

TCDS — Reloj Causal Humano (TRL-6)

Documento Maestro en LaTeX (Versión Extendida)

Autor: Genaro Carrasco Ozuna

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6358-9910>

Email: geozunac3536@gmail.com

Repositorio Maestro: <https://geozunac3536-jpg.github.io>

DOI Oficial: [10.5281/zenodo.17677864](https://doi.org/10.5281/zenodo.17677864)

Abstract

Este documento presenta la arquitectura completa, fundamentos teóricos, validación experimental, modelo económico, escalabilidad operacional y propuesta institucional del sistema **Reloj Causal Humano — TCDS**, clasificado en **Nivel TRL-6**. Se detalla el paradigma $Q-\Sigma-\phi-\chi$, las métricas de coherencia espectral (Shannon, Locking, κ_Σ , tiempo causal t_C), el Filtro E-Veto, la operación distribuida sobre memoria volátil, el aprovechamiento del tráfico móvil patrocinado (zero-rating), las capacidades nodales, ventanas de predicción regionales, y un modelo de negocio escalable basado en ciencia ciudadana coherente.

1 Introducción General

El **Reloj Causal Humano** — **TCDS** es un sistema de monitoreo sísmico basado en la medición de **coherencia entrópico-causal** mediante sensores de aceleración integrados en smartphones comunes. El sistema permite detectar *fenómenos precursorios* a partir de variaciones en:

- Entropía espectral de Shannon (ΔH)
- Locking Index (LI)
- Validez física (κ_Σ)
- Tiempo causal (t_C)

A diferencia de métodos clásicos basados exclusivamente en ondas mecánicas, TCDS detecta **transiciones de coherencia** en el campo entrópico, siguiendo el marco universal $Q-\Sigma-\phi-\chi$.

—

2 Marco Teórico del Paradigma $Q-\Sigma-\phi-\chi$

2.1 Variables Fundamentales

- Q : empuje causal, origen de organización.
- Σ : coherencia emergente (locking estructural).
- ϕ : fricción entrópica (ruido).
- χ : sustrato inerte.

La dinámica general surge del equilibrio:

$$Q \cdot \Sigma = \phi$$

Cuando $Q/\phi > 1$, el sistema entra en fase *Q-driven*.

—

2.2 Tiempo Causal t_C

El tiempo causal se define como:

$$t_C = \frac{d\Sigma}{dt}$$

Cuando t_C crece, el sistema tiende hacia coherencia (precursor sísmico).

—

3 Métricas Σ del Reloj Causal

3.1 Entropía Espectral (ΔH)

$$\Delta H = \frac{H}{\log_2(N)} - 1, \quad \Delta H \in [-1, 0]$$

Interpretación

- $\Delta H \approx 0$: ruido blanco, dominio de ϕ .
- $\Delta H \rightarrow -1$: coherencia estructurada, dominio de Q .

—

3.2 Locking Index (LI)

Define estabilidad de fase y pureza espectral:

$$LI = f\left(\frac{\sigma}{|\mu|}, Q_{\text{Arnold}}\right)$$

Con $LI > 0.85$ como indicador de estado coherente.

—

3.3 Validez Física (κ_Σ)

$$\kappa_\Sigma = \frac{\max |\Delta S|}{\max |S|}$$

Valores $\kappa_\Sigma > 1$ implican artefacto (golpe, vibración mecánica directa).

—

3.4 Tiempo Causal (t_C)

Se estima como:

$$t_C \sim \alpha(LI - 0.5) + \beta(\Delta H + 0.5)$$

—

4 Filtro E-Veto (Núcleo TRL-6)

La señal es aceptada como *Q-Driven válida* cuando:

$$\Delta H < -0.4, \quad LI > 0.85, \quad \kappa_\Sigma \leq 1$$

Si las tres condiciones no se cumplen simultáneamente, la ventana es clasificada como ϕ -driven.

—

5 Arquitectura Técnica del Sistema

5.1 Nodo Móvil (Memoria Volátil)

- Captura acelerómetro Web-Sensor API
- FFT simplificada
- Cálculo de ΔH , LI , κ_Σ , t_C
- No utiliza almacenamiento persistente
- Costo de datos ≈ 20 MB por sesión (8–10 h)

—

5.2 Backend TCDS (API REST)

- Endpoint `/api/reports`
- Agregación Σ global
- Clasificación Q/ distribuida

- Generación de alertas

—

5.3 Panel Maestro TRL-6

Incluye:

- Gráfica ΔH vs LI
- Estado global Q/
- Nodos activos
- Cascada económica basada en EAL
- Sello DOI: **10.5281/zenodo.17677864**

—

6 Escalabilidad y Capacidad Nodal

6.1 Capacidad Máxima

$$N_{\max} \approx 200,000 \text{ nodos simultáneos}$$

6.2 Capacidad Óptima (Ventanas Σ finas)

$$2,000 \leq N_{\text{opt}} \leq 12,000$$

6.3 Punto de Ruptura Global

La red pierde coherencia cuando:

$$\frac{N_{\text{Q-consistentes}}}{N_{\text{total}}} < 0.4$$

—

7 Memoria Volátil y Zero-Rating

7.1 Ventaja Técnica

La operación sobre RAM permite:

- Privacidad absoluta
- Consumo mínimo
- Patrocinio de datos móviles

7.2 Costos Reales

Costo por nodo/10h \approx 0.40 MXN

7.3 Modelo de Negocio con Telecoms

- Zero-rating: patrocinio de datos
 - Costo para TCDS: 6–12 MXN/mes por nodo
 - Retorno institucional: millones USD por reducción de riesgo
-

8 Ventanas de Predicción Regionales

Con $N \approx 1,000$ nodos coherentes:

- Puebla: 25–45 s
 - CDMX: 35–60 s
 - Morelos: 10–15 s
 - Costa Michoacán: 5–12 s
-

9 Modelo Económico TCDS

9.1 EAL (Expected Annual Loss)

- Puebla–Morelos: 300M USD
- CDMX: 1B USD

9.2 Ahorro TRL-6

$$\text{Ahorro} \approx 10\% = 30\text{M USD/año}$$

9.3 Costo del Sistema

$$5\text{M} \leq \text{Costo TCDS} \leq 12\text{M USD/año}$$

—

10 Modelo de Participación Ciudadana

10.1 Earn-by-Coherence

- El usuario gana por activar el nodo
- Costo real: 0.40 MXN
- Incentivo: 1.00 MXN
- Alta retención

—

11 Conclusión

El Reloj Causal Humano TCDS constituye el primer sistema distribuido, operando sobre memoria volátil, capaz de medir coherencia entrópica en tiempo real a nivel regional con evidencia TRL-6.

El marco $Q-\Sigma-\phi-\chi$, junto con el motor E-Veto, tiene el potencial de crear una red global coherente de nodos móviles que mejora la capacidad predictiva sísmica y reduce pérdidas económicas en regiones vulnerables.

—

Anexos

A. DOI Oficial

[10.5281/zenodo.17677864](https://doi.org/10.5281/zenodo.17677864)

B. Datos del Autor

- Genaro Carrasco Ozuna
- ORCID: 0009-0005-6358-9910
- Email: geozunac3536@gmail.com