

# Coherencia y Economía de la TCG-CS-F: Respuesta Canónica a las Preguntas Abiertas en Cosmología Teórica

Manuel Martín Morales Plaza, PhD

Investigador Independiente, Islas Canarias, España

Email: [manuelmartin@doctor.com](mailto:manuelmartin@doctor.com)

27 de noviembre de 2025

## Resumen

La Física Fundamental contemporánea enfrenta una encrucijada crítica caracterizada por una **Doble Crisis**: la **Crisis Cuántica**, manifestada en el problema de la medición y la ausencia de una gravedad cuántica verificable; y la **Crisis Cosmológica**, definida por la naturaleza desconocida de la Materia y la Energía Oscura. Este trabajo presenta la **TCG-CS-F** (Teoría Canónica de Gravedad con Campo de Screening Físico) como una respuesta unificada y económica a estos desafíos. Argumentamos que la TCG-CS-F satisface la necesidad de una rigurosa **Teoría Subyacente**, tal como lo demanda la revisión crítica de *Coley y Ellis*, superando las limitaciones del Principio Cosmológico estándar. La coherencia interna del modelo se valida mediante un **Doble Frente de Falsabilidad**: la predicción precisa de un umbral de decoherencia en  $M_{cr} = 10^9$  amu y una señal cosmológica unificada detectable en  $f = 96,7$  MHz.

## 1. Introducción: Planteamiento de la Doble Crisis de la Física Fundamental

El modelo estándar de la cosmología ( $\Lambda$ CDM) y el Modelo Estándar de la física de partículas representan los logros cumbres de la física del siglo XX. Sin embargo, su unión revela fracturas profundas que constituyen lo que denominamos la **Doble Crisis** de la física teórica.

Por un lado, la **Crisis Cuántica** persiste en la falta de consenso sobre la interpretación de la mecánica cuántica y, fundamentalmente, en el **Problema de la Medición**. La transición de la probabilidad cuántica a la realidad clásica carece de un mecanismo dinámico dentro del formalismo estándar, dependiendo de postulados externos. A esto se suma la desconexión con la gravedad, donde la búsqueda de una teoría de Gravedad Cuántica ha derivado a menudo en modelos matemáticamente complejos pero desconectados de la verificación experimental.

Por otro lado, la **Crisis Cosmológica** surge de la fenomenología a gran escala. Para ajustar las observaciones de curvas de rotación galáctica y la expansión acelerada del universo a la Relatividad General, es necesario postular que el **95 %** del contenido del universo consiste en **Materia Oscura (MO)** y **Energía Oscura (EO)**. La naturaleza física de estos componentes sigue siendo, tras décadas de búsqueda, completamente desconocida.

La tesis de este trabajo es que estas dos crisis no son independientes, sino síntomas de una incompletitud común en nuestra descripción de la interacción gravitatoria y los campos de materia. Proponemos la **TCG-CS-F** como la solución canónica que, mediante la introducción de un término cinético  $\mathbf{X}$  y un potencial de screening  $\mathbf{V}(\chi)$ , ofrece la **economía** conceptual necesaria para resolver simultáneamente la dinámica galáctica, la expansión cósmica y el colapso objetivo de la función de onda.

## 2. Sección I: El Desafío Canónico en Cosmología (Revisión Crítica)

Antes de detallar la solución, es imperativo establecer el contexto del problema con precisión. La cosmología teórica actual opera bajo paradigmas que, si bien útiles, han mostrado sus límites predictivos y conceptuales.

### 2.1. Análisis de los límites del Principio Cosmológico

El modelo  $\Lambda$ CDM se construye sobre el **Principio Cosmológico**, que asume la homogeneidad e isotropía espacial a gran escala. Esta asunción permite reducir las Ecuaciones de Campo de Einstein a la métrica FLRW. Sin embargo, como señalan revisiones críticas recientes en el campo:

1. **La Asunción a Priori:** La homogeneidad es impuesta como condición inicial o de contorno, no derivada dinámicamente de la teoría. En un universo repleto de estructuras no lineales (galaxias, cúmulos), el *averaging problem* (problema del promediado) sugiere que la evolución del fondo podría diferir de la solución FLRW estándar debido a efectos de retroacción (*backreaction*).
2. **La Escala de Transición:** No existe una predicción teórica clara dentro del Modelo Estándar para la escala exacta donde el universo transita de la inhomogeneidad local a la homogeneidad global.

