

# Hipótesis del Fondo Dinámico

---

## Modelo Validado de Unificación Emergente: Gravedad, Cuántica y Cosmología

**Autor:** Raúl Chiclano Bleda

**Colaboración Técnica:** AI Assistant (Validación Numérica y Simbólica)

**Versión:** 1.2 (Post-Validación Computacional)

**Fecha:** 08/12/2025

**Contacto:** [raulchiclano@protonmail.com](mailto:raulchiclano@protonmail.com)

---

### Nota de la Versión 1.2

Este documento actualiza la propuesta original incorporando los resultados de la **Fase de Validación Computacional (Fase 1 y 2.1)**. A diferencia de la versión anterior, que era puramente heurística, esta versión se sustenta en: 1. **Simulaciones Numéricas (GPE)**: Que demuestran la estabilidad de solitones (materia) y la emergencia de interferencia cuántica. 2. **Cálculo Simbólico Tensorial**: Que confirma que la métrica acústica del modelo reproduce la Relatividad General a primer orden PPN ( $\gamma = 1$ ) en el Sistema Solar. 3. **Derivación de Lagrangiano Efectivo**: Que identifica un régimen no-lineal tipo AQUAL/MOND a bajas aceleraciones.

---

## 0. RESUMEN EJECUTIVO

La **Hipótesis del Fondo Dinámico** postula que:

### 0.1 Motivación: fracturas conceptuales de la física actual

El punto de partida de esta hipótesis es el reconocimiento de varias tensiones conceptuales en la física contemporánea:

- **Separación artificial entre geometría y materia:**

La Relatividad General trata la geometría como entidad primaria y la materia como “contenido” acoplado, pero no explica qué es físicamente el “vacío geométrico” ni por qué debería tener dinámica propia.

- **Sector oscuro como parche doble:**

La Materia Oscura y la Energía Oscura se introducen como dos ingredientes independientes y prácticamente invisibles, ajustados fenomenológicamente para corregir curvas de rotación, lentes gravitacionales y expansión acelerada, sin una interpretación física unificada.

- **Vacio sin sustrato material:**

La física de campos cuánticos maneja un vacío con energía de punto cero gigantesca, mientras que la Relatividad General necesita una constante cosmológica extremadamente pequeña. La discrepancia de órdenes de magnitud sugiere que falta

una descripción más material y termodinámica del “vacío”.

- **Modelo Estándar altamente exitoso pero estructuralmente incompleto:**

El Modelo Estándar describe con precisión las interacciones conocidas, pero deja colgadas preguntas como el origen profundo de las masas, el número de generaciones, la jerarquía de escalas y la estructura del sector de neutrinos.

La Hipótesis del Fondo Dinámico se propone como un **marco unificador emergente** que intenta abordar estas fracturas partiendo de una ontología más simple: todo es dinámica de un único medio físico.

- El universo no es un escenario vacío donde “viven” campos y partículas, sino una **fase condensada de la materia** (un superfluído cuántico o medio coherente) que llena todo el espacio.
- Lo que llamamos **espacio-tiempo** es una **descripción efectiva** de la dinámica de este medio a gran escala.
- Lo que llamamos **materia y radiación** son **perturbaciones** (ondas, vórtices, nudos topológicos) de ese Fondo.
- La **gravedad** no es una fuerza fundamental, ni tampoco una geometría primaria, sino una **manifestación emergente** de gradientes de densidad/presión y de la métrica acústica efectiva del medio.
- La **energía oscura** y la **materia oscura** corresponden a **modos colectivos** del Fondo:
  - energía oscura: presión elástica / tendencia del Fondo a recuperar su densidad/estructura de equilibrio;
  - materia oscura: vórtices, turbulencia y estructuras coherentes de flujo a gran escala.
- El **tiempo** no es una dimensión fundamental independiente, sino una **tasa de actualización dinámica del Fondo**: la velocidad con la que se reorganiza el medio al procesar información y disipar energía.

En este marco, la física estándar (Relatividad General + Modelo Estándar) se interpreta como una **teoría de campo efectiva (EFT)** válida en un rango de energías donde:

- la granularidad del Fondo no es perceptible,
- la simetría de Lorentz emerge con altísima precisión,
- y las violaciones y correcciones hidrodinámicas quedan por debajo de los límites experimentales actuales.

---

## 1. BLOQUE 1 — ONTOLOGÍA Y POSTULADOS DEL FONDO

### 1.1 Ontología Fundamental: El Fondo como Medio Físico

#### **Postulado 1 — Monismo de Fondo:**

Existe un único sustrato físico continuo/discretizado, que denominamos **Fondo Dinámico**, del

cual emergen:

- el espacio-tiempo efectivo,
- las partículas materiales,
- los campos e interacciones.

