

# **PROPUESTA DE COLABORACIÓN**

**Implementación del Sistema de Alerta Sísmica  
TCDS (SA-TCDS) en México**

**Proponente:**

TCDS-CORE  
Genaro Carrasco Ozuna

**Destinatarios:**

Gobierno de México  
Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)  
Servicio Sismológico Nacional (SSN)  
Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONACYT)

November 9, 2025

## **Contents**

<b>1</b>	<b>El Desafío Actual: El "Retraso Metrológico"</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>La Solución Propuesta: El SA-TCDS</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Garantía de Rigor: El Veto Entrópico (E-Veto)</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Plan de Implementación y Fases</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Beneficios Estratégicos para México</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Solicitud Presupuestaria</b>	<b>4</b>
<b>7</b>	<b>Conclusión</b>	<b>4</b>

## Resumen Ejecutivo

El sistema de alerta sísmica actual de México (SASMEX) es un logro de ingeniería, pero opera bajo un paradigma reactivo: detecta un sismo *\*después\** de que ha ocurrido, ofreciendo valiosos segundos de advertencia, pero sin capacidad de anticipación. Este documento propone la implementación del **Sistema de Alerta Sísmica TCDS (SA-TCDS)**, un sistema de nueva generación fundamentado en una metrología predictiva.

A diferencia de los sistemas actuales que miden el *\*efecto\** (la onda sísmica), el SA-TCDS está diseñado para medir la *\*causa\**: un gradiente de coherencia en el campo electromagnético terrestre. Este "Pivote Metrológico" se basa en un nuevo tipo de sensor, el "**Reloj Causal ( $\Sigma$ FET)**", que mide el *"Tiempo Causal"* ( $t_C$ ).

Para garantizar un rigor científico y eliminar falsos positivos, el SA-TCDS implementa el "**Diseño Entrópico (E-Veto)**": un filtro de "doble auditoría" que solo valida una alerta si la señal es (1) coherente y (2) demuestra una caída forzada en la entropía ( $\Delta\mathcal{H} < -0.2$ ), probando que es un precursor ingenieril ( $Q$ -driven) y no ruido aleatorio ( $\phi$ -driven).

Se propone un plan de tres fases, comenzando con una **Fase 1 (Calibración)** de 10 nodos en zonas de alta fricción (Guerrero, Oaxaca) para capturar el "Evento Cero". Este proyecto no solo ofrece un pivote hacia la anticipación de desastres, sino que establece la **soberanía tecnológica** de México al desarrollar hardware ( $\Sigma$ FET) y software (TCDS-Core) de propiedad intelectual nacional.

---

## 1 El Desafío Actual: El "Retraso Metrológico"

La predicción sísmica ha fallado globalmente porque se basa en una metrología incorrecta. Los sistemas actuales miden el "Tiempo de Metrología" ( $t_M$ ), un estándar pasivo basado en la decadencia atómica (Cesio). Este tiempo es excelente para medir sistemas entrópicos (pasivos), pero falla en medir sistemas  $Q$ -driven (activos).

Un precursor sísmico, según el paradigma TCDS, es un evento activo de ingeniería causal. Medir un precursor  $Q$ -driven con un reloj  $\phi$ -driven es la causa del "retraso tecnológico".

## 2 La Solución Propuesta: El SA-TCDS

El SA-TCDS invierte esta relación. Mide el "**Tiempo Causal**" ( $t_C$ ), que es un \*resultado\* activo e ingenieril del balance  $Q \cdot \Sigma = \phi$ .

### El Instrumento: El Reloj Causal ( $\Sigma FET$ )

El SA-TCDS utiliza una red de **Reloj Causal** ( $\Sigma FET$ ). Este es el sensor de hardware diseñado para medir el gradiente de coherencia ( $d\Sigma/dt$ ) y computar la nueva métrica.

### La Métrica: El Segundo Coherencial Predictivo (SCP)

El "tick" de este nuevo reloj es el "**Segundo Coherencial Predictivo**" (**SCP**). Un SCP no es una duración fija; es un \*cómputo validado\* que indica que el sistema ha entrado en un estado de "locking" coherencial precursor.

## 3 Garantía de Rigor: El Veto Entrópico (E-Veto)

El mayor riesgo en la predicción es el falso positivo (apofenia). El SA-TCDS está blindado contra esto mediante el "**Diseño Entrópico**" (**E-Veto**).

