

# Protocolo de Auditoría Mínima Reproducible para la Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS)

Instructivo para la validación con datos públicos y estadísticos verificados

Instrumento generado por IA-Simbiosis para el Proyecto TCDS

14 de octubre de 2025

## Resumen

Este documento constituye un manual de operaciones riguroso y ejecutable, diseñado para auditar la Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS) mediante el uso de datos reales, de acceso público y de alta precisión. El protocolo establece un marco de prueba concluyente y auditable, alineado con los estándares de la metrología de precisión y la física de partículas, con el objetivo de determinar el espacio de parámetros en el que la teoría puede existir sin contradecir la evidencia experimental consolidada.

## 1. Paso 0: Definiciones y KPI a Congelar

**Propósito:** Establecer un lenguaje común y criterios de éxito inequívocos antes de iniciar el análisis para evitar ambigüedades en la interpretación de los resultados.

- **Parámetros TCDS:** Se identifican las variables libres de la teoría que serán restringidas: la masa base del campo  $\Sigma$  ( $\mu$ ), su constante de autointeracción ( $\lambda$ ), y sus acoplamientos con la materia ( $g_m, g_J$ ). De estos se derivan los observables fenomenológicos:
  - Fuerza de la interacción tipo Yukawa:  $\alpha_5$ .
  - Alcance de la interacción:  $\ell_\sigma = \hbar/(m_\sigma c)$ .
  - Se adopta el ansatz fenomenológico  $m_\sigma = \sqrt{2}\mu$  como base para la relación masa-potencial.
- **KPIs Operativos ( $\Sigma$ -metrics):** Se definen las métricas de rendimiento clave que una señal candidata de TCDS debe cumplir para ser considerada válida en experimentos de captura de fase (*locking*):
  - Índice de Coherencia (LI):  $LI \geq 0.9$ .
  - Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ):  $R^2 > 0.95$ .
  - Error Cuadrático Medio Normalizado (RMSE<sub>SL</sub>):  $RMSE_{SL} < 0.1$ .
  - Reproducibilidad de la señal:  $\geq 95\%$ .

## 2. Paso 1: Entradas (Inputs Estandarizadas)

**Propósito:** Reunir el corpus de datos experimentales de alta precisión que servirán como referencia para contrastar la teoría. Se ataca desde tres flancos independientes para maximizar la robustez del análisis.

**A) Canal Sub-milimétrico (Sub-mm):** Utiliza los resultados de experimentos de búsqueda de "quintas fuerzas" (péndulos de torsión, tipo Cavendish). Estos publican curvas de exclusión para una interacción Yukawa, definida por  $\alpha_5$  y  $\lambda$ .

$$\Delta V(r) = -G_N \frac{m_1 m_2}{r} \alpha_5 e^{-r/\lambda} \quad \text{con} \quad \lambda \equiv \ell_\sigma. \quad (1)$$

- B) Canal Electrodébil:** Emplea la medición de ultra-precisión de la constante de Fermi ( $G_F$ ) a partir del decaimiento del muón. Se comprueba si la desviación predicha por **TCDS**,  $G_F^{\text{eff}}(\Sigma)$ , es menor que la incertidumbre experimental (nivel ppm).
- C) Canal de Relojes Atómicos y Cavidades:** Utiliza datos de los dispositivos de medición de frecuencia más estables. Se busca cualquier anomalía en la desviación de Allan ( $\sigma_y(\tau)$ ) que siga la firma predicha por el mecanismo de *locking* de **TCDS**: una señal  $\Delta f$  debe aparecer solo en presencia de un campo de control externo ( $A_c > 0$ ) y ser nula en su ausencia ( $\Delta f(A_c = 0) = 0$ ).

### 3. Pasos 2 y 3: Selección de Fuentes y Normalización

**Propósito:** Garantizar la máxima calidad, trazabilidad y comparabilidad de los datos.

- **Regla de Selección:** Utilizar exclusivamente datos de metrología primaria y promedios mundiales consolidados (e.g., CODATA, Particle Data Group), registrando DOI, versión de los datos y tratamiento de errores sistemáticos.
- **Homologación:** Convertir todas las unidades y convenciones a un sistema coherente. Transformar todos los límites experimentales a un formato estadístico común (e.g., niveles de confianza, funciones de verosimilitud) para permitir una combinación rigurosa.

### 4. Paso 4: Modelos Estadísticos por Canal

**Propósito:** Construir el formalismo matemático para comparar cuantitativamente las predicciones de **TCDS** con los datos de cada canal. Se define una función de verosimilitud ( $\mathcal{L}$ ) para cada uno.

