

# Análisis Espectral–Causal en la Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS):

## Extracción de Señales Invisibles en Tiempo Causal y Tiempo Coherencial

Proyecto TCDS

### 1 Introducción

La Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS) establece que la dinámica real de los sistemas complejos no se expresa primariamente en el tiempo cronológico  $t_M$ , sino en el **tiempo causal**  $t_C$ , definido como el gradiente efectivo de coherencia del sistema. Bajo este paradigma, los eventos observables —incluidos los fenómenos sísmicos— no son causas primarias, sino manifestaciones tardías de procesos causales previos.

Este estudio formaliza un nivel de análisis intermedio, espectral–causal, destinado a extraer señales estructurales que no son visibles bajo métricas escalares convencionales (energía, magnitud, frecuencia de eventos), pero que gobiernan la transición entre organización coherente y ruptura.

### 2 Fundamentos Temporales

#### 2.1 Tiempo Cronológico y Tiempo Causal

Se distinguen dos dominios temporales fundamentales:

- Tiempo cronológico  $t_M$ : parámetro externo, uniforme, pasivo.
- Tiempo causal  $t_C$ : magnitud interna, definida por

$$t_C(t) \equiv \frac{d\Sigma(t)}{dt} \quad (1)$$

donde  $\Sigma(t)$  representa el estado de coherencia del sistema.

El tiempo causal no mide duración, sino *capacidad de cambio coherencial*. Dos sistemas con igual  $t_M$  pueden encontrarse en estados causales radicalmente distintos.

#### 2.2 Espacio Coherencial Integrado

Para evitar discontinuidades propias del muestreo cronológico, se define el flujo causal acumulado:

$$\Phi_C(t) = \int_{t_0}^t t_C(\tau) d\tau \quad (2)$$

Este espacio  $\Phi_C$  actúa como eje interno del sistema, permitiendo observar estructuras persistentes aun cuando en  $t_M$  se manifiesten de forma intermitente.

### 3 Limitaciones del Análisis Escalar

Las métricas tradicionales empleadas en el kernel (e.g.  $\Delta H$ ,  $LI$ ,  $R$ ,  $RMSE$ ) son necesarias pero no suficientes. Operan sobre valores instantáneos o promedios, y no capturan:

- Estructuras de fase
- Resonancias inter-escala
- Persistencia inercial del gradiente

Esto explica por qué sistemas pueden exhibir organización entrópica sostenida (PNR) sin cierre  $\Sigma$ , aun cuando la ruptura sea inminente.

### 4 Análisis Espectral en Tiempo Causal

#### 4.1 Transformada de Fourier Causal

Se aplica la transformada de Fourier no sobre  $\Sigma(t)$ , sino sobre su gradiente causal:

$$\mathcal{F}_C\{t_C(t)\}(f) = \int t_C(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (3)$$

El espectro resultante  $P_C(f) = |\mathcal{F}_C|^2$  revela modos dominantes de reorganización coherencial.

#### 4.2 Coherencia Espectral Multiescala

Para ventanas  $Z \in \{30, 15, 7\}$  días, se define la coherencia cruzada:

$$\gamma_{Z_1, Z_2}^2(f) = \frac{|S_{Z_1 Z_2}(f)|^2}{S_{Z_1 Z_1}(f) S_{Z_2 Z_2}(f)} \quad (4)$$

De ello se construye el escalar de locking causal:

$$\text{CSL} = \langle \gamma_{30,15}^2(f) \cdot \gamma_{15,7}^2(f) \rangle_{f \in \mathcal{B}} \quad (5)$$

CSL alto indica que el mismo patrón causal persiste a través de escalas, independientemente de la dispersión cronológica.

### 5 Análisis de Fase y Señales Oscilantes

Para distinguir entre sismos oscilatorios y sismos impulsivos (“zig-zig”), se emplea la transformada de Hilbert:

$$z(t) = \Sigma(t) + i \mathcal{H}[\Sigma(t)] \quad (6)$$

De ella se obtiene la fase instantánea  $\phi(t)$  y la frecuencia causal:

$$\omega_C(t) = \frac{d\phi}{dt} \quad (7)$$

La ruptura no está asociada a amplitud extrema, sino a *desacople súbito de fase* entre escalas.

## 6 Laplace y Memoria Inercial

El operador de Laplace se utiliza exclusivamente para caracterizar relajaciones:

$$E_C(t) \approx \sum_k A_k e^{-(t-t_0)/\tau_k} \quad (8)$$

El parámetro  $\tau$  representa la persistencia causal del sistema. Valores elevados indican acumulación inercial compatible con ruptura estructural.

## 7 Integración en E-Veto 2.0

El criterio de decisión no es binario simple, sino estructural. Se propone un tercer sello:

- Sello entrópico:  $\Delta H < -0.2$
- Sello coherencial: métricas  $\Sigma$
- Sello causal-espectral:
  - $CSL \geq \theta_{CSL}$
  - estabilidad espectral ( $\Delta f \approx 0$ )
  - persistencia  $\tau$  dentro de rango crítico

La convergencia de estos sellos define una *ventana causal segura*.

## 8 Aplicaciones y Objetivos

Este nivel de análisis permite:

1. Delimitar ventanas causales previas a eventos sísmicos mayores
2. Reducir falsos positivos sin perder sensibilidad
3. Dar agencia predictiva al kernel en tiempo cronológico
4. Unificar análisis cuántico (fase, coherencia) y macroscópico (estructura tectónica)

No se predicen eventos: se identifican *condiciones inevitables de ruptura*.

## 9 Conclusión

La señal no observada no es débil: es estructural. Vive en el gradiente, no en el valor; en la fase, no en la amplitud; en el tiempo causal, no en el cronológico. La TCDS, al incorporar análisis espectral-causal, completa el puente entre coherencia y realidad observable, permitiendo una lectura física, no estadística, del devenir sísmico.