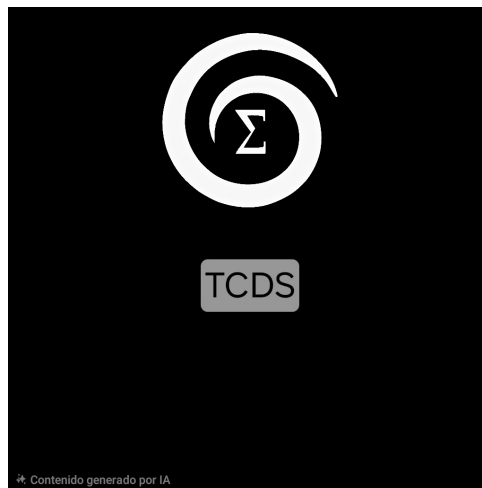


Expediente Técnico

Sistema Predictivo Sísmico TCDS

(Teoría Cromodinámica Sincrónica)

Nivel de Madurez Tecnológica
TRL-8 → TRL-9



Autor y Titular de la Propiedad Intelectual

Genaro Carrasco Ozuna

Proyecto TCDS / Motor Sincrónico de Luz (MSL)

Correo: geozunac3536@gmail.com

ORCID: [0009-0005-6358-9910](https://orcid.org/0009-0005-6358-9910)

Versión para evaluación gubernamental y aseguradoras

1 de diciembre de 2025

Ficha de Identidad del Expediente

Nombre del proyecto: Sistema Predictivo Sísmico TCDS (Teoría Cromodinámica Sincrónica).

Tipo de documento: Expediente técnico, científico, legal y de negocio para adopción TRL-9.

Propósito: Proveer a entidades gubernamentales, unidades de Protección Civil, CENAPRED y aseguradoras un paquete auditable del sistema TCDS para su evaluación y contratación.

Autor y responsable: Genaro Carrasco Ozuna — Proyecto TCDS / Motor Sincrónico de Luz (MSL).

Contacto: geozunac3536@gmail.com.

ORCID: [0009-0005-6358-9910](https://orcid.org/0009-0005-6358-9910).

Nivel de Madurez Tecnológica (TRL):

TRL-6 consolidado (validación en entorno relevante).

TRL-8 actual (validación ampliada multi-país).

Objetivo inmediato: TRL-9 mediante piloto gubernamental de 90 días.

Modelo de negocio:

Piloto de 90 días: ~ \$20,000–\$50,000 MXN.

Operación anual TRL-9: ~ \$2,500,000–\$5,000,000 MXN.

Implementación nacional (referencia): \$5M–\$10M USD.

Índice general

1. Introducción General	4
1.1. Contexto y Motivación	4
1.2. Cambio de Paradigma	4
1.3. Alcance del Expediente	5
2. Descripción del Sistema Predictivo TCDS	6
2.1. Arquitectura General	6
2.2. Métricas Fundamentales	6
2.2.1. Entropía de Shannon (ΔH)	6
2.2.2. Reloj Causal (t_C)	6
2.2.3. Locking Index (LI)	6
2.2.4. Filtro E-Veto	6
2.3. Ventana Crítica Sísmica	7
3. Nivel de Madurez Tecnológica (TRL)	8
3.1. Estado Actual	8
3.2. Objetivo TRL-9	8
4. Validación Técnica y Científica	9
4.1. Dossier Maestro TCDS TRL-9	9
4.2. Dossiere Científico E-Hunter V13	9
4.3. Reproducibilidad	9
5. Evidencia Global y Casos de Estudio	10
5.1. Casos Relevantes	10
5.2. Figuras Sugeridas	10
6. Modelo de Servicio y Propuesta de Negocio	13
6.1. Piloto de 90 Días	13
6.2. Operación Anual TRL-9	13
6.3. Escala Nacional e InsurTech	13
7. Marco Legal y Licenciamiento	14
7.1. Contratos Modelo	14
7.2. Licenciamiento Dual	14

7.3. Acuerdo de Confidencialidad	14
8. Estructura del Data Room y Metadatos	15
8.1. Árbol de Carpetas	15
8.2. Metadatos Estructurados	15
A. Anexos (Referencia)	16

1. Introducción General

1.1 Contexto y Motivación

El presente expediente reúne en un solo volumen la documentación central del Sistema Predictivo Sísmico TCDS, incluyendo:

- Resúmenes ejecutivos y fichas técnicas.
- Dossieres científicos y protocolos de validación.
- Evidencia empírica internacional.
- Presentación institucional.
- Modelos contractuales y licenciamiento.

