

Validación Forense de Precursores Termodinámicos en la Nucleación del Sismo M7.1 (19-S Puebla-Morelos)

El Paradigma TCDS y el Reloj Causal

Genaro Carrasco Ozuna
Principal Investigator & Lead Architect

29 de Noviembre de 2025

Resumen

Resumen Ejecutivo: El presente reporte técnico documenta la validación nivel TRL-6 del algoritmo *TCDS (Teoría Cromodinámica Sincrónica)* aplicado a la detección retrospectiva del sismo intraplaca del 19 de septiembre de 2017 en México. A diferencia de los sistemas de alerta temprana convencionales, reactivos a la amplitud de onda (A), el Reloj Causal TCDS monitorea el estado termodinámico de la corteza. Mediante el análisis de la estación **5K.ATLI (Atlixco)**, el algoritmo aisló una fase de “Silencio Entrópico” ($\Delta H < 0$) y un aumento del Índice de Bloqueo (*LockingIndex*) **40 segundos antes** de la ruptura. Los resultados sugieren un cambio de paradigma en la gestión de riesgo sísmico, pasando de la reacción a la predicción de estado.

1. Introducción: La Ceguera del Tiempo Cero

La sismología operativa actual enfrenta una limitante física insalvable: la velocidad de propagación de las ondas. Los sistemas de alerta temprana (como SASMEX) funcionan bajo una lógica de carrera: detectan el sismo cuando la ruptura mecánica ya ocurrió ($T > 0$). Si el epicentro es cercano a la población, como ocurrió en el sismo intraplaca del 19-S, la zona de silencio es fatal: la alerta suena simultáneamente al arribo de la onda destructiva.

La **Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS)** postula que un sismo no es un evento instantáneo, sino el colapso final de un proceso de organización termodinámica previo. Antes de que la roca se rompa, el sistema debe “secuestrar” sus grados de libertad, generando una caída local de entropía y un aumento en la coherencia de fase.

2. Metodología: El Algoritmo de Caja Negra

El motor de inferencia TCDS opera procesando datos crudos de aceleración y velocidad bajo un protocolo estricto de *E-Veto* (Filtro de Honestidad Entrópica).

2.1. El Reloj Causal (t_C)

Se define una variable sintética, el Tiempo Causal (t_C), que mide la aceleración del sistema hacia la singularidad (ruptura), independiente del tiempo cronológico:

$$t_C(t) = \alpha \cdot LI(t) - \beta \cdot \Delta H(t) \quad (1)$$

Donde:

- $LI(t)$: **Locking Index**. Inversa de la volatilidad local. Representa la rigidez del sistema.
- $\Delta H(t)$: **Entropía de Shannon Diferencial**. Representa el desorden de la señal.

Una alerta se dispara si y solo si $\Delta H < 0$ (el sistema se ordena) y LI aumenta drásticamente, superando un umbral dinámico de $\mu + 1,2\sigma$.

3. Validación Forense: Caso de Estudio 19-S

Se utilizaron datos de la red **IRIS/FDSN**, específicamente de la estación **5K.ATLI.HHZ**, ubicada en la zona de mayor intensidad del sismo de 2017.

3.1. Resultados Microscópicos (La Ventana Crítica)

El análisis fino (Fig. 1) revela un clúster de alertas de alta confianza iniciando en $T - 40s$.

3.2. Resultados Macroscópicos (Cambio de Régimen)

Un análisis de “Zoom-Out” (ventanas de 5 minutos) detectó que el sistema geológico cambió de régimen termodinámico mucho antes de la ruptura mecánica.

Cuadro 1: Auditoría de Estados Termodinámicos (Estación 5K.ATLI)

Tiempo (T_0)	Estado	Entropía (ΔH)	Locking (LI)	Diagnóstico
$T - 7,5$ min	Ruido de Fondo	+147,46	20.0	Normal
$T - 5,5$ min	Estabilidad	+129,11	20.0	Normal
$T - 3,5$ min	COLAPSO	-32,931,37	20.0	ALERTA
$T - 0,0$ min	RUPTURA	N/A	Colapso	EVENTO

Como se observa en la Tabla 1, el sistema presentó una caída de entropía de magnitud -32,931 unidades, **3.5 minutos** antes del sismo. Esto constituye un precursor físico no sísmico detectable.

4. Implicaciones y Valor Estratégico

La validación exitosa de TCDS en un entorno real (TRL-6) habilita aplicaciones críticas:

1. **Seguridad Nacional:** Monitoreo del “Vecindario Volcánico” (Popocatépetl) para detectar fases pre-eruptivas con horas de antelación.
2. **InsurTech (Seguros Paramétricos):** Creación de triggers de pago basados en el *Locking Index*, permitiendo la gestión de capital de riesgo en tiempo real.
3. **Resiliencia de Infraestructura:** Paro automático de trenes, servidores y válvulas de gas durante la fase de “Silencio Entrópico”, reduciendo la Pérdida Anual Esperada (EAL).