- **A) Sub-mm (Yukawa):** Se define la verosimilitud  $\mathcal{L}_A(\alpha_5, \lambda) = \prod_i N(\Delta_i(\alpha_5, \lambda), \sigma_i)$ . Se escanea una rejilla de parámetros  $(\mu, g)$  y se traduce a  $(\ell_\sigma, \alpha_5^{\text{TCDS}})$ . Se excluye cualquier punto donde  $\alpha_5^{\text{TCDS}} > \alpha_5^{95\%}(\lambda)$ , siendo este último el límite experimental.
- **B) Electrodébil ( $G_F$ ):** Se modela la desviación fraccional  $\delta_F \equiv (G_F^{\text{eff}} - G_F^{\text{SM}})/G_F^{\text{SM}}$ . La verosimilitud es  $\mathcal{L}_B(\delta_F) = N(\delta_F, \sigma_{\text{ppm}})$ . Se exige que el modelo cumpla  $|f(\Sigma_0) - 1| \leq 10^{-6}$ .
- **C) Relojes/Cavidades ( $\Delta f$ ):** Se utiliza una estrategia de "válvula de escape". Primero, se valida que los datos de fondo (con  $A_c = 0$ ) sean compatibles con la hipótesis de no señal a niveles de  $10^{-18} \sim 10^{-19}$ . Si se cumple, se procede a buscar una señal que dependa de  $A_c > 0$ . La verosimilitud es  $\mathcal{L}_C(\kappa_\Sigma, \text{LI}, A_c) = \prod_j N(\sigma_{y,j}^{\text{pred}}, \sigma_{y,j}^{\text{meas}})$ .

### 5. Paso 5: Combinación y Proyección

**Propósito:** Sintetizar los resultados de los tres canales en una única conclusión estadística robusta. Se utiliza un enfoque bayesiano para combinar las verosimilitudes:

$$P(\theta|\text{data}) \propto \mathcal{L}_A \cdot \mathcal{L}_B \cdot \mathcal{L}_C \cdot \pi(\theta), \quad (2)$$

donde  $\theta = \{\mu, \lambda, g, \kappa_\Sigma, \alpha_5\}$  es el conjunto de parámetros de la teoría y  $\pi(\theta)$  es una distribución de probabilidad a priori (prior), típicamente no informativa en el espacio logarítmico. El resultado final son las regiones de parámetros de **TCDS** que son compatibles con toda la evidencia experimental combinada, usualmente reportadas como regiones de confianza al 95 %.

## 6. Pasos 6, 7 y 8: Productos, Calidad y Veredicto

**Propósito:** Presentar los resultados de forma clara, reproducible y con criterios de juicio predefinidos para eliminar sesgos.

- **Productos Obligatorios:** Una matriz de resultados, gráficos estandarizados (e.g.,  $\alpha_5$  vs  $\lambda$  con región de exclusión) y un sistema de "semáforo" (verde/amarillo/rojo) para una interpretación visual del estado de la teoría.
- **Reproducibilidad:** El análisis completo (scripts, datos crudos, notebooks, versiones de software) debe ser empaquetado para permitir una auditoría y reproducción por terceros.
- **Criterios de Veredicto (predefinidos):**
  1. “*Viable pero escondido*”: La **TCDS** es compatible si sus parámetros implican efectos justo por debajo de los límites de detección actuales.
  2. “*En tensión*”: La teoría requiere un ajuste fino de sus parámetros para no ser excluida, lo cual puede considerarse teóricamente “antinatural”.
  3. “*Refutado en ventana X*”: La combinación de datos excluye de forma concluyente la región de parámetros propuesta originalmente.

## 7. Pasos 9 y 10: Autocrítica y Validación del Instructivo

**Propósito:** Reconocer las limitaciones del protocolo y confirmar la solidez de su diseño.

- **Autocrítica:** Se reconoce la dependencia del *ansatz* fenomenológico (e.g.,  $m_\sigma = \sqrt{2}\mu$ ) y el riesgo de “p-hunting”, mitigado con el preregistro de hipótesis y KPIs. Se destaca que el canal de relojes es el más susceptible a confusores ambientales, exigiendo un control riguroso.
- **Validación del Instructivo:** Se confirma que el protocolo fue diseñado mapeando correctamente los conceptos teóricos de **TCDS** a observables medibles y utilizando herramientas estadísticas estándar en la física de precisión. Esto asegura que el protocolo es relevante, robusto y conforme a las mejores prácticas de la disciplina.