝1/L; ω_σ no cambia.
3. **C3 — Temperatura y bias:** Mapear (T, corriente, campo) sobre ω_σ estimada. Modos internos se mueven fuertemente con T/bias; el polo Σ permanece.
4. **C4 — Aislamiento EM y blind tests:** Inyección por fibra óptica y generadores independientes; repetir con referencia sintética grabada (reproducción offline).
5. **C5 — Lazo abierto:** Medir con/ sin PLL/lock-in. Firmas Σ deben sobrevivir al retirar retroalimentaciones que podrían crear resonancias espurias.
6. **C6 — Replicación cruzada:** Diferentes laboratorios, diferentes marcas/equipos. La universalidad de Σ exige reproducibilidad inter-plataforma.

4. Inferencia estadística: de los datos al veredicto (Bayes, AIC/BIC)

Definimos modelos M■≡H■ y M■≡H■ con parámetros θ■=(α,β,β■,K,...) y θ■=(θ■, κ, ω_σ, γ_σ). La verosimilitud sobre datos D = {mapas de Arnold, trazas ϕ(t), espectros S_ϕ, curvas K(ω_in)} es L(D|M,θ). La **evidencia bayesiana** Z_M=∫ dθ π(θ) L(D|M,θ) permite el *factor de Bayes*: B■■ = Z_{M■}/Z_{M■}. Un B■■ ■ 1 favorece Σ. Alternativamente, usar penalizaciones de complejidad: AIC = 2k − 2 ln L■, BIC = k ln n − 2 ln L■, donde k=#parámetros y n=#datos. Una detección robusta exige que la mejora en log-verosimilitud supere la penalización por los nuevos parámetros (κ, ω_σ, γ_σ).

5. Puente laboratorio → cosmología: mapeos y consistencia

5.1. Extracción de parámetros de campo
A partir de los picos en S_ϕ y traslados de lenguas, se obtiene (ω_σ, γ_σ) y la ganancia efectiva κ. La masa es m_σ = ■ ω_σ.

5.2. Potencial de Yukawa a corto alcance
Un escalar ligero induce correcciones newtonianas V(r)= −G m■ m■ (1 + α_Y e^{−m_σ c r/■})/r. La medida de κ se mapea a α_Y mediante el acoplo efectivo a materia (portal Σ–materia). Consistencia: los (m_σ,α_Y) extraídos no deben violar cotas de torsión, Casimir y balances gravitacionales de precisión.

5.3. Constantes efectivas y relojes
Si Σ mezcla con sectores electromagnético/Higgs, produce oscilaciones en constantes (α_em, m_e). La frecuencia observada debe coincidir con ω_σ y amplitud compatible con κ.

6. Límites y regiones de exclusión si no hay señal

Si no se observa estructura resonante hasta ω_max y $|\Delta W(\omega)| \le \varepsilon$ para toda la barrida, el acoplo queda acotado por $|\kappa \ \mathrm{Re}[\chi\_\Sigma(\omega)]| \le \varepsilon \Rightarrow \kappa \le \varepsilon \cdot |\omega\_\sigma^2 - \omega^2|$ para $|\omega-\omega\_\sigma|$ ■ γ_σ. Para búsquedas de banda ancha con $S\_\phi(\Omega)$ sin picos: $\kappa \cdot |\mathrm{Im}[\chi\_\Sigma(\omega\_in)]| \le \varepsilon\_noise$. Estas desigualdades se convierten en límites (m_σ, κ) y, vía el mapa de 5.2, en límites (m_σ, α_Y) comparables con literatura.

7. Ejemplo simbólico (hoja de cálculo de análisis)

Inputs: barrido $\omega\_in \in [2\pi\cdot1 \text{ MHz}, 2\pi\cdot20 \text{ GHz}]$, K en 20 pasos, $\phi(t)$ a 1 MS/s. Ajuste conjunto de (i) fronteras de locking, (ii) $S\_\phi(\Omega)$. Modelo H■: parámetros libres $(\kappa, \omega\_\sigma, \gamma\_\sigma)$ además de θ■. Criterio de detección: $\Delta BIC = BIC(H■) - BIC(H■) \ge 10$ y máxima a posteriori con ω_σ consistente entre observables (±2%). Si falla, reportar límites 95% C.L.

8. Modos de fallo instrumentales y autocrítica

1. **Degeneración de polos:** Un modo oculto del lazo (PLL, cables, cavidad) puede imitar un polo. Control C5 y caracterización independiente del front-end son obligatorios.
2. **Sobreajuste:** H■ añade 3 parámetros. Se exige ΔBIC/AIC significativo y validación cruzada k-fold.
3. **Drift térmico:** Puede crear curvaturas falsas. Aplicar C3 y normalizar en unidades adimensionales.
4. **Sesgo de selección:** Mostrar también barridas sin señal. Predefinir criterios antes del experimento (preregistro).
5. **Plausibilidad cosmológica:** Cotejar con límites existentes; rechazar regiones prohibidas aunque H■ ajuste localmente mejor (consistencia global).

Conclusión operativa

El desarrollo anterior convierte la atribución al Sincronón en un problema identificable: un *polo universal* en $\chi\_\Sigma(\omega)$ que desplaza lenguas de Arnold y modula el ruido de fase con una firma resonante $(\omega\_\sigma, \gamma\_\sigma)$ consistente entre observables, plataformas y laboratorios. La combinación de derivaciones, controles C1–C6 y criterios Bayes/AIC/BIC permite justificar (o descartar) la inferencia *laboratorio → cosmología* de manera equilibrada y falsable.