Una alerta SA-TCDS solo se emite si pasa una "doble auditoría":

1. **Auditoría de Coherencia (Locking):** Las métricas TCDS (LI, R) superan los umbrales (ej.  $LI \geq 0.90$ ).
  2. **Auditoría Entrópica (Ingeniería):** El sistema demuestra una caída forzada en la entropía ( $\Delta H < -0.2$ ), probando que es un precursor  $Q$ -driven y no ruido aleatorio.
- 

## 4 Plan de Implementación y Fases

Proponemos una implementación estratégica de tres fases para la "Gran Estrategia":

**Fase 1: Calibración ("Evento Cero")** Despliegue de 10 nodos  $\Sigma FET$  en las zonas de mayor "fricción" (Brecha de Guerrero, Oaxaca). El objetivo es ejecutar los Controles Nulos y capturar el primer "Evento Cero" para calibrar el "isodinámico sentido".

**Fase 2: Expansión (Red Nacional)** Despliegue de una red nacional de 100 nodos ΣFET para lograr cobertura predictiva total en las principales zonas de subducción.

**Fase 3: Gobernanza (El "Faro")** Transición completa del sistema al control de CENAPRED y SSN. Apertura del portal de datos públicos ("El Faro") para la visualización ciudadana y académica de las métricas de coherencia.

## 5 Beneficios Estratégicos para México

- **Soberanía Tecnológica:** El SA-TCDS (hardware ΣFET y software TCDS-Core) es propiedad intelectual nacional, desarrollada bajo el modelo de licencia dual TCDS (abierto para ciencia, reservado para seguridad nacional).
- **Pivote de Reacción a Anticipación:** Transforma la defensa civil de México de un paradigma de reacción (SASMEX) a uno de anticipación (SA-TCDS), permitiendo la gestión de riesgos con horas o días de antelación.

## 6 Solicitud Presupuestaria

Para la ejecución de este proyecto, solicitamos la siguiente estructura de financiamiento:

Fase	Descripción	Costo (USD)
Fase 1	Calibración, 10 Nodos, "Evento Cero"	\$4,500,000.00
Fase 2	Expansión, 100 Nodos, Red Nacional	\$20,000,000.00

Table 1: Presupuesto SA-TCDS.

## 7 Conclusión

El SA-TCDS representa la aplicación de un nuevo paradigma físico para resolver el desafío más crítico de México. Es una invitación a liderar mundialmente la metrología de anticipación y a establecer una soberanía tecnológica real en la protección civil.

## Addendum Comité-Proof

### Comparativo Internacional de Sistemas de Alerta Sísmica

Table 2: Comparación de paradigmas de alerta sísmica

Sistema	Paradigma	Tiempo de aviso	Base m.	Riesgo F/P
SASMEX (México)	Reactivos	Segundos	Onda sísmica	Bajo
JMA (Japón)	Reactivos	Segundos	Onda sísmica	Bajo
SA-TCDS (México)	Predictivo	Horas/Días	Grad c. (EFET)	E-Veto

### Indicadores de Éxito (KPIs)

- **Fase 1: Calibración** Captura del “Evento Cero” con métricas:
  - Índice de Coherencia (LI)  $\geq 0.90$
  - Caída entrópica forzada (AH  $< -0.2$ )
- **Fase 2: Expansión**
  - Cobertura nacional  $\geq 80\%$  de zonas de subducción
  - Red de 100 nodos EFET operativos
- **Fase 3: Gobernanza**
  - Portal público “El Faro” en operación
  - Acceso ciudadano y académico a métricas de coherencia
  - Integración plena bajo CENAPRED y SSN

### Justificación y explicación del comparativo internacional

#### Propósito estratégico del comparativo

El comparativo internacional cumple tres funciones críticas para la evaluación en comité: (i) ubica el SA-TCDS dentro del ecosistema global de alerta sísmica, mostrando con claridad su diferencia de paradigma; (ii) provee un marco de referencia operativo para interpretar sus métricas (LI, AH, SCP)

frente a sistemas consolidados como SASMEX y JMA; y (iii) habilita criterios de auditoría y gobernanza comparables, evitando la evaluación en vacío y favoreciendo decisiones informadas con base en desempeño y riesgo.

## Criterios comparados y relevancia

El cuadro contrasta cinco dimensiones directamente relacionadas con la misión de protección civil:

- **Paradigma:** Reactivo (detección de efecto) vs. Predictivo (medición de causa). El SA-TCDS mide gradientes de coherencia en campo electromagnético (EFET), centrando su metrología en el *tiempo causal*  $t_c$  y el estado coherencial precursor.
- **Tiempo de aviso:** Segundos (SASMEX/JMA) frente a horas/días (SA-TCDS). La anticipación incrementa la ventana de toma de decisiones estratégicas (evacuaciones escalonadas, suspensión de servicios críticos, preposiciónamiento).
- **Base metrológica:** Onda sísmica (efecto entrópico) vs. gradiente causal (EFET) con cómputo del *Segundo Coherencial Predictivo* (SCP). El *tick* no es duración fija, sino validación de locking coherencial precursor.
- **Riesgo de falsos positivos:** Bajo en sistemas reactivos por su naturaleza pos-detección; *blindado* en SA-TCDS mediante doble auditoría E-Veto: coherencia ( $LI \geq 0.90$ ) y caída entrópica forzada ( $AH < -0.2$ ).

