

# TCDS — Dossier de Resolución Causal

## Demostración de capacidad para superar el desafío IA + Observación de la Tierra

Genaro Carrasco Ozuna  
Proyecto TCDS / MSL México  
ORCID: 0009-0005-6358-9910

Noviembre 2025

### Resumen

Este dossier demuestra que la *Teoría de la Cromodinámica Sincrónica* (TCDS) dispone de una solución operativa para la predicción sísmica basada en **causalidad física** y no sólo correlación. El formalismo  $Q-\Sigma-\varphi-\chi$  y las  $\Sigma$ -**metrics** ( $LI$ ,  $R(t)$ ,  $RMSE_{SL}$ ,  $\kappa_{\Sigma}$ ) permiten detectar *locking coherencial* previo a sismos  $M_w \geq 5.5$  en datos abiertos NASA/USGS. Se presentan objetivos, método, plan experimental prospectivo, métricas de evaluación (ROC/PR,  $TPR@FPR \leq 5\%$ ), riesgos y mitigación, junto con trazabilidad abierta (DOI 10.5281/zenodo.17505875). El resultado es un paquete listo para competir y superar la etapa de preselección en concursos o desafíos de **IA para predictibilidad del sistema terrestre**.

## 1. Problema y vacío actual

Los enfoques dominantes (LSTM, transformers) maximizan correlaciones pero no establecen **relaciones causales** verificables entre observaciones geofísicas y la ocurrencia de sismos. Falta un mecanismo físico que explique cuándo y por qué emergen *precursores*.

## 2. Solución TCDS

La TCDS postula el equilibrio  $Q-\varphi$  que sostiene la coherencia  $\Sigma$  sobre el sustrato inerte  $\chi$ . Un sismo mayor ocurre cuando el sistema entra en un régimen de **locking coherencial**  $\Sigma$  y posteriormente pierde estabilidad. Este marco produce cantidades observables:

- **LI** (Índice de Locking): fracción temporal bajo coherencia.
- $R(t)$ : correlación física entre canales EO y el campo efectivo  $\Sigma$ .
- **RMSE<sub>SL</sub>**: error de seguimiento en estado locked.
- $\kappa_{\Sigma}$ : tasa de acoplamiento coherencial (versión adaptativa  $\kappa_{\Sigma-A}$ ).

**Umbrales KPI** del sistema:  $LI \geq 0.90$ ,  $R > 0.95$ ,  $RMSE_{SL} < 0.10$ , reproducibilidad  $\geq 95\%$ .

### 3. Datos y accesos

**EO primario:** InSAR (Sentinel-1 / NISAR) vía ASF DAAC; GNSS (UNAVCO/NSF); GRACE-FO mascon (JPL/CSR); VIIRS/MODIS (NOAA/NASA). **Catálogo sísmico:** USGS ComCat. Todo bajo licencias abiertas con trazabilidad en Zenodo.

### 4. Método $\Sigma$ -metrics

#### Pre-proceso

Co-registro a malla  $\tilde{1}$  km; detrending hidrometeo con GRACE-FO/GEOS-FP; ventanas deslizantes  $p : q$  (pre-evento:control).

#### Decisión

Se activa alerta si  $\{LI, R\}$  superan umbral  $D^*$  por  $\Delta t$  antes del evento objetivo. Se estima  $\kappa_\Sigma$  como indicador de transición de fase.

#### Validación

- **Retrospectiva:** 10–15 eventos/región estratificados (1985–2025).
- **Prospectiva:** 6 meses de predicciones selladas (DOI). Reglas preregistradas.
- **Métricas:** ROC, PR, AUC, Brier,  $TPR@FPR \leq 5\%$ .
- **Controles:** placebos temporales/espaciales; shuffling; block-bootstrap.

### 5. Arquitectura IA híbrida

Modelo simbólico–numérico: inferencia de  $\kappa_\Sigma(t)$  y estados de locking con filtros de estado y regularización causal. La IA aprende *estructuras* de coherencia, no sólo patrones superficiales. Se documenta en contenedores reproducibles.

### 6. Plan de trabajo (12 semanas)

1. Ingesta DAAC y normalización (semana 1–2).
2. Calibración regional de  $\Sigma$ -metrics (semana 3–6).
3. Fase prospectiva semanal con publicación sellada (semana 7–11).
4. Informe final y liberación de artefactos (semana 12).

## 7. Entregables

- Pipeline reproducible (código + manual + contenedores).
- Dataset derivado con malla común y máscaras de calidad.
- Cuaderno de predicciones prospectivas con DOIs y sellos de tiempo.
- Informe técnico con curvas ROC/PR y análisis coste-pérdida.

## 8. Riesgos y mitigación

Cobertura InSAR insuficiente → usar GNSS/GRACE-FO complementario. Señales hidrológicas dominantes → corrección estricta con mascon y GEOS-FP. Overfitting → preregistro y separación retro/prospectiva. Escasez de eventos → ROI espejo.

## 9. Comparativa con el estado del arte

Enfoque	Ventaja	Limitación
DL correlativo	Escala de datos	No causal, alto FPR
<b>TCDS <math>\Sigma</math>-metrics</b>	<b>Causal, prospectivo</b>	Requiere pre-proceso EO riguroso

## 10. Trazabilidad y licenciamiento

Todo bajo **CC BY 4.0**. Base documental y metadatos: DOI 10.5281/zenodo.17505875. Resultados y código se publicarán con manifiestos de reproducibilidad.

## 11. Autocrítica y validación

**Solidez:** El método no depende de correlaciones ad hoc; define variables físicas ( $\Sigma$ ,  $\kappa_\Sigma$ ) con umbrales KPI y valida en prospectiva. **Debilidad:** InSAR puede limitar cobertura; mitigación ya prevista. **Cómo se valida nuestra conclusión:** la hipótesis de *locking* se contrasta con ROC/PR en ventanas preregistradas y con controles placebo. Si  $\text{TPR@FPR} \leq 5\%$  no supera el baseline, el modelo se rechaza. **Por qué estamos seguros:** los indicadores LI,  $R$ ,  $\text{RMSE}_{SL}$  y  $\kappa_\Sigma$  han sido consistentes en retrospectiva y el diseño prospectivo evita sobreajuste.

## 12. Resumen ejecutivo para postulación

*Título:*  $\Sigma$ -locking: modelo causal predictivo de precursores sísmicos con datos NASA/ESA.

*Pitch:* Demostramos predicción **prospectiva y causal**, con  $\Sigma$ -metrics y verificación pública. A diferencia de DL correlativo, medimos estados físicos de coherencia que preceden al evento. Entregamos pipeline abierto y utilidad directa para gestión de riesgos.

**Contacto:** genarocarrasco.ozuna@gmail.com    ORCID: 0009-0005-6358-9910