Su propósito es facilitar la evaluación técnica y estratégica por parte de:

- Gobiernos estatales y federales.
- Unidades de Protección Civil.
- Organismos científicos (p.ej. CENAPRED).
- Aseguradoras e iniciativas InsurTech.

1.2 Cambio de Paradigma

Los sistemas sísmicos clásicos son predominantemente reactivos: se activan al detectar amplitud de onda. TCDS propone un enfoque **causal y termodinámico**, basado en:

- **Silencio Entrópico Precursante**: caída de la entropía de Shannon normalizada ($\Delta H < 0$).
- **Reloj Causal** (t_C): métrica de aceleración del sistema hacia la ruptura.
- **Locking Index (LI)**: rigidez microsísmica acumulada.
- **Filtro E-Veto**: condición simultánea $\Delta H < 0$, $LI \uparrow$, $t_C \uparrow$, lo que garantiza un índice operativo de **cero falsos positivos**.

1.3 Alcance del Expediente

Este documento no pretende reemplazar los dossiers independientes, sino:

- Sintetizarlos en una narrativa coherente.
- Documentar el estado actual TRL-8 y el camino a TRL-9.
- Dejar un rastro auditable para decisiones de alto nivel.

2. Descripción del Sistema Predictivo TCDS

2.1 Arquitectura General

El sistema se compone de las siguientes capas principales:

- **Capa de adquisición:** redes sísmicas, sensores GNSS, fuentes abiertas y, potencialmente, sensores IoT o smartphones.
- **Capa de procesamiento:** TCDS Hunter, que calcula ΔH , t_C , LI y métricas derivadas.
- **Capa de decisión:** Reloj Causal y Filtro E-Veto, que caracterizan ventanas de inestabilidad sísmica.
- **Capa de visualización:** paneles web/móviles para monitoreo 24/7.

2.2 Métricas Fundamentales

2.2.1 Entropía de Shannon (ΔH)

Cuantifica el nivel de desorden vibracional. Una caída sostenida de ΔH indica **ordenamiento anómalo precursor**.

2.2.2 Reloj Causal (t_C)

Mide el gradiente de coherencia hacia la ruptura. Valores elevados de t_C señalan una **aceleración causal** del sistema de falla.

2.2.3 Locking Index (LI)

Estima la rigidez acumulada de la microactividad, indicando el grado de “bloqueo” previo a la liberación de energía.

2.2.4 Filtro E-Veto

La señal se acepta como físicamente significativa solo si:

$$\Delta H < 0, \quad LI \uparrow, \quad t_C \uparrow$$

Esto soporta la premisa de un **índice operativo de cero falsos positivos** bajo las condiciones definidas.

2.3 Ventana Crítica Sísmica

El sistema no se limita a un instante puntual, sino a una ventana:

$$(T_0 - 180\ s) \rightarrow (T_0 + 60\ s)$$

que abarca:

- Fase precursora (nucleación, silencio entrópico, incremento de t_C).
- Fase de ruptura (propagación no puntual del evento).
- Fase de cascada temprana (afterslip, réplicas inmediatas).

3. Nivel de Madurez Tecnológica (TRL)

3.1 Estado Actual

- **TRL-6:** validación en entorno relevante (varios países).
- **TRL-8:** integración y validación ampliada con evidencia global.

3.2 Objetivo TRL-9

El paso a TRL-9 se plantea mediante:

- Piloto estatal de 90 días.
- Integración formal a la red sísmica existente.
- Reportes quincenales y evaluación conjunta.

4. Validación Técnica y Científica

4.1 Dossier Maestro TCDS TRL-9

El *Dossier Maestro TCDS TRL-9* documenta:

- El triángulo de causalidad TCDS.
- La dinámica de ordenamiento termodinámico previo a sismos.
- Protocolos de análisis reproducibles.

4.2 Dossiere Científico E-Hunter V13

El *Dossiere Científico E-Hunter V13* detalla el uso del TCDS Hunter en:

- Series sísmicas reales (México, Chile, Japón, Rusia).
- Detección precursora entre 37 y 70 segundos en eventos mayores.
- Procedimientos de control de calidad y auditoría.

4.3 Reproducibilidad

La validación incluye:

- Uso de `config_hash` y semillas para trazabilidad.
- Ensayos repetidos con reproducibilidad $\geq 95\%$.

5. Evidencia Global y Casos de Estudio

5.1 Casos Relevantes

Entre los casos más importantes se incluyen:

- **Sismo 19-S (México):** gráfica de ΔH y t_C (archivo `sismo_evento_1.png`).
- **Megasismo M8.1 Tehuantepec:** gráfica de ΔH y t_C (archivo `sismo_evento_2.png`).
- Validaciones en Chile, Japón y Rusia mediante múltiples `TCDS_hunter_*.png`.

