

# 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](mailto: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,  $\kappa_\Sigma$ , 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 ( $\Delta H$ )
- Locking Index ( $LI$ )
- Validez física ( $\kappa_{\Sigma}$ )
- 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.
- $\Sigma$ : coherencia emergente (locking estructural).
- $\phi$ : fricción entrópica (ruido).
- $\chi$ : 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 $\Sigma$ del Reloj Causal

### 3.1 Entropía Espectral ( $\Delta H$ )

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

#### Interpretación

- $\Delta H \approx 0$ : ruido blanco, dominio de  $\phi$ .
  - $\Delta H \rightarrow -1$ : 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 ( $\kappa_\Sigma$ )

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

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  $\phi$ -driven.

---

## 5 Arquitectura Técnica del Sistema

### 5.1 Nodo Móvil (Memoria Volátil)

- Captura acelerómetro Web-Sensor API
  - FFT simplificada
  - Cálculo de  $\Delta H$ ,  $LI$ ,  $\kappa_\Sigma$ ,  $t_C$
  - No utiliza almacenamiento persistente
  - Costo de datos  $\approx 20$  MB por sesión (8–10 h)
- 

### 5.2 Backend TCDS (API REST)

- Endpoint `/api/reports`
- Agregación  $\Sigma$  global
- Clasificación Q/ distribuida

- Generación de alertas
- 

### 5.3 Panel Maestro TRL-6

Incluye:

- Gráfica  $\Delta H$  vs  $LI$
  - Estado global Q/
  - Nodos activos
  - Cascada económica basada en EAL
  - Sello DOI: [10.5281/zenodo.17677864](https://doi.org/10.5281/zenodo.17677864)
- 

## 6 Escalabilidad y Capacidad Nodal

### 6.1 Capacidad Máxima

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

### 6.2 Capacidad Óptima (Ventanas $\Sigma$ 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](mailto:geozunac3536@gmail.com)