Directriz Unificada κ_Σ–LBCU

Estudio extenso: parsimonia, correspondencia de Lorentz y metrología operacional

Proyecto TCDS

10 de octubre de 2025

Resumen

Se unifica el reloj de coherencia κ_Σ con la Ley de Balance Coherencial Universal (LBCU: $Q\Sigma = \phi$) para producir una directriz operativa macro–cuántica. Se ancla κ_Σ en el tiempo de Planck t_P vía una constante de reducción ξ, se define una ley de escala para el tiempo de coherencia $\tau_\mathrm{coh}(L)$, y se establecen protocolos de resonancia, análisis vectorial, y calibración metrológica con trazabilidad a SI. Se incluyen reglas de falsación, decisión binaria con Σ-metrics y UCM, y anexos matemáticos que garantizan causalidad e invariancia de Lorentz en el dominio declarado.

1. Notación, unidades y axiomas

Definición 1 (Planck y reloj de coherencia). $t_\mathrm{P} = \sqrt{\hbar G/c^5}$, $\kappa_\mathrm{P} \equiv 1/t_\mathrm{P}$. *Definimos el* reloj de coherencia *como escalar de Lorentz*

$$\boxed{\kappa_\Sigma = \kappa_\mathrm{P}\, \xi\, F(\mathrm{LI})}, \qquad 0 < \xi \le 1, \quad 0 < F(\mathrm{LI}) \le 1. \tag{1}$$

Definición 2 (LBCU). *La* Ley de Balance Coherencial Universal *establece*

$$Q\,\Sigma = \phi, \tag{2}$$

con $\Sigma \in [0,1]$ *medible,* $\phi \ge 0$ *fricción efectiva, y* $Q > 0$ *empuje cuántico efectivo.*

Axiomas. (A1) κ_Σ es escalar Lorentz; (A2) toda ecuación se construye con contracciones covariantes; (A3) parsimonia de Ockham: no se admiten términos sin ganancia predictiva; (A4) falsación previa a integración tecnológica.

2. Dominios de frecuencia y resonancia

Frecuencia adimensional. $\tilde{f} \equiv f/\kappa_\Sigma$. Las capturas $p{:}q$ ocurren para $\tilde{f} \approx p/q$.

Lengua de Arnold. El ancho de *locking* cumple

$$\boxed{\Delta f(A_c) = \kappa_\Sigma\, G(A_c)\, \mathrm{LI}}, \qquad G'(A_c) > 0, \quad \Delta f(0) = 0. \tag{3}$$

Tiempo de coherencia.

$$\boxed{\tau_\mathrm{coh}(L) = \kappa_\Sigma^{-1}\Big(\frac{L}{\ell_\mathrm{P}}\Big)^{\gamma(1-\mathrm{LI})}}, \qquad 0 < \gamma \le 1. \tag{4}$$

3. Análisis vectorial de coherencia

$$\mathbf{R} = \langle (\cos\phi, \sin\phi) \rangle, \qquad |\mathbf{R}| = \mathrm{LI}, \tag{5}$$

y el *ancho espectral útil* es

$$B_\Sigma \sim \kappa_\Sigma \, F(\mathrm{LI}). \tag{6}$$

4. Metrología, calibración y trazabilidad

4.1. Constantes de dispositivo y Allan

Definimos

$$K_{\mathrm{dev}} \equiv \frac{1}{\mathrm{LI}} \frac{d\Delta f}{dA_c}\bigg|_{A_c \to 0} \;\Rightarrow\; \kappa_\Sigma = \frac{1}{G'(0)} K_{\mathrm{dev}}. \tag{7}$$

La desviación Allan $\sigma_y(\tau)$ debe decrecer al aumentar B_Σ y mejorar respecto al baseline.

4.2. Protocolo de calibración

1. Anclar κ_Σ con (7) frente a un reloj de referencia f_{ref}.
2. Barrer A_c a bajo régimen para estimar $G'(0)$ y verificar (3).
3. Estimar γ a varias escalas L mediante (4); validar un γ global en ≥ 3 sedes.

4.3. Presupuesto de incertidumbre

Fuente	**Símbolo**	**Tipo**	**Tratamiento**
Resolución de f	δf	A	Propagación en Δf
Linealidad de A_c	δA	B	Curva de transferencia, Monte Carlo
Ruido térmico/EMI	$\phi_T, \phi_{\mathrm{EMI}}$	A/B	Separación espectral, control nulo
Estimador de LI	$\delta\mathrm{LI}$	A	Bootstrap, IC95 %
Modelo G	δG	B	Selección por AICc/BIC

5. Acoplamiento operativo con LBCU

Empuje mínimo. Dada ϕ y Σ objetivo, $Q_{\mathrm{mín}} = \phi/\Sigma$.