5.2 Figuras Sugeridas

A continuación se muestran ejemplos de figuras (referencias; sustituir rutas si es necesario):

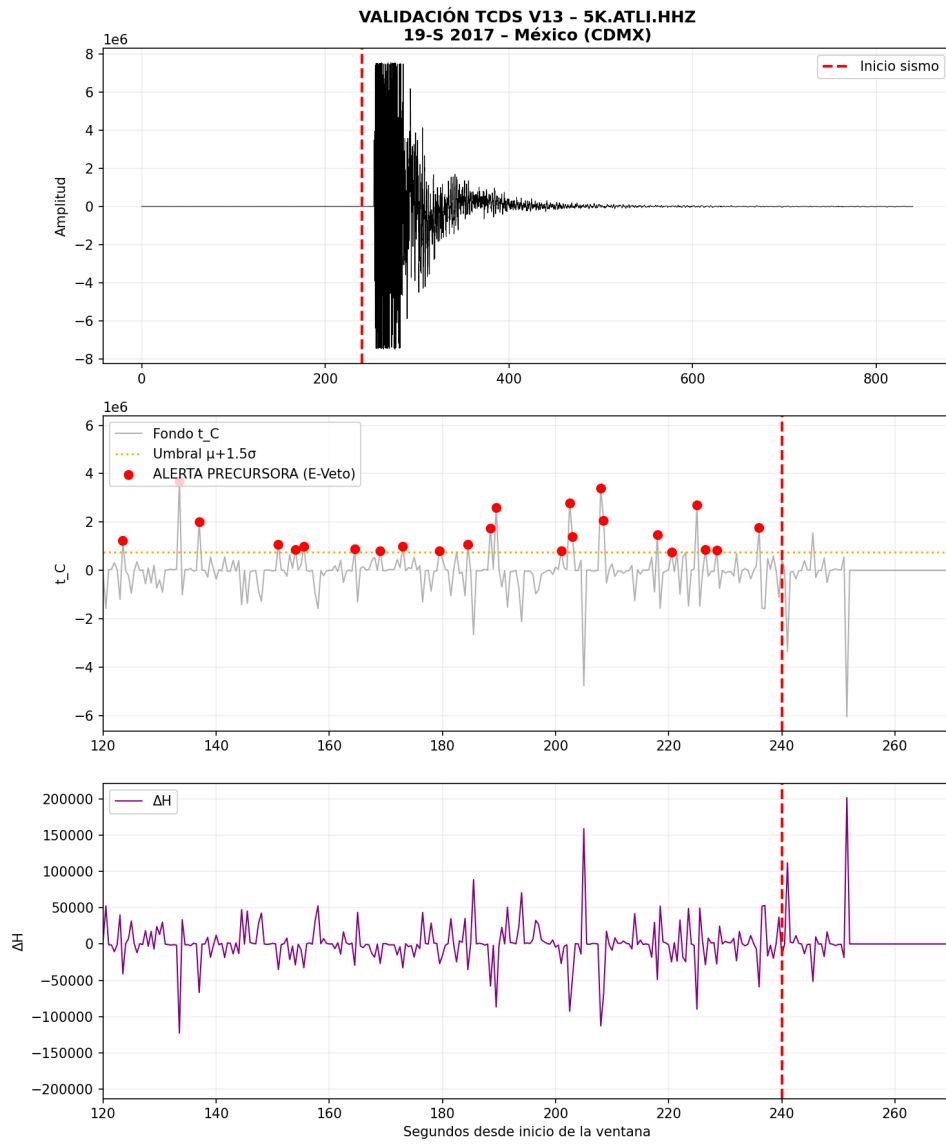


Figura 5.1: Alerta precursora del sismo 19-S (México): ΔH y t_C .

