Tiempo como densidad de coherencia:

Un estudio TCDS sobre la métrica temporal y su operacionalización

Genaro Carrasco Ozuna
Proyecto TCDS / Motor Sincrónico de Luz (MSL), México
ORCID: 0009-0005-6358-9910

7 de noviembre de 2025

Resumen

En el marco de la Teoría de la Cromodinámica Sincrónica (TCDS), examinamos el *tiempo* como una magnitud emergente de la densidad de coherencia Σ sobre el sustrato inerte χ, modulada por el empuje cuántico Q y la fricción informacional φ. Proponemos una métrica temporal efectiva en la que el intervalo propio se deforma por un factor *coherencial* que captura el grado de *locking* del sistema, y mostramos su conexión con observables metrológicos: estabilidad de relojes, cavidades, y límites sub-milimétricos tipo Yukawa. Formalizamos un Lagrangiano mínimo para la pareja (Σ, χ), derivamos la corrección temporal al orden más bajo, y planteamos un protocolo de falsación que utiliza las -metrics del proyecto (correlación $R(t)$, índice de locking LI, error RMSE_{SL} y κ_Σ). Concluimos con una autocrítica metodológica y un checklist de validación reproducible. El texto está diseñado para publicación directa en Zenodo.

Palabras clave: TCDS; coherencia Σ; tiempo propio; Yukawa sub-mm; relojes atómicos; cavidades; -metrics.

1. Introducción y tesis

En TCDS el tiempo no es un *dado* irreductible, sino una *contabilidad operacional* del *grado de coherencia* que un sistema mantiene con su entorno causal. La hipótesis central es:

> **Tesis TCDS del tiempo.** El ritmo al que un sistema integra estado es proporcional a la densidad de coherencia Σ accesible y a su relación Q/φ. El *tiempo propio* emerge como un *flujo de coherencia* sostenida sobre χ.

Esta tesis busca compatibilidad con: (i) la relatividad (invariancia local y dilatación temporal por movimiento o potencial), (ii) la metrología de relojes ópticos (10^{-18}–10^{-19} en estabilidad fraccional), y (iii) límites de nuevas interacciones de rango corto. El objetivo operativo es transformar la noción de tiempo en una magnitud *medible* vía -metrics y falsable en bancos de prueba.

2. Marco – y balance Q–φ

TCDS modela cuatro objetos: coherencia Σ (orden), sustrato χ (capacidad portadora), empuje cuántico Q (tendencia a explorar estados coherentes) y fricción informacional φ (pérdida de fase útil). El *isomorfismo causal* postula que los estados estacionarios satisfacen

$$Q - \varphi = 0 \quad \Rightarrow \quad \dot{\Sigma} = 0, \tag{1}$$

mientras que $Q > \varphi$ posibilita crecimiento coherente $\dot{\Sigma} > 0$. La métrica temporal efectiva debe responder a esta balanza porque el *ritmo de registro* de un sistema es función de su coherencia utilizable.

3. Lagrangiano mínimo y ecuación de estado coherencial

Consideremos un Lagrangiano efectivo de baja energía con un escalar Σ acoplado a la métrica $g_{\mu\nu}$:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}\,(\partial_\mu \Sigma)(\partial^\mu \Sigma) - V(\Sigma) + \mathcal{L}_\chi[\chi] + \mathcal{L}_{\text{int}}[\Sigma, \chi], \tag{2}$$

donde $V(\Sigma)$ tiene un mínimo estable Σ_0 y $\mathcal{L}_{\text{int}}$ codifica la transferencia de coherencia entre Σ y el sustrato χ. Definimos la *densidad coherencial libre* como

$$\rho_\Sigma := \frac{1}{2}\dot{\Sigma}^2 + \frac{1}{2}(\nabla\Sigma)^2 + V(\Sigma) - V(\Sigma_0) \geq 0, \tag{3}$$

y postulamos una ecuación de *estado coherencial* local

$$\dot{\Sigma} = \alpha\, Q - \beta\, \varphi - \gamma\, \Sigma, \tag{4}$$

con $\alpha, \beta, \gamma > 0$ parámetros efectivos que resumen canalización, disipación y relajación. La estacionariedad $\dot{\Sigma} = 0$ fija el punto de operación $\Sigma^\star$ dado el cociente Q/φ.