Presupuesto adimensional.

$$\Lambda \equiv \frac{\phi}{\hbar\,\kappa_\Sigma} = \frac{Q\,\Sigma}{\hbar\,\kappa_{\mathrm{P}}\,\xi} = Q^*\,F(\mathrm{LI}), \quad Q^* \equiv \frac{Q}{\hbar\,\kappa_{\mathrm{P}}\,\xi}. \tag{8}$$

6. Predicciones y firmas

P1 Relojes. Desplazamiento relativo $\Delta\nu/\nu \simeq (\kappa_\Sigma/\nu)\,F(\mathrm{LI})$ en parejas acopladas.

P2 Sub-mm. Corrección Yukawa efectiva $\propto \Sigma^2$ modulada por LI.

P3 FET. $\Delta f(A_c)$ lineal en A_c para bajo régimen y nula a $A_c = 0$.

7. Falsación y regla de decisión

KPIs -metrics y UCM

-metrics	$\mathrm{LI} \geq 0.90,\ R > 0.95,\ \mathrm{RMSE}_{\mathrm{SL}} < 0.10,\ \text{reproducibilidad} \geq 95\,\%$
UCM	$\mathrm{UCM}_{\mathrm{pre}} = 1,\ \mathrm{UCM}_{\mathrm{rep}} \geq 0.95,\ \mathrm{UCM}_{\mathrm{pow}} \geq 0.80,\ \mathrm{UCM}_{\mathrm{EFT}} \geq 0.90,\ \mathrm{UCM}_{\mathrm{rsk}} = \text{Aceptable}$

Falsadores

- F1: Q inconsistente entre experimentos homólogos.
- F2: Δf independiente de A_c o locking con $A_c = 0$.
- F3: Ruptura no declarada de covariancia de Lorentz o de corrientes Noether.
- F4: Falta de γ global en (4) en ≥ 3 sedes.

Decisión Sí/No

Sí: KPIs cumplidos, (3) y (4) validadas, Λ consistente (8). **No**: cualquier violación de F1–F4 o fallo repetido de KPIs.

8. Ingeniería y casos de uso

FET/SYNCTRON. Diseño por $\Delta f(A_c)$, $Q_{\text{mín}}$, y blindaje ϕ.

Relojes/cavidades. Ganancia en $\sigma_y(\tau)$ al aumentar B_Σ.

CSL-H/SAC. Σ fisiológica y ϕ (estrés); intervención Q mínima para LI objetivo.

9. Anexos matemáticos

9.1. Acción Mínima+ y causalidad

$$\mathcal{S}[X] = \int (\mathcal{L}_0 + \mathcal{L}_\Sigma + \mathcal{L}_{\text{int}} - \Phi_{\text{diss}})\, d^4x, \quad \Phi_{\text{diss}} = \tfrac{1}{2}\int dt\, dt'\, \dot{q}(t)\, \gamma(t-t')\, \dot{q}(t'),\ \gamma(\tau < 0) = 0. \tag{9}$$

Las E-L resultantes son libres de teleología y admiten formulación covariante con $\Box = \partial_\mu \partial^\mu$.

9.2. Normal form e isomorfismo de osciladores

Cerca de un Hopf suave, todo sistema coherente reduce a oscilador no lineal complejo $\dot{z} = (\alpha + i\omega)z - \beta |z|^2 z + \ldots$, con fase $\phi = \arg z$.

9.3. Meta-análisis y parsimonia

Modelo jerárquico para γ con prior no-informativa; decisión por ΔAICc/ΔBIC y evidencia Bayes.

Autocrítica y verificación

El estudio usa un único reloj κ_Σ anclado en t_{P} mediante ξ calibrable. Las firmas Δf, τ_{coh} y Λ forman un triángulo de cierre medible. Riesgos: dependencia material de γ y forma de G. Mitigación: jerárquico multi-sede, AICc/BIC y falsadores F1–F4. La correspondencia de Lorentz se protege tratando κ_Σ como escalar y usando operadores d'Alembertianos; cualquier ruptura requiere preregistro y cotas experimentales.