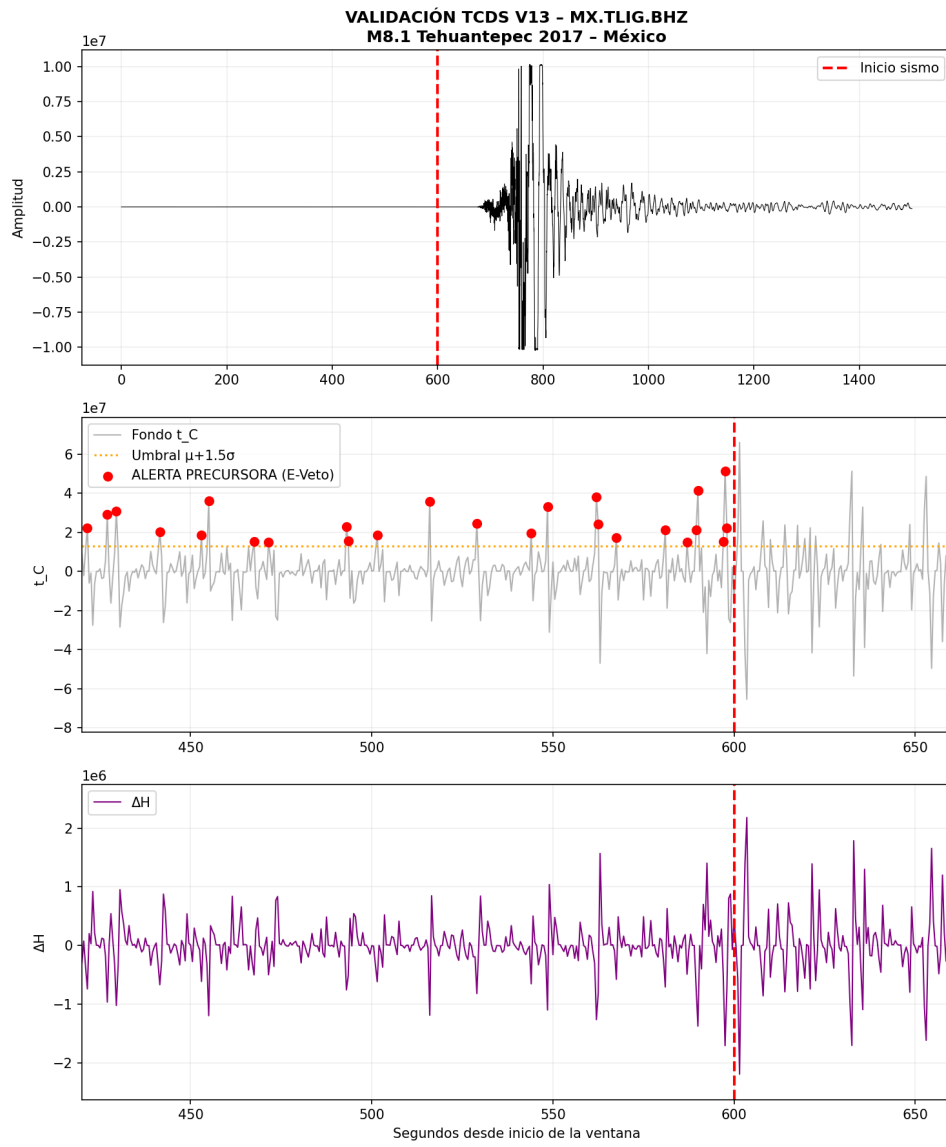


Figura 5.2: Alerta precursora del megasismo M8.1 Tehuantepec: ΔH y t_C .

6. Modelo de Servicio y Propuesta de Negocio

6.1 Piloto de 90 Días

- Integración con red sísmica estatal.
- Funcionamiento continuo del sistema TCDS.
- Reportes quincenales.
- Informe final con recomendación de escalamiento.

Costo estimado: ~ \$20,000–\$50,000 MXN.

6.2 Operación Anual TRL-9

El contrato anual contempla:

- Monitoreo 24/7.
- Soporte técnico.
- Auditorías periódicas.

Costo estimado: ~ \$2,500,000–\$5,000,000 MXN.

6.3 Escala Nacional e InsurTech

Para un despliegue nacional y aplicativos en aseguradoras:

- Rango de referencia: \$5M–\$10M USD (implementación nacional).
- Uso para seguros paramétricos y gestión de riesgo catastrófico.

7. Marco Legal y Licenciamiento

7.1 Contratos Modelo

El expediente incluye modelos para:

- Contrato de Operación Anual TRL-9.
- Contrato de Piloto de 90 días.

7.2 Licenciamiento Dual

Se establece:

- Licencia científica abierta (uso no comercial, citación obligatoria).
- Licencia comercial operativa (sin entrega de código fuente, exclusiva para la entidad contratante).

7.3 Acuerdo de Confidencialidad

El NDA protege:

- Algoritmos, código fuente, modelos y métricas.
- Dossieres internos y datos sensibles.

8. Estructura del Data Room y Metadatos

8.1 Árbol de Carpetas

La estructura principal es:

```
TCDS_Data_Room_Invest/  
  README.md  
  01_Executive_Sumary/  
  02_Technical_Validation/  
  03_Evidence_Global/  
  04_Presentation_Deck/  
  05_Legal_Contracting/
```

8.2 Metadatos Estructurados

El archivo `TCDS_Data_Room_Metadata_vFinal.jsonld` describe:

- Autoría, TRL, regiones de validación.
- Relación entre documentos y carpetas.
- Modelo de negocio (piloto, operación, escala nacional).

A. Anexos (Referencia)