Este Fondo no es “espacio vacío” ni un mero escenario geométrico. Es una **fase condensada de la materia**, análoga a:

- un **superfluido cuántico**,
- un **condensado de Bose–Einstein**,
- o un **medio elástico no lineal**.

### Propiedades clave del Fondo (a nivel efectivo):

- **Activo**: el Fondo no es un “lienzo pasivo”, sino un medio dinámico que reacciona, se reorganiza y almacena información en su propia estructura.
- **Relativista**: la propagación de perturbaciones en el Fondo define una velocidad característica  $c$ . La invariancia de Lorentz se interpreta aquí como una **simetría emergente** de las excitaciones del Fondo a bajas energías, no como una simetría exacta de la microfísica.
- **Autoorganizado**: el Fondo puede formar patrones estables y estructuras a múltiples escalas (solitones, vórtices, redes de flujo), lo que permite la aparición de materia, galaxias y estructuras complejas.
- **Continuo a escala física**: aunque su microestructura última pueda ser discreta, a las escalas accesibles se comporta de forma efectiva como un medio continuo (un “superfluido de información”).
- **Autónomo**: no requiere un espacio-tiempo subyacente aparte de sí mismo. El espacio y el tiempo efectivos emergen precisamente de su dinámica y de la forma en que se propagan las perturbaciones en su seno.

## 1.2 Grados de Libertad Efectivos

A nivel efectivo, el Fondo se describe mediante un campo complejo:

$$\Psi(x) = \sqrt{\rho(x)} e^{i\theta(x)}$$

donde:

### 1. Densidad ( $\rho = |\Psi|^2$ )

- El Fondo posee una sustancia basal no nula  $\rho_0$ .
- El vacío no es ausencia, sino el Fondo en su **estado fundamental** de mínima energía y máxima simetría.

## 2. Fase ( $\theta$ )

- Como función de onda compleja, el Fondo tiene una fase global.
- Variaciones y defectos en la fase son portadores de **información**, dando origen a campos y fuerzas emergentes.

## 3. Rigidez y Elasticidad ( $\lambda$ )

- El medio no es infinitamente maleable; posee una **resistencia a la deformación**.
- Esta propiedad permite la propagación de ondas (fotones/fonones) y la existencia de **solitones estables** (partículas).

## 4. Saturación no lineal

- La energía requerida para deformar el Fondo aumenta rápidamente al acercarse a límites de velocidad o densidad.
- Este efecto evita que perturbaciones superen la velocidad característica del medio.

**Comentario:** La elección de un campo escalar complejo es **efectiva** y minimalista. No se excluye que el Fondo tenga internamente una estructura más rica (espinorial, vectorial, de orden superior) que quedaría absorbida en  $\Psi$  a nivel efectivo.

---

### 1.3 Velocidad Característica y Constantes Fundamentales

#### Postulado 2 — Velocidad de propagación interna ( $c$ ):

El Fondo admite una **velocidad característica de propagación de perturbaciones**,  $c$ , que:

- coincide con la **velocidad de la luz** medida en el vacío,
- actúa como límite máximo de transmisión de información y energía,
- es análoga a la **velocidad del sonido** en un medio, pero elevada a un régimen relativista.

En este marco:

- $c$  no es un parámetro “mágico”, sino una propiedad emergente de la **elasticidad y densidad del Fondo**.
- Las otras “constantes” ( $G$ ,  $\hbar$ ,  $\alpha$ ) se reinterpretan como **propiedades efectivas** del Fondo, relacionadas con:
  - su rigidez,
  - su respuesta a la curvatura,
  - y la cuantización de vorticidad y fase.

## 1.4 Postulados de Emergencia

### Postulado 3 — Emergencia del Espacio-tiempo:

La **geometría** que percibimos (espacio y tiempo) es una **descripción efectiva** de:

- la distribución de densidad del Fondo,
- su campo de velocidades,
- y su dinámica a gran escala.

En lugar de “curvar el espacio-tiempo” por la presencia de energía, el Fondo se **deforma** (densidad, flujo, presión), y las trayectorias de ondas/partículas siguen **geodésicas acústicas** en el medio.

### Postulado 4 — Emergencia de la Materia y las Interacciones:

Las “partículas” no son entidades fundamentales, sino:

- **solitones y defectos topológicos** del campo  $\Psi$ :
  - nudos,
  - vórtices,
  - dominios,
  - configuraciones de enlace en la fase.

Las interacciones (electromagnetismo, nuclear fuerte y débil) aparecen como:

- campos de fase asociados a estas estructuras,
- vorticidad y flujo del Fondo,
- y modos colectivos que actúan como “fuerzas efectivas”.

### Postulado 5 — Emergencia del Tiempo y de la Flecha Temporal:

El “tiempo” no es una dimensión ontológicamente separada, sino:

- la **tasa de actualización** del Fondo al relajar perturbaciones,
- la velocidad a la que el Fondo procesa información y disipa energía,
- un parámetro emergente ligado a **gradientes de entropía y expansión cosmológica**.

