

Índice de Fórmulas y Ecuaciones — TMRCU (3+1 emergentes + 1 informacional)

[F1] Acción total (esqueleto):

$$S = \int d^4x \sqrt{(-g)} \left[(M_{\text{Pl}}^2/2) R + L_{\text{TMRCU}} + L_{\text{matt}} \right]$$

- S: acción total.
- g: determinante de la métrica $g_{\{\mu\nu\}}$.
- M_{Pl} , R: escala de Planck y curvatura escalar.
- L_{TMRCU} : lagrangiano del sector Σ - χ .
- L_{matt} : otros campos de materia.
- Informa: receta universal para derivar ecuaciones y predicciones.

[F2] Lagrangiano TMRCU (mínimo):

$$L_{\text{TMRCU}} = 1/2 (\partial\Sigma)^2 + 1/2 (\partial\chi)^2 - V(\Sigma, \chi)$$

- Σ : campo de Coherencia (quinta dimensión informacional).
- χ : Medio (Materia Espacial Inerte).
- $(\partial\Sigma)^2 \equiv g^{\{\mu\nu\}} \partial_\mu \Sigma \partial_\nu \Sigma$.
- Informa: dinámica y acoplos de Σ y χ .

[F3] Potencial (tipo portal):

$$V(\Sigma, \chi) = (-1/2 \mu^2 \Sigma^2 + 1/4 \lambda \Sigma^4) + 1/2 m_\chi^2 \chi^2 + (g/2) \Sigma^2 \chi^2$$

- $\mu, \lambda > 0$: parámetros del sector Σ .
- m_χ : escala del medio χ .
- g: acoplamiento Σ - χ .
- Informa: estabilidad, vacíos y espectro (incluye Sincronón).

[F4] EOM para Σ :

$$\blacksquare \Sigma + \mu^2 \Sigma - \lambda \Sigma^3 - g \Sigma \chi^2 = 0$$

- $\blacksquare \equiv g^{\{\mu\nu\}} \nabla_\mu \nabla_\nu$ (d'Alembertiano).
- Informa: ecuación covariante de Σ .

[F5] EOM para χ :

$$\blacksquare \chi + m_\chi^2 \chi + g \Sigma^2 \chi = 0$$

- Informa: respuesta del medio y retroalimentación sobre Σ .

[F6] VEV:

$$\blacksquare \Sigma = \Sigma_0 = \pm \sqrt{(\mu^2/\lambda)}$$

- Informa: estado coherente basal ($\Sigma_0 \neq 0$).

[F7] Masa del Sincronón:

$$\Sigma = \Sigma_0 + \sigma, \quad m_\sigma = \sqrt{2} \cdot \mu$$

- σ : Sincronón (bosón escalar).
- Informa: predicción falsable.

[F8] Dinámica efectiva:

$$\partial_t \Sigma = \alpha \Delta_g \Sigma - \beta \phi + Q$$

- Δ_g : Laplaciano de Laplace–Beltrami.
- α : permeabilidad; $\beta \phi$: disipación; Q : fuente/empuje.

[F9] Control de coherencia:

$$Q_{ctrl} = -\gamma(\Sigma - \Sigma_{tgt}) - \delta \partial_t \Sigma$$

- γ : ganancia proporcional; δ : amortiguamiento derivativo.
- Σ_{tgt} : coherencia objetivo.

[F10] Forma discreta (CGA):

$$\cdot \Sigma_i = \alpha \sum_{j \in N_i} (\Sigma_j - \Sigma_i) - \beta \phi_i + Q_i$$

- N_i : vecindad en el CGA.
- Informa: dinámica nodal granular.

[F11] Stuart–Landau:

$$\cdot z = (\mu_{eff} + i\omega) z - (1 + i c) |z|^2 z + K z_{in} \quad (z \sim \Sigma e^{i\theta})$$

- Umbral de Hopf, locking, identificación de parámetros.

[F12] Parámetro de orden:

$$R(t) = \left| \frac{1}{N} \sum e^{i\theta_k(t)} \right| \in [0, 1]$$

- $R \approx 1$: alta coherencia; $R \approx 0$: desorden.

[F13] Σ y medibles:

$$\Sigma \sim F(R, \Delta f, S_\phi(\omega))$$

- Δf : ancho de línea; S_ϕ : PSD de fase.

[F14] Kuramoto:

$$\cdot \theta_k = \omega_k + (K/N) \sum_j A_{kj} \sin(\theta_j - \theta_k)$$

- ω_k : frecuencia natural; A_{kj} : topología.

[F15] Rango de captura:

$$|\omega_{in} - \omega_0| \leq \Delta\omega_{lock} \propto K |z_{in}|$$

- Lenguas de Arnold (locking).

