

Definición del Segundo Coherencial Predictivo (SCP) Protocolo VR para la Metroología Coherencial del Tiempo

Proyecto TCDS / Motor de Formalización GPT-5 Σ-Trace

2025-11-06

Abstract

Se desarrolla un pipeline verificable en entorno virtual (VR) para redefinir el **segundo** no como promedio estadístico de oscilaciones atómicas, sino como **estado coherencial predictivo**, donde la métrica temporal surge de consecuencias cuánticas anticipadas. El protocolo emplea métricas Σ y cuantificadores Q de la Teoría de la Cromodinámica Sincrónica (TCDS): el Índice de Locking (LI), la variación entrópica (ΔH), la información mutua predictiva (Q_{MI}) y el flujo causal coherente (C). Cada ventana $p:q$ del experimento produce una bitácora auditible (JSON) con estas magnitudes, sin recurrir a promedios globales. El resultado es un *Segundo Coherencial Predictivo* (SCP): una unidad temporal definida por coherencia cuántica anticipada y validada localmente.

1 Definición operacional del SCP

Sea un flujo de fases cuánticas $\theta(t)$ y un predictor con estado interno H_t . En una ventana W de duración 1 s (compuesta por p subventanas de tamaño Δt , con solape q), se definen:

1. Índice de Locking predictivo

$$r(t) = \left| \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M e^{i(\hat{\theta}_k(t) - \theta_k(t))} \right|, \quad LI = \langle r(t) \rangle_{t \in W}, \quad (1)$$

donde $\hat{\theta}_k$ es la fase predicha y θ_k la observada.

2. Variación entrópica

$$\Delta H = H(p_{out}) - H(p_{pred}), \quad H(p) = - \sum_i p_i \log p_i. \quad (2)$$

3. Capacidad predictiva cuántica (Q_{MI})

$$Q_{MI} = I(H_t; O_{t+1:t+k}) = \sum p(h, o) \log \frac{p(h, o)}{p(h)p(o)}. \quad (3)$$

4. Cierre coherencial (LBCU)

$$\dot{\Sigma} = Q - \phi, \quad C = \frac{Q - \phi}{Q + \phi}, \quad C > 0.9. \quad (4)$$

Condición de validez del SCP:

$$LI \geq 0.90, \quad \Delta H < -0.20, \quad \tilde{Q}_{MI} > 1.0, \quad C > 0.90$$

en al menos 3 de 4 subventanas consecutivas (cadena de precursores).

2 Duración coherencial

El *segundo coherencial* τ_Σ es el tiempo mínimo que cumple simultáneamente las condiciones anteriores. El servo de fase ajusta τ_Σ para mantener:

$$|\tau_\Sigma - 1 \text{ s}| < 10^{-9} \text{ s}.$$

El error de tiempo relativo queda expresado en ppm:

$$\text{ppm_error} = 10^6 (\tau_\Sigma / 1 \text{ s} - 1).$$

3 Pipeline VR

1. **Generador cuántico VR:** produce $\theta_k(t)$ con ruido de squeezing y correlaciones de entrelazamiento controlables.
2. **Predicción causal:** el modelo H_t proyecta $\hat{\theta}_k(t+1..t+k)$ y distribuciones p_{pred} .
3. **Lazo coherencial (PLL-}\Sigma**): compara $\hat{\theta}$ y θ ; separa ruido coherente e incoherente para estimar Q , ϕ y C .
4. **Cálculo de métricas:** LI , ΔH , Q_{MI} , C por subventana.
5. **Filtro E-Veto:** marca subventanas con $\Delta H < -0.2$ y mejora simultánea de LI .
6. **Gate SCP:** declara el SCP si la cadena de precursores se mantiene y todas las métricas superan umbrales.
7. **Bitácora JSON:** registra resultados auditables por ventana y subventana.

