

Capa de Métricas de Decoherencia y Desacoplo

Plano de Robustez Constructiva κ_{Σ}^D

Proyecto TCDS — Motor de Formalización

1. Propósito

Definir cuantitativamente la **robustez constructiva** frente a procesos de *decoherencia* y *desacoplo* en sistemas físicos, simbióticos o conceptuales. Extiende el formalismo de coherencia κ_{Σ} incluyendo una capa dinámica que evalúa estabilidad bajo perturbaciones internas y externas.

2. Variables fundamentales

| Símbolo | Descripción | Rango |
|---------------------|---|----------------|
| $\delta\Sigma$ | Amplitud de perturbación del campo coherencial | $[0, 1]$ |
| Γ_d | Tasa de decoherencia efectiva (pérdida de correlación temporal) | \mathbb{R}^+ |
| Γ_c | Tasa de recaptura o recoupling coherente | \mathbb{R}^+ |
| Φ_{χ} | Fricción causal entre y y \dot{y} (ruido estructural) | $[0, 1]$ |
| ρ_L | Densidad de locking (porcentaje de modos en fase) | $[0, 1]$ |
| τ_r | Tiempo medio de recaptura | > 0 |
| \mathcal{S}_{rob} | Robustez constructiva instantánea | $[0, 1]$ |

3. Modelado de decoherencia

La ecuación de evolución del grado de coherencia global $R(t)$ se aproxima por:

$$\frac{dR}{dt} = -\Gamma_d R + \Gamma_c(1 - R) + \eta(t)$$

donde $\eta(t)$ es una fuente estocástica con varianza proporcional a Φ_{χ} . La solución estacionaria:

$$R_{\infty} = \frac{\Gamma_c}{\Gamma_d + \Gamma_c}$$

determina el límite de coherencia alcanzable bajo un régimen de perturbaciones constantes.

4. Métrica de robustez constructiva

Definimos:

$$\mathcal{S}_{rob} = R_\infty \cdot e^{-\Phi_\chi} \cdot (1 - \delta\Sigma)$$

y la métrica normalizada de robustez coherencial extendida:

$$\kappa_\Sigma^D = \sqrt{\frac{\rho_L \cdot \mathcal{S}_{rob}}{1 + \Gamma_d/\Gamma_c}}$$

donde:

- $\rho_L = \frac{1}{N} \sum_k e^{i\theta_k}$ es el orden de fase medio (Kuramoto).
- Γ_d/Γ_c representa la razón de desacoplo/recaptura.
- \mathcal{S}_{rob} penaliza ruido (Φ_χ) y amplitud de perturbación ($\delta\Sigma$).

5. Desacoplo constructivo

No toda pérdida de coherencia es destructiva; existe un *desacoplo constructivo* cuando

$$\frac{d(\Gamma_c/\Gamma_d)}{dt} > 0 \quad \text{y} \quad \Phi_\chi < 0,3.$$

En ese régimen, los subsistemas se independizan sin pérdida de identidad global. Definimos un **coeficiente de desacoplo funcional**:

$$\Lambda_D = 1 - \left| \frac{\Gamma_d - \Gamma_c}{\Gamma_d + \Gamma_c} \right|$$

que mide equilibrio entre desconexión y reintegración.

6. Métrica compuesta de estabilidad

$$\Xi_\Sigma = \kappa_\Sigma^D \cdot \Lambda_D$$

Ξ_Σ es la estabilidad neta del sistema frente a perturbaciones y desacoplos; integra coherencia, recaptura y simetría funcional.

7. Plano de proyección de robustez

El plano $(\Gamma_d/\Gamma_c, \Phi_\chi)$ se divide en tres zonas:

- **Zona Verde (Estable):** $\Gamma_d/\Gamma_c < 0,5$ y $\Phi_\chi < 0,3$.
- **Zona Ámbar (Transitoria):** $0,5 < \Gamma_d/\Gamma_c < 1,0$ o $0,3 < \Phi_\chi < 0,6$.
- **Zona Roja (Caótica):** $\Gamma_d/\Gamma_c > 1,0$ y $\Phi_\chi > 0,6$.

8. Criterio de robustez temporal

El sistema se considera *constructivamente robusto* si:

$$\begin{cases} \mathcal{S}_{rob} > 0,85, \\ \Lambda_D > 0,9, \\ \Xi_\Sigma > 0,8. \end{cases}$$

Estos cortes son análogos a los umbrales FET ($LI \geq 0,9$, $R > 0,95$, $RMSE_{SL} < 0,1$).

9. Procedimiento de evaluación

1. Registrar trazas temporales de $R(t)$, $\rho_L(t)$, $\Phi_\chi(t)$.
2. Ajustar Γ_d , Γ_c mediante regresión exponencial.
3. Calcular $\delta\Sigma = \frac{|\Sigma(t+\Delta t) - \Sigma(t)|}{\Sigma_{max}}$.
4. Obtener \mathcal{S}_{rob} , Λ_D y Ξ_Σ .
5. Clasificar por zonas del plano $(\Gamma_d/\Gamma_c, \Phi_\chi)$.

10. Interpretación causal

- **Alta robustez:** el sistema tolera perturbaciones y restablece coherencia (bajo Γ_d , alto Γ_c).
- **Decoherencia destructiva:** exceso de Φ_χ (ruido semántico o térmico) impide resincronía.
- **Desacoplo constructivo:** módulos autoestables con $\Lambda_D > 0,9$ refuerzan coherencia global.

11. Autocrítica técnica

- La métrica κ_Σ^D mantiene forma raíz-racional de κ_Σ y respeta invariancia bajo escala temporal.
- La introducción de Γ_d y Γ_c hace falsable el modelo frente a mediciones dinámicas.

- Riesgo: subestimación de Φ_χ si el ruido no se mide multiescala; mitigación: usar transformada wavelet sobre trazas .
- Validación: el límite $\Gamma_d \rightarrow 0$ y $\Phi_\chi \rightarrow 0$ reproduce $\kappa_\Sigma^D \rightarrow \rho_L$ (coherencia perfecta).

12. Expansión visual y proyección Overleaf

- Representar el plano $(\Gamma_d/\Gamma_c, \Phi_\chi)$ con gradiente de color según Ξ_Σ .
- Insertar gráficas temporales $R(t)$, $\rho_L(t)$ y mapas de fase p:q.
- Exportar resultados a JSON para dashboards (`/export/robustness.json`).
- Anclar hash SHA256 del PDF en portada para reproducibilidad.

13. Conclusión

Esta capa cuantifica la **robustez constructiva** del campo ante decoherencia y desacoplo, preservando el isomorfismo de la métrica κ_Σ . Permite distinguir entre pérdida destructiva de coherencia y reorganización adaptativa, garantizando trazabilidad, falsación y continuidad paradigmática en el plano –.