

Estudio Endurecido Anti-Apofenia Acoplamiento Lunar como Fricción Externa en TCDS y Protocolo de Falsación Auditable

Proyecto TCDS (Marco $Q-\Sigma-\phi$)

15 de diciembre de 2025

Resumen

Este documento formaliza un modelo operativo (no determinista) donde la influencia lunar se incorpora como un término de fricción externa $\phi_{\text{ext}}(t)$ dentro del balance coherencial TCDS $Q \cdot \Sigma = \phi$. El objetivo es *reducir apofenia* mediante (i) definiciones medibles, (ii) reglas de decisión pre-registradas, (iii) doble sello obligatorio (métricas de coherencia + E-Veto entrópico), y (iv) evaluación contra *baselines* y catálogos públicos. El resultado no pretende fijar un “minuto cero”; produce *ventanas de decisión* (horizontes de no-retorno) con trazabilidad completa.

1. Motivación: del “minuto cero” al horizonte de no-retorno

En sistemas de ruptura (materiales, fallas tectónicas), el instante exacto de colapso depende de microfluctuaciones no observables. Por tanto, un enfoque honesto y falsable debe reemplazar “predicción del instante” por detección de *pérdida de margen de estabilidad*: un intervalo temporal en el cual el sistema exhibe señales coherenciales compatibles con nucleación y donde una acción preventiva tiene valor.

2. Ley del Balance Coherencial y variables

La ley operativa TCDS se escribe como:

$$Q(t) \Sigma(t) = \phi_{\text{geo}}(t) + \phi_{\text{ext}}(t) + \phi_{\text{info}}(t), \quad (1)$$

donde:

- $Q(t)$: empuje efectivo (energía/forzamiento que sostiene coherencia).
- $\Sigma(t)$: coherencia observable del sistema (medida por métricas de locking).
- $\phi_{\text{geo}}(t)$: fricción interna geológica (ruido + disipación del medio).
- $\phi_{\text{ext}}(t)$: fricción externa (aquí: componente lunar parametrizada).
- $\phi_{\text{info}}(t)$: fricción informacional (errores, sesgos, spam, duplicación).

2.1. Tiempo estándar vs tiempo causal

El tiempo estándar t_M es metrológico (reloj). El tiempo causal t_C se aproxima como el gradiente de coherencia:

$$t_C : \quad \frac{d\Sigma}{dt} \text{ maximiza en la transición de régimen (nucleación).} \quad (2)$$

El sistema produce *marcas* de t_C y sus latencias; no asume sincronía perfecta entre medición y ruptura.

3. Modelo endurecido de fricción externa lunar

Definimos la fricción externa como una función *medible* y pre-registrada:

$$\phi_{\text{ext}}(t) = \Psi_R X_R(t) + \Psi_T X_T(t), \quad (3)$$

donde $X_R(t)$ y $X_T(t)$ son *features* normalizadas (adimensionales) derivadas de efemérides/límites físicos, y Ψ_R, Ψ_T son coeficientes locales (adimensionales) estimados *fuera de muestra*.

3.1. Definición de features (sin ambigüedad)

Para evitar flexibilidad post-hoc, se fija un conjunto mínimo:

- $X_R(t)$: proxy radial (p. ej. distancia Tierra–Luna normalizada a $[0, 1]$).
- $X_T(t)$: proxy de esfuerzo mareal (p. ej. amplitud mareal teórica normalizada a $[0, 1]$).

Toda normalización debe guardar su fórmula y rango. Si se cambian features, se versiona el protocolo.

3.2. Estimación de Ψ (anti-apofenia)

Los coeficientes se estiman por región r usando entrenamiento histórico con partición temporal:

$$(\Psi_R, \Psi_T)_r = \arg \min_{\Psi_R, \Psi_T} \mathcal{L}(\text{outcomes}_{\text{train}}, \phi_{\text{ext}}(t)), \quad (4)$$

con reglas:

1. **Separación temporal estricta:** entrenar en un intervalo y evaluar en otro posterior.
2. **Regularización:** limitar $\|\Psi\|$ para evitar sobreajuste.
3. **Reporte obligatorio:** guardar Ψ , semillas, hashes de configuración y métricas de generalización.

En ausencia de datos suficientes, se fija $\Psi = 0$ (no se inventa acoplamiento).