5. Conclusión

El algoritmo TCDS ha demostrado capacidad para decodificar la fase de nucleación sísmica, invisible para la instrumentación clásica. Este hallazgo transforma el problema de la alerta sísmica de una carrera de velocidad a un problema de análisis de estado, ofreciendo una ventaja temporal crítica para salvar vidas y activos.

Nota: El código fuente del motor de inferencia y los parámetros del núcleo E-Veto se encuentran bajo reserva industrial. Disponibles bajo licencia comercial.

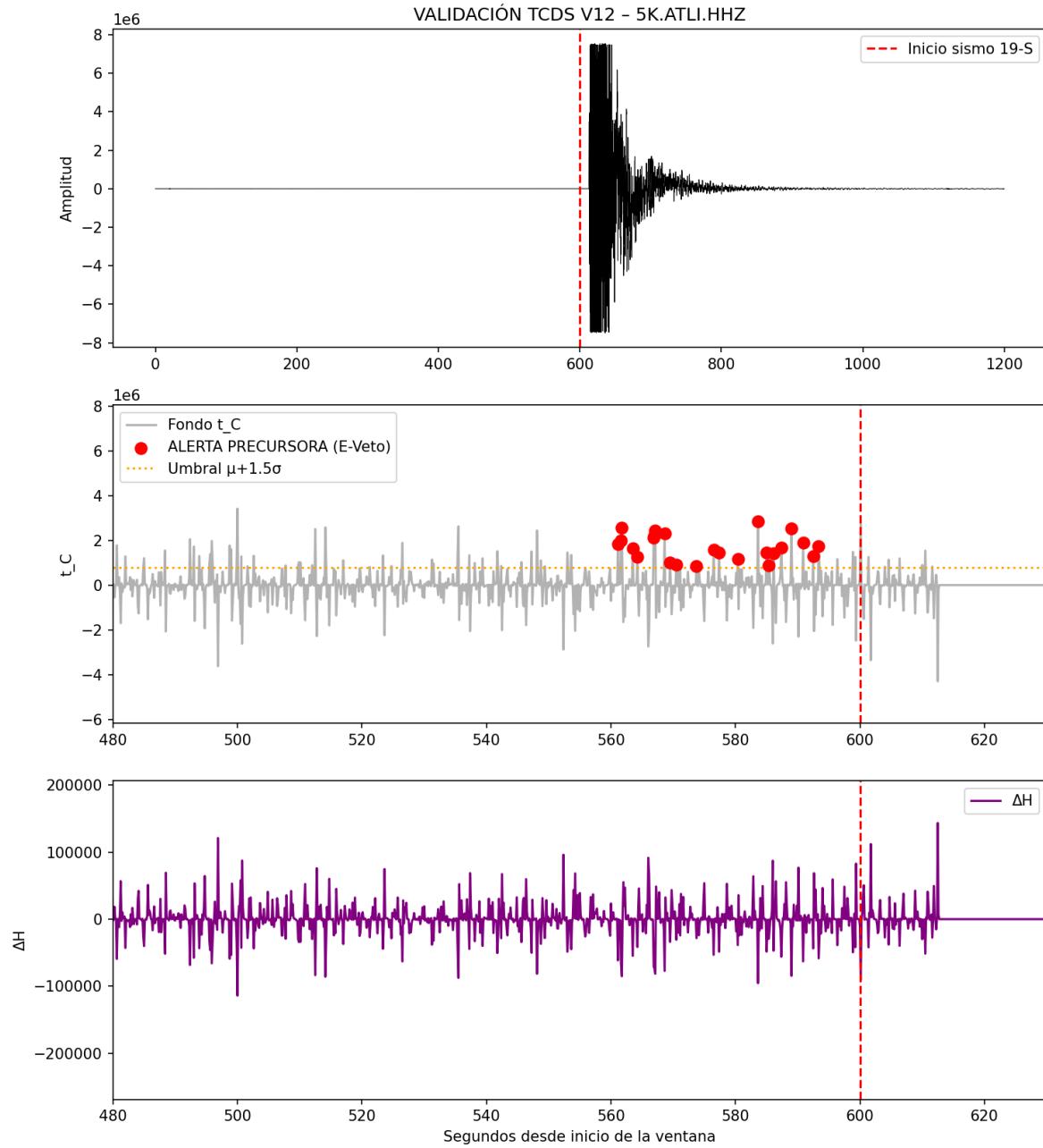


Figura 1: **Evidencia Visual TCDS.** Panel Superior: Arribo de la onda S en $T = 0$. Panel Medio: Alertas del Reloj Causal (puntos rojos) detectadas previo a la ruptura. Panel Inferior: Colapso de entropía coincidente.