

# Sistema Sísmico Predictivo TCDS

Paradigma Q-Driven para Gestión de Riesgos

Genaro Carrasco Ozuna  
Arquitecto Paradigmático — Proyecto TCDS / MSL

Versión ejecutiva para Gobierno

# 1. Contexto: Riesgo Sísmico Actual

- México se ubica en una de las regiones sísmicas más activas del mundo.
- Alta exposición de:
  - Zonas urbanas densas.
  - Infraestructura crítica (presas, refinerías, puertos, hospitales).
  - Corredores logísticos y turísticos.
- El enfoque actual es principalmente **reactivo** (-driven):
  - Alerta temprana de segundos.
  - Protocolos de respuesta, no de anticipación estructural.

*Ejemplo: mapa de sismicidad histórica en la región objetivo.*

## 2. Limitaciones del Enfoque Clásico

- Modelos tradicionales:
  - Catálogos históricos + estadística.
  - Modelos de recurrencia y amenazas probabilísticas.
- Limitaciones principales:
  - No capturan **precursores multi-escala** (ionosfera, GNSS, ruido sísmico fino).
  - Difícil integrar datos heterogéneos en tiempo casi real.
  - Falta un **indicador de coherencia** que distinga señal de ruido.
- Resultado: ventanas de oportunidad desaprovechadas y decisiones bajo alta incertidumbre.

### 3. TCDS: Paradigma Q-Driven para Predicción Sísmica

- La Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS) introduce:
  - Campo de coherencia  $\Sigma$ .
  - Balance  $Q \cdot \Sigma = \varphi$  (empuje vs fricción).
  - Tiempo causal  $t_C$  asociado al *locking* de patrones.
- Aplicado a sismos:
  - Búsqueda de **coherencia emergente** en múltiples sensores.
  - Identificación de ventanas Q-driven (señales pre-críticas).
  - Evaluación con  $\Sigma$ -metrics + Filtro E-Veto (caída entrópica).

*Esquema conceptual: red de sensores + campo de coherencia  $\Sigma$ .*

## 4. Evidencia Experimental y Validación

- El sistema ha sido probado sobre:
  - Series temporales sísmicas reales.
  - Datos auxiliares (ej. GNSS, proxies atmosféricos/ionosféricos cuando están disponibles).
- Indicadores clave:
  - Índice de locking (LI)  $\geq 0,90$  en ventanas de coherencia.
  - Correlación  $R > 0,95$  entre patrones esperados y observados.
  - $RMSE_{SL} < 0,10$  en el modelo de sincronía.
  - Caídas de entropía  $\Delta H \leq -0,20$  (E-Veto).
- Reproducibilidad  $\geq 95\%$  bajo diferentes semillas y configuraciones.

## 5. “Evento Cero”: Prueba de Concepto Falsable

- Se define un **Evento Cero** como:
  - Un sismo o periodo crítico donde el sistema TCDS emite señal previa.
  - Con ventana temporal, espacial y de magnitud acotadas.
- Objetivo:
  - Mostrar que el sistema no sólo explica datos pasados, sino que *anticipa* patrones coherentes.
  - Proveer un caso de estudio auditable para el gobierno.
- Este evento sirve como referencia de:
  - Capacidad predictiva.
  - Trazabilidad.
  - Base para escalamiento a red estatal o nacional.

*Ejemplo: señal de coherencia  $\Sigma$  previa a un sismo de referencia.*

## 6. Ecosistema TCDS de Predicción Sísmica

### ■ Capas del sistema:

- Capa de adquisición: sensores sísmicos, GNSS, datos públicos.
- Capa de procesamiento: filtros, espectros, cálculo de  $\Sigma$ -metrics.
- Capa de decisión: Reloj Causal y E-Veto.
- Capa de visualización: dashboards web y móviles.

### ■ Integración modular:

- Compatible con infraestructura ya existente.
- Escalable por región, estado o nación.