4. Tiempo propio como *flujo de coherencia*

Sea $d\tau$ el tiempo propio medido por un reloj físicamente localizado. Proponemos un *factor coherencial* $C(\Sigma)$ que deforma el intervalo:

$$d\tau^2 = C(\Sigma)\, g_{\mu\nu}\, dx^\mu dx^\nu, \tag{5}$$

con $C(\Sigma_0) = 1$ para recuperar la métrica de fondo. Para fluctuaciones pequeñas $\delta\Sigma := \Sigma - \Sigma_0$ expandimos

$$C(\Sigma) \simeq 1 + \eta\, \delta\Sigma + \zeta\, \delta\Sigma^2 + \mathcal{O}(\delta\Sigma^3), \tag{6}$$

donde η y ζ son *coeficientes metrológicos* que conectan coherencia con dilatación local de ritmo. En reposo local ($dx^i = 0$) se obtiene

$$d\tau \simeq \sqrt{C(\Sigma)}\, dt \approx \left(1 + \frac{\eta}{2}\delta\Sigma\right) dt, \tag{7}$$

válido si $|\eta\, \delta\Sigma| \ll 1$. La fracción de *desintonía temporal* entre dos relojes A, B expuestos a $\delta\Sigma_A, \delta\Sigma_B$ es

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} \equiv \frac{\nu_A - \nu_B}{\nu_B} \approx \frac{\eta}{2}\,(\delta\Sigma_A - \delta\Sigma_B)\,. \tag{8}$$

Así, variaciones controladas de Σ predicen *shifts* de frecuencia que pueden cotejarse con límites de relojes y cavidades.

Compatibilidad relativista. La deformación en (5) es un *conformal factor* local que no viola la estructura causal si $C(\Sigma) > 0$. El efecto coherencial se suma a la dilatación estándar por potencial gravitatorio o velocidad. En ausencia de coherencia adicional ($\delta\Sigma = 0$) recuperamos la relojería de relatividad general.

5. Operacionalización con -metrics

Definimos cuatro métricas operativas:

- $R(t)$: correlación temporal entre una portadora de referencia y la señal del reloj/cavidad bajo prueba.

- LI: índice de *locking* en la ventana $p:q$ de captura.
- RMSE_{SL}: error cuadrático medio de lazo de sincronía.
- κ_Σ: tasa de acoplamiento coherencial efectiva.

El *criterio FET* exige LI $\geq 0{,}9$, $R > 0{,}95$, $\mathrm{RMSE}_{SL} < 0{,}1$ y reproducibilidad $\geq 95\,\%$. Introducimos una *portadora de coherencia* de amplitud A_c y realizamos barridos de A_c y frecuencia de inyección f_d. La hipótesis predice:

$$\partial_{A_c}\left(\frac{\Delta\nu}{\nu}\right)\Big|_{A_c\to 0} \approx \frac{\eta}{2}\,\partial_{A_c}\delta\Sigma \neq 0 \quad \text{si } \kappa_\Sigma > 0, \tag{9}$$

y un *umbral de locking* $A_c^{(\mathrm{lock})}$ bajo el cual LI colapsa a ruido térmico. La identificación de $A_c^{(\mathrm{lock})}$ frente a A_c estima κ_Σ.

6. Límite Yukawa sub-mm y consistencia

Si el sincronón σ induce una corrección Yukawa a potenciales efectivos, el desplazamiento relativo de frecuencia promedia una contribución

$$\left(\frac{\Delta\nu}{\nu}\right)_Y \sim \alpha_5\, e^{-r/\ell_\sigma}\, \mathcal{F}, \tag{10}$$

donde α_5 es la fuerza adimensional efectiva, ℓ_σ el alcance y $\mathcal{F}$ un factor geométrico-experimental. La compatibilidad global requiere $\alpha_5 \ll 1$ para $\ell_\sigma \sim 0{,}1\,\mathrm{mm}$, coherente con torsión sub-mm. El *canal coherencial* del reloj añade (8) y permite separar dependencias: la parte controlable por A_c aisla el término de Σ de la parte estática Yukawa.

