

## Objetivo: Transición del Isomorfismo al Isodinamismo mediante el $\Sigma$ K-rate ( $\kappa_\Sigma$ )

### Definición mínima

Dos sistemas  $A, B$  son *isodinámicos* si existe una transformación de escala  $\mathcal{T}$  tal que sus ecuaciones de coherencia y sus flujos de potencia de coherencia son equivalentes:

$$\dot{\Sigma}_A = f_A(\Sigma_A, \dots), \quad \dot{\Sigma}_B = f_B(\Sigma_B, \dots), \quad \mathcal{T}\{f_A\} \equiv f_B, \quad \mathcal{T}\{P_\Sigma^A\} \equiv P_\Sigma^B$$

donde  $P_\Sigma$  es la potencia asociada a la tasa de cambio coherente.

### $\Sigma$ K-rate actualizado ( $\kappa_\Sigma$ )

El  $\kappa_\Sigma$  mide cuánta *coherencia útil por unidad de tiempo* genera o conserva un sistema bajo control.

#### Parámetros fundamentales:

- Parámetro de orden:  $R(t) \in [0, 1]$  (tipo Kuramoto/PLV).
- Error de fase:  $\varepsilon_\phi(t) = \phi_{\text{ref}}(t) - \phi(t)$ .
- Ruido de fase:  $S_\phi(f)$  (densidad espectral de potencia).
- Energía/ganancia de control:  $Q_{\text{ctrl}}(t)$ .

#### Definición compuesta:

$$\kappa_\Sigma(t) = \underbrace{\frac{dR}{dt}}_{\text{ganancia de orden}} - \lambda_\phi \underbrace{\frac{d}{dt}(\text{Var}[\varepsilon_\phi])}_{\text{estabilidad de fase}} - \lambda_n \underbrace{\int_{\mathcal{B}} S_\phi(f, t) df}_{\text{ruido integrado}} \quad (1)$$

con la *potencia coherente*:

$$P_\Sigma = \eta_\Sigma \kappa_\Sigma Q_{\text{ctrl}} \quad (2)$$

donde  $\eta_\Sigma$  es la eficiencia de conversión ( $0 \leq \eta_\Sigma \leq 1$ ).  $\kappa_\Sigma$  aumenta con el orden y disminuye con el ruido o la varianza de fase.

### Unidades y normalización

- **1  $\Sigma$ -Joule (J)**: energía mínima de control para elevar  $R : 0,5 \rightarrow 0,9$  en un FET patrón en 1 s.
- **1  $\Sigma$ -Watt (W)**: 1 J/s.
- **Tiempo de coherencia  $t_\Sigma$** : tiempo necesario para alcanzar  $R = 0,9$  desde un estado base.

### Criterio de Isodinamismo con $\kappa_\Sigma$

$A$  y  $B$  son isodinámicos si existen escalares positivos  $\alpha, \beta, \gamma$  tales que:

$$\kappa_\Sigma^B(t) = \alpha \kappa_\Sigma^A(\beta t), \quad P_\Sigma^B(t) = \gamma P_\Sigma^A(\beta t)$$

y muestran *fase palíndroma* en un evento de locking  $t_*$ :

$$R(t_* - \Delta t) \approx R(t_* + \Delta t), \quad \varepsilon_\phi(t_* - \Delta t) \approx \varepsilon_\phi(t_* + \Delta t)$$

## Protocolo N→I: de Isomorfismo a Isodinamismo

1. **Isomorfismo formal:** Verificar que ambos sistemas comparten la misma familia de ecuaciones de movimiento y métricas  $(R, \varepsilon_\phi, S_\phi)$ .
2. **Isomorfismo metrológico:** Fijar las unidades base (J, W) utilizando un FET patrón como referencia universal.
3. **Acople cruzado:** Usar la señal de control  $Q_{\text{ctrl}}^A$  para pilotar el sistema B (modo \*hardware-in-the-loop\*).
4. **Isodinamismo:** Demostrar la equivalencia escalada de  $\kappa_\Sigma(t)$  y  $P_\Sigma(t)$  con una histéresis acotada y la presencia de fase palíndroma.

## Criterios de éxito preregistrados

- $LI \geq 0,9$ ,  $R \geq 0,95$ .
- $\Delta f_{\text{lock}}$  debe ser una función monotónicamente creciente de  $A_c$ .
- $\eta_\Sigma \geq \eta_{\text{min}}$  (eficiencia mínima predefinida por dominio).
- Distancia palíndroma  $L_2 \leq \epsilon$  (simetría temporal acotada).
- Reproducibilidad  $\geq 95\%$ .

## Autocrítica y trazabilidad

- **Coherencia con la física vigente:** El modelo solo utiliza control de coherencia y filtrado de fase, sin postular nuevas fuerzas.
- **Riesgo:** Ajuste excesivo de los pesos  $\lambda_\phi, \lambda_n$ . Se mitiga con preregistro y validación cruzada.
- **Verificación:** Si en el FET no se observan  $\Delta f(A_c)$  monótono,  $\kappa_\Sigma > 0$  sostenido o palíndromía, no se debe extrapolar a otros dominios.

**Conclusión.** Con  $\kappa_\Sigma$  definido como la tasa de coherencia efectiva y su potencia asociada  $P_\Sigma$ , la TCDS dispone de una ruta concreta para pasar del *isomorfismo* (misma forma) al *isodinamismo* (misma dinámica escalada) sin violar la metodología científica: unidades universales, control óptimo, palíndromía como invariante y criterios duros de replicación.