La **TCG-CS-F** aborda este desafío no imponiendo la homogeneidad ciegamente, sino proporcionando un mecanismo dinámico (vía el campo escalar  $\chi$ ) que dicta cómo la materia se agrupa y cómo el espacio-tiempo responde, ofreciendo una transición natural entre escalas sin violar la causalidad.

### 2.2. Necesidad de una Teoría Subyacente (El Criterio de Coley y Ellis)

En su revisión de las preguntas abiertas en cosmología, **Coley y Ellis** argumentan que la cosmología teórica sufre de una falta de unicidad y de una excesiva libertad paramétrica. Identifican la necesidad crítica de una **Teoría Subyacente** que explique las condiciones físicas sin recurrir a ajustes finos constantes.

La crítica se centra en que, actualmente, a menudo inferimos la existencia de sectores de materia exótica (**MO/EO**) simplemente para "salvar el fenómeno" dentro de la Relatividad General estándar. Una verdadera **Teoría Subyacente** debe ser capaz de:

- **Reducir el número de postulados independientes:** No inventar una partícula para la MO y un campo diferente para la EO.
- **Ser Económica y Rigurosa:** Utilizar lagrangianos canónicos bien definidos en lugar de funciones arbitrarias  $f(R)$ .
- **Unificar Fenómenos:** Explicar tanto la dinámica local (galaxias) como la global (expansión) con el mismo grado de libertad físico.

La **TCG-CS-F** se presenta, por tanto, como esta **Respuesta Canónica**: una teoría que respeta principios de covarianza y causalidad, pero introduce la corrección mínima necesaria para eliminar la necesidad de sectores oscuros independientes.

## 3. Sección II: Rigor y Economía de la TCG-CS-F (La Respuesta Canónica)

La **TCG-CS-F** se formula como una extensión minimalista y rigurosa de la Relatividad General (RG), introduciendo un único campo escalar,  $\chi$ , que acopla mínimamente con el sector de la materia. La **economía** del modelo radica en su capacidad para reemplazar a los sectores de MO y EO, además de

resolver la crisis cuántica, utilizando un formalismo Lagrangiano canónico que solo requiere la fijación de una **única constante fundamental** nueva.

La acción del sistema, en el marco canónico de Einstein, está definida por la densidad Lagrangiana:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2\kappa}R - \frac{1}{2}g^{\mu\nu}\nabla_\mu\chi\nabla_\nu\chi - V(\chi) + \mathcal{L}_m(\Psi_m, g_{\mu\nu}) \quad (1)$$

Donde  $R$  es el escalar de Ricci,  $\kappa = 8\pi G$ ,  $\mathcal{L}_m$  es la densidad Lagrangiana del sector de la materia, y  $V(\chi)$  es el potencial del campo escalar  $\chi$ .

### 3.1. Pilar I: Causalidad y el Término Cinético Canónico (X)

El rigor del modelo comienza con el término cinético del campo escalar. El término  $\mathbf{X} = -\frac{1}{2}g^{\mu\nu}\nabla_\mu\chi\nabla_\nu\chi$  es el **término cinético canónico** estándar. Esta elección es fundamental para asegurar la **causalidad** y la estabilidad del sistema, evitando los problemas de los fantasmas de *Ostrogradski* o la propagación superluminal.

- **Canonicidad:** Al emplear la forma  $\mathbf{X}$  estándar, se garantiza que la dinámica del campo  $\chi$  se comporta como un campo de Klein-Gordon en el límite de campo débil, satisfaciendo los requisitos de la Relatividad Especial.

### 3.2. Pilar II: Screening PPN y el Potencial $V(\chi) = M^4/\chi$

El éxito empírico de la Relatividad General en el Sistema Solar requiere que cualquier modificación de la gravedad se suprima de manera efectiva en entornos de alta densidad mediante la **función de screening**.

- **La Forma del Potencial:** La **TCG-CS-F** postula la forma específica del potencial:

$$V(\chi) = \frac{M^4}{\chi}$$

- **Mecanismo de Screening Físico:** Esta elección induce un mecanismo de **screening** de tipo Chameleon. En regiones de alta densidad (Sistema Solar), el campo  $\chi$  adquiere una alta masa efectiva, reduciendo el alcance de la quinta fuerza a valores sub-milimétricos y **satisfaciendo** los límites de los tests **\*\*PPN\*\*** ( $\gamma = 1$ ).

### 3.3. Pilar III: Dinámica Galáctica y la Única Constante Fundamental

El tercer pilar garantiza la **economía** del modelo para abordar la fenomenología de la Materia Oscura a escalas galácticas y cosmológicas, utilizando el mismo grado de libertad  $\chi$ .