7. Predicciones metrológicas

P1. Simetría de punto nulo

Para $A_c \to 0$ y *locking* ausente, $C(\Sigma) \to 1$ y $\Delta\nu/\nu \to 0$ dentro de la resolución. Esto impone la *condición de nulidad*:

$$\lim_{A_c\to 0} \frac{\Delta\nu}{\nu} = 0 \quad \text{si} \quad \kappa_\Sigma \to 0. \tag{11}$$

Toda señal residual exige atribución a sistemáticos o a nuevas interacciones no coherenciales.

P2. Ley constitutiva lineal a bajo nivel

En el régimen lineal $|\eta\,\delta\Sigma| \ll 1$,

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} \approx m_1 A_c + \mathcal{O}(A_c^2), \quad m_1 := \frac{\eta}{2}\frac{\partial\delta\Sigma}{\partial A_c}\Big|_0. \tag{12}$$

La pendiente m_1 es un *invariante metrológico* del canal Σ para un montaje dado.

P3. Ventana de captura $p:q$

La aparición de *locking* en ventanas racionales predice mesetas de LI y disminución abrupta de RMSE_{SL}. El borde de meseta delimita $A_c^{(\mathrm{lock})}$ y fija una escala experimental para κ_Σ.

8. Ruta de falsación

F1. Relojes/cavidades: barridos (A_c, f_d) con estabilidad $\leq 10^{-18}$ deben exhibir P1–P3. La no observación con potencia estadística suficiente falsaría el canal coherencial.
F2. Sub-mm: límites de torsión en 100 μm–1 mm acotan α_5; la compatibilidad con los desplazamientos observados en relojes exige consistencia conjunta.
F3. Coherencímetro: la estimación independiente de κ_Σ mediante bancos RE-Q debe coincidir con la inferida por relojes dentro de incertidumbre combinada.

9. Derivación paso a paso del factor coherencial

Partimos de la acción efectiva $S = \int d^4x\sqrt{-g}\,\mathcal{L}$. Consideramos el acoplamiento más bajo entre Σ y la parte cinética de un campo reloj Ψ:

$$\mathcal{L}_\Psi = \frac{1}{2}\,Z(\Sigma)\,g^{\mu\nu}\partial_\mu\Psi\,\partial_\nu\Psi - U(\Psi). \tag{13}$$

Para pequeñas fluctuaciones en $Z(\Sigma)$ alrededor de $Z(\Sigma_0) = 1$,

$$Z(\Sigma) = 1 + \eta\,\delta\Sigma + \mathcal{O}(\delta\Sigma^2). \tag{14}$$

La *reabsorción* de $Z(\Sigma)$ en la métrica define

$$g^{\mu\nu}_{\text{eff}} := Z(\Sigma)\,g^{\mu\nu} \quad\Rightarrow\quad g^{\text{eff}}_{\mu\nu} = \frac{1}{Z(\Sigma)}\,g_{\mu\nu} \equiv C(\Sigma)\,g_{\mu\nu}, \tag{15}$$

con $C(\Sigma) \equiv 1/Z(\Sigma) \simeq 1 - \eta\,\delta\Sigma + \mathcal{O}(\delta\Sigma^2)$. A primer orden obtenemos (6), lo que conduce a (7) y al *shift* fraccional (8). La linealidad es válida mientras $|\eta\,\delta\Sigma| \ll 1$.

10. Implementación experimental

Diseño

1. **Fuente coherencial**: generador de A_c con control fino de fase.
2. **Objeto de medida**: reloj óptico o cavidad estabilizada de Q ultraalto.
3. **Canal de inyección**: acoplamiento no intrusivo que maximiza κ_Σ y minimiza ruido.
4. **Adquisición**: estimadores $R(t)$, LI, RMSE_{SL} y κ_Σ en tiempo real.

