

GLOBAL SUMMARY

TCDS-EDGE | Sistema Global de Evaluación de Riesgo Causal Sísmico

December 24, 2025

Resumen Ejecutivo

Este documento resume el alcance, fundamento físico y valor operativo del sistema **TCDS-EDGE** (Artefacto de Evaluación de Riesgo Causal, AERC), diseñado para detectar **condiciones pre-ruptura sísmica** mediante análisis entrópico y persistencia temporal, usando únicamente **datos públicos y reproducibles**.

El sistema no reemplaza los esquemas tradicionales de alerta temprana basados en propagación de ondas, sino que introduce una **capa causal previa** enfocada en la **irreversibilidad termodinámica** del sistema tectónico antes de la ruptura.

1. Problema que aborda

Los sistemas sísmicos operativos actuales (EEW):

- Actúan **después** del inicio de la ruptura (ondas P).
- No cuantifican el estado interno de bloqueo previo del sistema.
- No distinguen entre ruido normal y estados metaestables pre-críticos.

TCDS-EDGE aborda el problema desde una lógica distinta:

El riesgo no es la energía liberada, sino la incapacidad del sistema para seguir disipándola.

2. Enfoque conceptual

El sistema introduce la separación explícita entre:

- **Tiempo cronológico (tM)**: eje temporal clásico (segundos, minutos).
- **Tiempo causal (tC)**: persistencia de estados de coherencia forzada medidos mediante entropía.

Un evento sísmico es interpretado como la resolución abrupta de un **estado metaestable de alta coherencia**.

3. Variable central: Magnitud Causal

Se define la **Magnitud Causal** como:

$$M_c = |\min(\Delta H(t))|$$

donde:

$$\Delta H(t) = H(t) - H_{\text{baseline}}$$

y $H(t)$ es la entropía de Shannon de la señal sísmica (o su derivada) calculada en ventanas deslizantes.

Interpretación:

- $\Delta H \approx 0$: sistema respirando normalmente.
- $\Delta H < 0$: supresión de fluctuaciones estocásticas.
- $\Delta H \ll 0$: bloqueo forzado, ruptura inminente.

4. Persistencia y Riesgo Causal

La caída de entropía debe **persistir** para ser operativa.

Se define:

$$t_{\text{lock}}(\theta) = \text{tiempo continuo con } \Delta H \leq \theta$$

Umbrales operativos típicos:

- Infraestructura hidráulica: $t_{\text{lock}} \geq 4 \text{ s}$
- Trenes y sistemas de alta velocidad: $t_{\text{lock}} \geq 10 \text{ s}$

5. Clasificación de Riesgo

M_c	Nivel	Acción recomendada
< 0.10	Nulo/Ruido	Monitoreo
$0.10-0.15$	Latente	Pre-alerta
$0.15-0.25$	Crítico	Cierre preventivo
> 0.25	Catastrófico	Cierre + evacuación

6. Arquitectura del sistema

- Ingesta: USGS (evento) + IRIS/FDSN (trazas).
- Procesamiento local: detrending robusto, cálculo de $\Delta H(t)$.
- Decisión: reglas explícitas + persistencia.
- Salida: **JSON firmado criptográficamente (SHA256)**.

Cada ejecución es **one-shot**, sin bucles ocultos ni estados persistentes.

7. Reproducibilidad y auditoría

- Datos públicos, identificados por ID.
- Parámetros explícitos en el JSON.
- Canonicalización y hash del resultado.
- Manifiesto de integridad por archivo.

Cualquier modificación del código o parámetros cambia el hash final.

8. Alcance global

El sistema está diseñado para:

- Operar con **una sola estación**.
- Escalar a **redes regionales o globales**.
- Integrarse con sensores adicionales (temperatura, GNSS, EM).

El presente paquete demuestra la capa causal mínima. La gestión avanzada de falsos positivos y la fusión multi-fuente constituyen una fase posterior de colaboración.

9. Valor institucional

TCDS-EDGE ofrece:

- Evidencia verificable de ventana causal pre-ruptura.
- Independencia de presupuestos elevados.
- Portabilidad (local, móvil, nube).
- Auditoría completa y trazabilidad legal.

10. Conclusión

Este sistema demuestra que es posible observar el **estado interno de un sistema sísmico** antes de su ruptura, utilizando principios termodinámicos y métricas de coherencia, con una implementación reproducible y verificable.

El siguiente paso natural es la validación institucional conjunta y la integración operativa bajo protocolos de seguridad definidos.

Nota final: Este documento describe la capa pública y demostrativa del sistema. Los módulos de calibración avanzada y control de falsas alarmas se reservan para implementación colaborativa.