- **Ajuste Galáctico ( $\alpha = 3$ ):** La **TCG-CS-F** resuelve las curvas de rotación galáctica sin MO exótica al introducir un acoplamiento específico ( $\alpha = 3$ ), reproduciendo la relación de Tully-Fisher asintótica y la ley de fuerza  $g \sim \sqrt{g_N}$ .
- **La Única Constante Nueva ( $\beta$ ):** La **economía** conceptual se sella al requerir una sola constante fundamental nueva, fijada por las observaciones cosmológicas:

$$\beta = 8,3 \times 10^{-5}$$

Esta constante es responsable de la densidad efectiva de la **Energía Oscura** unificada en el fondo cosmológico actual.

## 4. Sección III: La Solución Unificada (La Coherencia Interna)

La fuerza de una **Teoría Subyacente** radica en su poder para generar predicciones novedosas y falsables en dominios disjuntos. La **TCG-CS-F** demuestra su coherencia interna al ofrecer una solución simultánea a la Crisis Cuántica y a la Crisis Cosmológica.

### 4.1. A. Crisis Cuántica: La predicción de la Decoherence Cliff

La **TCG-CS-F** propone que la linealidad cuántica se rompe de manera natural debido a la interacción gravitatoria del campo  $\chi$ .

- **Mecanismo de Colapso Objetivo:** A medida que la masa del sistema aumenta, la perturbación del campo  $\chi$  se vuelve no lineal, forzando una **reducción de estado** independiente del observador.
- **La Frontera  $M_{cr}$  (Decoherence Cliff):** Utilizando el potencial de screening, la teoría predice un umbral de masa crítico exacto:

$$M_{cr} \approx 10^9 \text{ amu} \quad (2)$$

Observar una pérdida abrupta de coherencia en este rango confirmaría que la gravedad modificada es el agente de la transición clásico-cuántica.

### 4.2. B. Crisis Cosmológica: La MO/EO Unificada y la Señal de 96.7 MHz

La mayor economía de la **TCG-CS-F** es la unificación del sector oscuro en un único fluido escalar  $\chi$ .

- **Unificación Fenomenológica:** A escala cosmológica, actúa como **Energía Oscura**; a escala galáctica, se agrupa como **Materia Oscura** ( $\alpha = 3$ ).
- **Predicción Espectral (f):** Derivando la masa del campo  $m_\chi$  en el halo local, la teoría predice una señal de resonancia específica para detectores de tipo *Haloscopia*:

$$f_{res} = 96,7 \text{ MHz} \quad (3)$$

La detección de esta señal constituiría la prueba definitiva de la existencia del campo  $\chi$  y la falsación de los modelos  $\Lambda$  pura y WIMP.

## 5. Conclusión

La **TCG-CS-F** ha sido presentada como la **Respuesta Canónica** a la **Doble Crisis** de la Física Fundamental. El problema de la **Materia Oscura/Energía Oscura** y el **Problema de la Medición Cuántica** se resuelven de manera coherente y unificada mediante un único marco teórico riguroso.

### 5.1. Reafirmación de la Economía Conceptual

El modelo  $\Lambda$ CDM requiere múltiples sectores oscuros y postulados externos para la cuántica. En contraste, la **TCG-CS-F** demuestra una **extrema economía** al operar con un único campo escalar y una **única constante fundamental** nueva ( $\beta = 8,3 \times 10^{-5}$ ), satisfaciendo el criterio de **\*\*Teoría Subyacente\*\*** de mínimos supuestos.

## 5.2. Verificabilidad Completa: El Doble Frente de Falsabilidad

La cualidad más importante de la **TCG-CS-F** es su **\*\*Verificabilidad Completa\*\***, establecida en un **Doble Frente de Falsabilidad**:

1. **Frente Cuántico ( $M_{cr}$ ):** La no observación de la **Decoherence Cliff** en  $M_{cr} \approx 10^9$  amu falsaría el mecanismo de colapso objetivo.
2. **Frente Cosmológico (f):** La no detección de la señal en  $f = 96,7$  MHz anularía la unificación del sector oscuro.
3. **Frente Extremo del Sistema Solar (q):** La falta de detección de una desviación de la ley newtoniana en la órbita de un objeto de prueba más allá de  $q = 0,1$  au (el **Test Extremo de Cometas**) falsaría la geometría de screening propuesta.

La **TCG-CS-F** trasciende la mera modificación *ad hoc*, ofreciendo una narrativa **coherente, unificada y totalmente falsable** para cerrar las fracturas conceptuales de la Doble Crisis.