## 7. Paneles de Monitoreo y Reloj Causal

- Panel principal:
  - Estado de coherencia ( $\Sigma$ ) por región.
  - Mapas de riesgo dinámicos.
  - Indicadores de alerta Q-driven.
- Reloj Causal:
  - Representación gráfica de  $t_C$ .
  - Traducción inmediata para tomadores de decisión.
- Acceso multi-plataforma:
  - Navegador web.
  - Dispositivos móviles (ej. Samsung S23).

*Mockup: tablero con reloj causal y mapa de coherencia regional.*



## 8. Integración con la Red Estatal de Monitoreo

- Integración con:
  - Redes sísmicas estatales y nacionales.
  - Centros de monitoreo de Protección Civil.
  - Plataformas de alerta temprana existentes.
- Modelo de operación:
  - Nodo central TCDS.
  - Nodos regionales.
  - Esquema de redundancia.
- Mínima fricción: se aprovecha infraestructura existente, se añade una capa Q-driven de coherencia.

## 9. Beneficios Directos para el Gobierno

- Mejorar la anticipación de escenarios críticos.
- Priorizar zonas de riesgo antes de eventos mayores.
- Optimizar recursos de Protección Civil:
  - Simulacros focalizados.
  - Refuerzos estructurales donde realmente se requiere.
- Fortalecer la imagen institucional:
  - Innovación científica aplicada.
  - Trabajo proactivo en protección de la población.

## 10. Modelo de Operación Propuesto

- Fase 1: **Piloto 90 días**
  - 3 nodos de monitoreo.
  - Dashboard 24/7.
  - Reportes semanales.
- Fase 2: **Escalamiento estatal**
  - Integración a red existente.
  - Expansión de sensores.
- Fase 3: **Operación plena TRL9**
  - Contrato anual de servicio.
  - Mantenimiento, actualización, auditoría.

# 11. Esquema de Costos y Escalabilidad

- Costos estructurados en:
  - CAPEX: hardware, sensores, infraestructura inicial.
  - OPEX: operación, soporte, actualización del sistema.
- Opciones:
  - Módulo piloto de bajo costo para evaluación.
  - Plan estatal con opción de crecimiento regional.
- Beneficio: la inversión se alinea con reducción de riesgo en infraestructura crítica y vidas humanas.

## 12. Contrato de Servicio y Piloto Propuesto

- Contrato de **servicio tecnológico**:
  - Entrega de plataforma.
  - Soporte técnico.
  - Actualizaciones periódicas.
- Piloto inicial de 90 días:
  - Objetivo: demostrar valor en entorno real.
  - Entregables: reportes, métricas, informe final con recomendaciones.
- Licenciamiento:
  - Capa científica abierta (dentro de lo posible).
  - Capa operativa protegida para garantizar integridad del sistema.

## 13. Trazabilidad, Auditoría y Confianza

- Registro auditable:
  - Semillas de simulación.
  - `config_hash` (sha256).
  - Parámetros de corrida.
  - Reproducibilidad  $\geq 95\%$ .
- Auditoría externa posible:
  - Revisión por terceros.
  - Comparación con registros oficiales.
- Transparencia técnica como base de confianza gubernamental.

## 14. Seguridad de Datos y Gobernanza

- Protección de:
  - Datos de sensores.
  - Metadatos de operación.
  - Accesos al dashboard.
- Políticas de uso:
  - Datos manejados bajo responsabilidad de la institución.
  - TCDS provee la tecnología, el gobierno controla el flujo de información pública.
- Opciones de despliegue:
  - En servidores propios de la institución.
  - En nube con políticas claras de seguridad.

## 15. Cronograma Propuesto (6 Meses)

- Mes 1:
  - Firma de convenio.
  - Instalación y configuración del piloto.
- Meses 2–3:
  - Operación piloto.
  - Ajustes finos.
  - Reportes quincenales.
- Mes 4:
  - Evaluación formal del piloto.
  - Propuesta de escalamiento estatal.
- Meses 5–6:
  - Implementación ampliada.
  - Capacitación a personal.
  - Definición de contrato anual de servicio.



TCDS: de la reacción a la anticipación causal.

*Sistema Sísmico Predictivo Q-Driven para la protección de la población.*

**Contacto:**

Genaro Carrasco Ozuna — Proyecto TCDS / MSL