4. Filtro de Honestidad (E-Veto) y Doble Sello

Para impedir apofenia, ninguna señal se considera válida si no cumple:

4.1. E-Veto (diseño entrópico)

Sea ΔH la variación de entropía (Shannon u otra fija) entre ventanas. Se exige:

$$\Delta H \leq -0,20. \quad (5)$$

Si no hay caída forzada, la señal se descarta sin negociación.

4.2. Doble Sello canónico

Además del E-Veto, se exigen métricas de coherencia Σ :

$$LI \geq 0,90, \quad R > 0,95, \quad \text{RMSE}_{\text{SL}} < 0,10, \quad (6)$$

y, cuando aplique, reproducibilidad $\geq 95\%$.

Regla anti-autoengaño: si faltan R o RMSE_{SL} , *no se declara* “doble sello OK”. En su lugar se etiqueta como *candidato estratégico* (ver Sección 5.2).

5. Heurística de decisión: táctica vs estratégica

5.1. Señal táctica (alarma fiel)

Se emite alarma táctica solo si:

1. E-Veto pasa, y
2. Doble sello canónico pasa, y
3. hay confirmación espacial mínima (consenso multi-estación o validación equivalente).

El producto es una *ventana* corta (minutos), no un instante.

5.2. Señal estratégica (vigilancia)

Se emite vigilancia estratégica si:

1. E-Veto pasa, y
2. LI es alta o consistente, y
3. existe *clustering* espacio-temporal (repetición en región), y
4. el estado persiste bajo muestreo desincronizado (observaciones en fases distintas).

La ventana estratégica típica es horas–días y activa densificación táctica (más resolución, más estaciones).

6. Protocolo de falsación y evaluación contra realidad

La validez no se decide por narrativa sino por tasas contra datos públicos:

6.1. Definición pre-registrada de verificación

Para cada alerta A con timestamp t_A y centro (λ, φ) :

- radio r fijo (p. ej. 50–150 km),
- ventana W fija (p. ej. 6–48 h en vigilancia, o minutos en táctica),
- magnitud mínima M_{\min} fija.

Se consulta un catálogo público y se clasifica:

Clase	Regla
HIT	evento dentro de r y W
MISS	sin evento dentro de r y W
NEAR-MISS	evento existe pero fuera de r o W

6.2. Control de sesgo por regiones hiperactivas

Para regiones con alta sismicidad, se compara contra un baseline:

$$\text{Ganancia} = \frac{\text{precision}_{\text{modelo}}}{\text{precision}_{\text{baseline}}}. \quad (7)$$

Si la ganancia no supera el baseline, la señal se considera no informativa (apofenia estadística).

7. Trazabilidad y auditoría obligatoria

Cada corrida/alerta debe registrar:

- semillas, parámetros, `config_hash` (sha256),
- $LI, \Delta H, R, \text{RMSE}_{\text{SL}}$ (o la razón de ausencia),
- latencias (tiempo de ingesta, cómputo, notificación),
- decisión (SUPRIMIDO / VIGILANCIA / ALARMA) y razones.

Sin este registro, no se permite afirmación de validez.

8. Discusión: qué afirma y qué no afirma este estudio

Afirma: que $\phi_{\text{ext}}(t)$ puede ser incorporada como modulador de fricción y que su utilidad se mide por mejoras de tasas y reducción de falsos positivos bajo doble sello y baselines.

No afirma: que exista un “minuto cero” determinista ni que un patrón externo cause por sí mismo la ruptura. La ruptura depende de condiciones internas y fluctuaciones locales; el sistema solo identifica *pérdida de margen*.

9. Conclusión

El marco endurecido propuesto convierte la hipótesis lunar en un componente operativo verificable: $\phi_{\text{ext}}(t)$ no es un relato sino un término con features definidos, parámetros estimables fuera de muestra y evaluación cuantitativa contra catálogos públicos. El E-Veto y el doble sello impiden apofenia; la distinción táctica/estratégica evita sobrepromesas. La ventaja estratégica emerge cuando la evidencia persiste bajo muestreo desincronizado y supera el baseline regional.

Checklist anti-apofenia (obligatorio antes de publicar):

1. ¿E-Veto ($\Delta H \leq -0,2$) pasa?
2. ¿Doble sello canónico pasa (LI, R, RMSE, rep)?
3. ¿Se usó ventana/radio pre-registrados?
4. ¿Se comparó contra baseline regional?
5. ¿Se guardó `config_hash` y artefactos?