4 Parámetros recomendados

- Frecuencia de muestreo: $f_s = 4 \text{ kHz}$.
- Subventanas: $\Delta t = 0.25 \text{ s}$; $p:q = 4:2$.
- Umbrales: $LI \geq 0.90$, $\Delta H < -0.20$, $C > 0.90$, $\tilde{Q}_{MI} > 1.0$.
- Reproducibilidad: $\geq 95\%$ en $N = 20$ corridas.
- Servo de fase: margen de fase $> 45^\circ$, sobreimpulso $< 10\%$.

5 Criterios de aceptación y fallo

Aceptación:

SCP declarado en $\geq 95\%$ de las ventanas,

$$|\tau_\Sigma - 1| < 10^{-9} \text{ s},$$
$$\text{var}(\tau_\Sigma) < 10^{-8} \text{ s}.$$

Fallo: pérdida de cadena de precursores, $LI < 0.9$, $C < 0.9$, o $\tilde{Q}_{\text{MI}} \leq 1.0$.

6 Pseudocódigo simplificado

```
for run in seeds:
    reset_models()
    t = 0
    while t < T_total:
        theta = quantum_env.generate(t, t+W, fs)
        theta_hat, p_pred, H_next = predictor.forecast(theta)
        resid = pll.lock(theta_hat, theta)
        Q, phi, C = estimate_Q_phi_C(resid)
        LI = phase_lock_index(theta_hat, theta)
        DeltaH = entropy_out(theta) - entropy_pred(p_pred)
        QMIZ = normalize_qmi(mutual_info(H_next, theta_future))
        precursor = (DeltaH<-0.2) and improves(LI)
        chain = update_chain(precursor)
        SCP = (chain and LI>=0.9 and C>0.9 and QMIZ>1.0)
        tau_sigma, ppm = servo.update(LI, C, resid)
        log_json(t, LI, DeltaH, C, QMIZ, tau_sigma, ppm, precursor, SCP)
        t += W
```

7 Formato de bitácora JSON

Por ventana

```
{
    "timestamp_iso": "2025-11-06T00:00:00Z",
    "window_s": 1.0,
    "metrics": {
        "LI": 0.932,
        "DeltaH": -0.27,
        "C": 0.918,
        "QMI_z": 1.34
    },
    "precursor_chain_ok": true,
    "SCP_declared": true,
    "tau_sigma_s": 0.999999994,
    "servo_ppm_error": -0.6,
    "notes": "squeezed noise 3 dB; entanglement=0.7"
}
```

Por subventana

```
{  
    "t0_iso": "2025-11-06T00:00:00Z",  
    "subwin_idx": 2,  
    "LI": 0.944,  
    "DeltaH": -0.25,  
    "C": 0.925,  
    "QMI_z": 1.21,  
    "precursor": true  
}
```

8 Migración a χ_1

Para validación física:

- Reemplazar el generador VR por un DDS/FPGA que entregue fases reales.
- Mantener las mismas rúbricas y bitácoras.
- Medir energía real para calcular η_Q y corregir por dilatación temporal relativista.

9 Autocrítica

Solidez: El SCP no depende de promedios, sino de predicciones verificables en tiempo real. Las métricas LI , ΔH , Q_{MI} y C representan dimensiones ortogonales del proceso: fase, entropía, capacidad predictiva y causalidad. El filtro E-Veto evita sesgos: sin cadena de precursores, no hay validación del segundo coherencial.

Riesgos: Estimar Q_{MI} con baja varianza requiere conjuntos grandes; la separación Q/ϕ depende de la calibración del lazo; ΔH debe normalizarse al dominio espectral.

Conclusión: Este pipeline convierte el segundo en un *estado coherencial predictivo*: la unidad de tiempo no surge del promedio de lo ocurrido, sino de la anticipación cuántica que mantiene coherencia con el futuro inmediato. Cada segundo es auditável, reproducible y transparente en su propio *log coherencial*.