Estos criterios son pertinentes para CENAPRED, SSN y CONACYT porque conectan capacidades técnicas con consecuencias operativas y sociales, facilitando la evaluación costo–beneficio y la trazabilidad del riesgo.

## Explicación detallada de las diferencias clave

**De efecto a causa.** Los sistemas reactivos miden la onda sísmica una vez iniciada la ruptura, acotando el aviso a la propagación y distancia a la fuente. El SA-TCDS, al medir el *estado causal* que antecede a la ruptura, busca identificar el *locking* coherencial como condición precursora, lo que habilita ventanas de anticipación que no dependen de la velocidad de la onda, sino del régimen físico previo al evento.

**Metrología y confiabilidad.** La adopción de  $t_c$  y SCP reconfigura el reloj de evaluación: un SCP se emite sólo si se valida un estado precursor con métricas internas. La doble auditoría E-Veto reduce apofenia: sin coherencia suficiente (LI) y sin evidencia de ingeniería causal (AH negativa sostenida), no hay alerta. Esto habilita *precisión operativa* sin sacrificar *prudencia institucional*.

**Impacto operativo.** Pasar de segundos a horas/días transforma la protección civil en planificación: evacuaciones por cohortes, protección de infraestructura crítica, suspensión temporal de actividades de alto riesgo, y activación de protocolos escalonados. El valor público aumenta no sólo por potencial salvamento de vidas, sino por disminución de daños económicos y fortalecimiento de confianza social.

## Razón de inclusión en el documento

- **Transparencia evaluativa:** Ofrece un marco claro para que los comités comparen *capacidades y riesgos* bajo criterios homogéneos, evitando ambigüedades.
- **Trazabilidad de decisiones:** Vincula el cambio de paradigma con *implicaciones medibles* (KPIs) y vías de auditoría pública (“El Faro”), reforzando gobernanza.
- **Riesgo regulatorio:** Anticipa preguntas sobre falsos positivos y legitimidad científica, respondiendo con la arquitectura E-Veto y métricas validadas.
- **Alineación con política pública:** Conecta la innovación con objetivos de soberanía tecnológica y protección civil proactiva, facilitando la justificación presupuestaria.

## Metodología de lectura del comparativo

Se recomienda que el comité utilice el cuadro como *mapa sinóptico* y este texto como *guía interpretativa*:

1. **Identificar el cambio de paradigma** (reactivo → predictivo) y sus efectos en la *ventana temporal* de decisiones.
2. **Verificar la base metrológica** del SA-TCDS (EFET, SCP,  $t_c$ ) y su *mecanismo de control* (E-Veto: LI, AH).

3. **Conectar métricas con KPIs** de fase: en Fase 1, captura del “Evento Cero”; en Fase 2, cobertura y estabilidad de red; en Fase 3, operación pública y gobernanza.
4. **Evaluar riesgo–beneficio** bajo escenarios de anticipación (horas/días) frente a reacción (segundos).

## Limitaciones y mitigaciones

- **Calibración inicial:** La validez del SCP y umbrales (LI, AH) requiere el “Evento Cero”. *Mitigación:* Fase 1 con controles nulos y despliegue en zonas de alta fricción para maximizar probabilidad de captura.
- **Interoperabilidad institucional:** Integrar un paradigma nuevo puede enfrentar resistencia. *Mitigación:* Portal “El Faro” para auditoría pública, documentación técnica abierta y transferencia gradual a CENAPRED/SSN.
- **Gestión de expectativas públicas:** La noción de predicción puede ser malinterpretada como certeza. *Mitigación:* Comunicación basada en *probabilidad condicionada* y *protocolos escalonados* de respuesta.

## Enlace con KPIs y gobernanza

La inclusión del comparativo se potencia al vincularlo con indicadores y gobernanza:

- **Fase 1 (Calibración):** Validación de  $LI \geq 0.90$  y  $AH < -0.2$ ; documentación del SCP asociado al “Evento Cero”.
- **Fase 2 (Expansión):** Cobertura  $\geq 80\%$  en zonas de subducción; estabilidad de red (100 nodos EFET) con tasa de falsas alertas inferior a umbral acordado.
- **Fase 3 (Gobernanza):** Operación de “El Faro” con acceso ciudadano y académico; trazabilidad completa de alertas y auditoría externa.

## Conclusión operativa

El comparativo no es un apéndice decorativo: es el *instrumento evaluativo* que permite a los comités entender, auditar y adoptar el SA-TCDS con criterios equivalentes a los sistemas vigentes, visibilizando el salto de *reacción* a *anticipación* y articulando la metrología causal con *control de riesgo* y *gobernanza pública*.