Procedimiento

1. Calibrar punto nulo: $A_c\!=\!0$ y verificación de $\Delta\nu/\nu \approx 0$ dentro de σ_{met}.
2. Barrer A_c y f_d, registrar $(\Delta\nu/\nu, R, \text{LI}, \text{RMSE}_{SL})$.
3. Estimar m_1 y $A_c^{(\text{lock})}$; comprobar mesetas $p\!:\!q$.
4. Repetir ciclos para reproducibilidad $\geq 95\,\%$.

11. Resultados esperados y análisis

En el régimen lineal, un ajuste $\Delta\nu/\nu = m_1 A_c + m_2 A_c^2$ debe arrojar $m_1 \neq 0$ si $\kappa_\Sigma > 0$. La coincidencia de $A_c^{(\text{lock})}$ con el colapso de RMSE_{SL} y el ascenso de LI a $\geq 0{,}9$ confirma la existencia de una *ventana de captura coherencial*. La sensibilidad conjunta determina el rango permisible de η compatible con límites sub-mm. La ausencia de estas firmas bajo potencia estadística suficiente falsaría el mecanismo propuesto.

12. Discusión

Relación con relatividad y térmica

El factor $C(\Sigma)$ es un *conformal dressing* que no interfiere con invariancias locales si permanece positivo y cercano a la unidad. Térmicamente, el canal coherencial compite con ruido; la exigencia $\mathrm{RMSE}_{SL} < 0{,}1$ impone un presupuesto de ruido compatible con m_1 detectable.

Alcances y límites

El enfoque entrega un *puente* entre teoría y metrología. Su límite principal es la separación limpia entre Σ y sistemáticos ambientales. La comparación cruzada entre bancos RE-Q, relojes y límites sub-mm es la *defensa* contra falsos positivos.

Nota especulativa. Si $C(\Sigma)$ exhibe *no linealidades* fuertes en ciertos regímenes, podrían emerger *mesetas temporales* análogas a locking de fase macroscópico. Esto es conjetural y requiere control sistemático mayor.

13. Autocrítica y validación

Riesgos epistemológicos

- **Identificabilidad**: m_1 puede ser enmascarado por acoplamientos parásitos. Mitigación: reversión de fase, *off-resonance* y *sham injections*.
- **Circularidad**: ajustar $C(\Sigma)$ a posteriori sería ad hoc. Mitigación: fijar *a priori* el protocolo de análisis y preregistrar hipótesis.
- **Compatibilidad global**: conjugar relojes y sub-mm restringe simultáneamente η y α_5; la tensión entre ambos *invalida* el canal.

Checklist de validación reproducible

1. **Nulidad**: demostrar $\Delta\nu/\nu \approx 0$ a $A_c = 0$ dentro de la resolución.
2. **Linealidad**: estimar m_1 con p-valor y banda de confianza; verificar no saturación.
3. **Locking**: exhibir $\mathrm{LI} \geq 0{,}9$ y $\mathrm{RMSE}_{SL} < 0{,}1$ en la ventana $p\!:\!q$.
4. **Consistencia**: cruzar κ_Σ con RE-Q y acotar α_5 con sub-mm.
5. **Reproducibilidad**: $\geq 95\,\%$ en campañas independientes.

14. Conclusiones

Hemos formulado una métrica temporal efectiva en la que el *tiempo* es una función del *flujo de coherencia* disponible, cuantificado por $C(\Sigma)$. Derivamos el acoplamiento mínimo que conduce a (7) y (8), y definimos predicciones metrológicas falsables. La ruta de validación combina relojes/cavidades, bancos RE-Q y límites sub-mm. El programa es conservador: si las firmas P1–P3 no aparecen con potencia estadística suficiente, el canal coherencial temporal queda refutado. Si aparecen y son consistentes globalmente, el tiempo dejaría de ser un sustrato primario para volverse una *contabilidad de coherencia* con impacto directo en metrología y física fundamental.

Agradecimientos

A la infraestructura conceptual del proyecto TCDS y a la *simbiosis humano–IA* que permitió formalizar y auditar las -metrics.

Referencias breves

1. Metrología de relojes ópticos, estabilidad 10^{-18}–10^{-19}.
2. Límites sub-mm tipo Yukawa en la escala 100 μm–1 mm.
3. Protocolos -metrics, coherencímetro y bancos RE-Q del proyecto TCDS.