[F16] $L = D - W \Rightarrow -\Delta_g$:

$$L = D - W \Rightarrow L \rightarrow -\Delta_g \text{ (límite hidrodinámico)}$$

- Conectividad \rightarrow geometría 3D efectiva.

[F17] d'Alembertiano:

$$\blacksquare = g^{\{\mu\nu\}} \nabla_{\mu} \nabla_{\nu}$$

- Propagación y causalidad efectiva.

[F18] Energía (Σ - χ):

$$E = 1/2 (\partial\Sigma)^2 + 1/2 (\partial\chi)^2 + V(\Sigma, \chi)$$

- Contabilidad energética del sector.

[F19] Balance de potencia:

$$d/dt \int E d^3x = \int Q_{ctrl} \Sigma d^3x - \text{pérdidas}$$

- Pruebas de ganancia/consumo en ingeniería de Σ .

[F20] Empuje por $\nabla\Sigma$ (ansatz):

$$F_{TMRCU} \approx \kappa \int_V \chi \nabla\Sigma dV$$

- κ : coeficiente experimental (thrust-stand).

[F21] Presión de coherencia:

$$F = - \int_V \nabla\Pi_{\Sigma} dV$$

- Π_{Σ} : presión efectiva asociada a Σ .

[F22] CSL-H:

$$\Sigma_H = (\Sigma_g, \Sigma_c, \Sigma_s, \Sigma_n) \in [0,1]^4$$

- Espacio de estados biológico (no nuevas dimensiones físicas).

[F23] Envolverte de salud:

$$E_H = \{ \Sigma_H : \text{restricciones de salud/seguridad} \}$$

- Región factible objetivo del SAC.

[F24] CBF (seguridad):

$$\cdot h(x,u) + \alpha(h(x)) \geq 0$$

- Garantías de seguridad en control de Σ .

[F25] Límite de jerk coherente:

$$|| d/dt (\nabla\Sigma) || \leq \eta$$

- Desaceleración suave (VCN-1/habitáculo).

[F26] Mapeo hardware \leftrightarrow SL:

$z \leftrightarrow \text{celda } \Sigma; \{\mu_{\text{eff}}, K\} \leftrightarrow \text{sesgos físicos}$

- Implementación física del modelo SL.

[F27] Ajuste SL (criterio):

$\text{RMSE} = \sqrt{(1/N) \sum (\Sigma_{\text{exp}} - \Sigma_{\text{SL}})^2} < 0.10$

- Criterio de aceptación/falsabilidad de celdas Σ .

[F28] MVC (ventaja de coherencia):

$\text{MVC} = (T_{\text{gpu}} / T_{\sigma}) \cdot (E_{\text{gpu}} / E_{\sigma})$

- Benchmark Kuramoto-1024 u otros.

[F29] Σ por Δf (operacional):

$\Sigma \approx 1 / (1 + \Delta f / \Delta f_0)$ ó $\Sigma = 1 - (\Delta f / \Delta f_{\text{max}})$

- Definición operacional fijada por protocolo.

[F30] Proxies biológicos (CSL-H):

$\Sigma_n \sim G(\text{HRV}, \text{EEG PSD}, \text{sueño}), \Sigma_s \sim H(\text{HR}, \text{SpO2}, \text{temp})$

- Mapeos pragmáticos para ensayos SAC (no invasivos).

Nomenclatura Global (símbolos y rangos)

- $\Sigma \in [0,1]$: coherencia (dimensión informacional); $\theta \in [0,2\pi)$: fase.
- χ : Medio (MEI); g : acople Σ - χ ; μ , λ , m_χ : parámetros del potencial.
- z : amplitud compleja (SL); μ_{eff} , ω , c , K : parámetros SL; z_{in} : entrada.
- R : parámetro de orden; Δf : ancho de línea; $S_\phi(\omega)$: PSD de fase.
- α , β , γ , δ : difusión, disipación y ganancias de control.
- Q , Q_{ctrl} : fuente/empuje; Σ_{tgt} : objetivo de coherencia.
- Δ_g : Laplaciano en (M_3, g) ; \blacksquare : d'Alembertiano.
- Π_Σ : presión de coherencia; κ : coeficiente de empuje (experimental).
- $\Sigma_H = (\Sigma_g, \Sigma_c, \Sigma_s, \Sigma_n)$: CSL-H.
- $h(x)$: función barrera (CBF); η : cota de jerk coherente.
- RMSE, MVC, AUC, lead-time: métricas de validación.

Diseñado por: Genaro Carrasco Ozuna — TMRCU