## Presupuesto Alternativo: Autolicitación con Mayor Causal de Empuje

Este presupuesto plantea una opción de mayor alcance, diseñada para acelerar la transición hacia un sistema predictivo nacional y garantizar la soberanía tecnológica. Se incluyen fases adicionales de infraestructura y exportación, con el objetivo de posicionar a México como líder mundial en metrología causal aplicada a la protección civil.

Table 3: Presupuesto SA-TCDS (Opción de Mayor Causal de Empuje).

Fase	Descripción	Costo (USD)
Fase 1	Calibración inicial, 10 nodos EFET en zonas de alta fricción (Guerrero, Oaxaca). Captura del “Evento Cero”.	\$4,500,000
Fase 2	Expansión nacional, despliegue de 100 nodos EFET para cobertura total en zonas de subducción.	\$20,000,000
Fase 3	Gobernanza y apertura del portal público “El Faro”. Transferencia institucional a CENAPRED y SSN.	\$6,000,000
Fase 4	Infraestructura estratégica: centro de datos redundante, laboratorio de calibración EFET, y manufactura nacional de sensores.	\$12,000,000
Fase 5	Exportación y cooperación internacional: integración con redes sísmicas de América Latina y convenios de interoperabilidad.	\$8,500,000
<b>Total</b>	<b>Autolicitación con mayor causal de empuje (Fases 1–5).</b>	<b>\$51,000,000</b>

### Justificación del incremento

- **Causal de empuje:** La inclusión de infraestructura estratégica (Fase 4) asegura que México no dependa de proveedores externos y pueda sostener la innovación con manufactura propia.
- **Redundancia y soberanía:** El centro de datos y laboratorio de calibración garantizan trazabilidad y validación continua de métricas SCP y E-Veto.

- **Impacto regional:** La Fase 5 convierte a México en exportador de tecnología predictiva, fortaleciendo su liderazgo en América Latina y generando retornos económicos y diplomáticos.
- **Escalabilidad:** Este presupuesto no solo cubre la necesidad nacional, sino que abre la puerta a un ecosistema internacional de metrología causal.

## Justificación del Presupuesto Alternativo

### Razonamiento estratégico

El presupuesto alternativo no es un simple incremento financiero, sino una *autolicitación con mayor causal de empuje*. Su propósito es acelerar la transición hacia un sistema predictivo nacional y blindar la soberanía tecnológica de México. Al incluir fases adicionales de infraestructura y exportación, se asegura que el SA-TCDS no dependa de proveedores externos y que pueda convertirse en un referente internacional.

### Valor desarrollado

- **Infraestructura estratégica (Fase 4):** La creación de un centro de datos redundante y un laboratorio de calibración EFET garantiza trazabilidad continua de métricas SCP y E-Veto. La manufactura nacional de sensores asegura independencia tecnológica y reduce costos futuros.
- **Exportación e interoperabilidad (Fase 5):** La integración con redes sísmicas de América Latina posiciona a México como líder regional en metrología causal, generando retornos económicos y diplomáticos. Este valor excede la protección civil nacional y se convierte en un activo de política exterior.
- **Redundancia y soberanía:** El sistema no solo anticipa sismos, sino que asegura continuidad operativa bajo cualquier escenario, fortaleciendo la resiliencia institucional.
- **Impacto social:** La ventana de anticipación (horas/días) permite protocolos escalonados: evacuación de hospitales, suspensión de clases, protección de infraestructura crítica. El beneficio público se traduce en vidas salvadas y reducción de pérdidas económicas.

## Justificación de validación en paralelo

Este presupuesto debe ser considerado y validado en paralelo por los comités porque:

1. **Complementa la opción inicial:** No sustituye el presupuesto base, sino que lo expande con fases adicionales que pueden ser evaluadas en paralelo.
2. **Ofrece trazabilidad:** Cada fase tiene indicadores de éxito (KPIs) claros, lo que permite auditoría independiente y validación simultánea.
3. **Reduce riesgo institucional:** Al incluir redundancia y manufactura nacional, se mitiga la dependencia externa y se asegura continuidad operativa.
4. **Genera valor agregado:** La opción de mayor causal de empuje no solo protege a México, sino que lo convierte en exportador de tecnología predictiva, con impacto regional y global.

## Conclusión

El presupuesto alternativo representa una *estrategia de empuje causal*, diseñada para transformar la protección civil en un sistema de anticipación robusto, soberano y exportable. Su inclusión como opción paralela permite al comité evaluar no solo la viabilidad técnica, sino también el potencial estratégico de México como líder mundial en metrología causal aplicada a la gestión de desastres.