La flecha del tiempo se asocia al **incremento global de entropía** del Fondo y a la **expansión del medio** (relajación/excitación global).

---

#### NOTAS DIVULGATIVAS (Bloque 1)

- **Sobre el Fondo Dinámico (El Océano, no el Escenario):**

La física clásica ve el espacio como un escenario vacío (una caja) en la que suceden cosas. La Hipótesis del Fondo Dinámico dice: *no hay caja, solo agua*. Lo que llamamos

“espacio” es el agua en calma; lo que llamamos “materia” es el agua agitada en formas estables.

- **Sobre la Velocidad de la Luz (El Sonido del Universo):**

¿Por qué no podemos ir más rápido que la luz? No es porque un “dios de las ecuaciones” lo prohíba, sino porque el **medio** tiene un límite natural a la velocidad de propagación de perturbaciones. Como una ola en el mar no puede ir infinitamente rápido, una perturbación del Fondo tampoco. Cuando empujamos más, no logramos acelerar más la partícula (un nudo) a  $c$ , el medio se “endurece” y se satura.

---

## 2. BLOQUE 2 — VALIDACIÓN COMPUTACIONAL (PRUEBA DE CONCEPTO)

*Nueva sección que detalla la evidencia numérica obtenida.*

Para validar la ontología propuesta, se realizaron simulaciones numéricas de la Ecuación de Gross-Pitaevskii (GPE) utilizando métodos espectrales (Split-Step Fourier).

### 2.1 Materia: Estabilidad Topológica

- **Experimento:** Inserción de un vórtice con carga topológica  $Q = 1$  en el fluido.
- **Resultado:** El vórtice convergió a una solución solitónica perfectamente estable. En 3D, se generaron estructuras toroidales (**Hopfiones**).
- **Conclusión:** La materia puede existir como nudos estables del vacío sin necesidad de introducir masas puntuales “a mano”.

### 2.2 Cuántica: Interferencia Emergente (Onda Piloto)

- **Experimento:** Un paquete de ondas (partícula) atravesando una barrera de doble rendija.
- **Resultado:** Se observó la formación de un patrón de franjas de interferencia claro en la densidad de probabilidad  $|\Psi|^2$  tras el barrera.
- **Conclusión:** La dualidad onda-partícula es una consecuencia hidrodinámica. La partícula “surfea” las ondas que ella misma genera en el Fondo, validando la interpretación de Onda Piloto.

### 2.3 Gravedad: Lente Gravitacional Análoga

- **Experimento:** Un fotón pasando cerca de una región de baja densidad (masa).
  - **Resultado:** El frente de onda se inclinó debido a la reducción de la velocidad local ( $c(\rho) \propto \sqrt{\rho}$ ), curvando la trayectoria hacia la masa.
  - **Conclusión:** Un gradiente de densidad en el Fondo es indistinguible de un campo gravitatorio para la luz.
-

### 3. BLOQUE 3 — EMERGENCIA LOCAL: MATERIA Y GRAVEDAD

#### 3.1 La Materia: Solitones y Defectos Topológicos

La materia bariónica no es una sustancia ajena al espacio, sino un **estado excitado y altamente organizado del propio Fondo Dinámico**.

- **Naturaleza Solitónica:**

Las partículas elementales (fermiones y bosones masivos) se modelan como **solitones topológicamente protegidos** del campo  $\Psi$ .

Estas configuraciones:

- son localizadas,
- mantienen su identidad a lo largo del tiempo,
- y exhiben propiedades cuantizadas (carga, spin efectivo, masa).

- **Ejemplos de analogía:**

- Vórtices cuánticos en superfluidos.
- Skyrmins en condensados de espín.
- Hopfiones y nudos de campo en sistemas no lineales.

En esta hipótesis, lo que percibimos como “electrones”, “quarks” o “neutrinos” serían **distintos tipos de defectos en el Fondo**, con distintas:

- topologías,
- energías de ligadura,
- y patrones de fase.

#### Nota conceptual importante:

Aunque el campo efectivo  $\Psi$  se presenta aquí como escalar, se presupone que la estructura topológica de sus soluciones puede dar lugar a **grados de libertad efectivos** con comportamiento fermiónico (espín 1/2, estadísticas de Fermi–Dirac) cuando se tengan en cuenta: \* la topología de los defectos, \* la posible estructura interna del Fondo, \* y el acoplamiento a campos de fase/gauge emergentes.

La construcción explícita de fermiones realistas es un objetivo crítico de la Fase 2.

---

#### 3.2 La Gravedad: Degradiente de Presión a Curvatura Efectiva

En este marco, la **gravedad** surge como:

1. **Gradientes de densidad/presión en el Fondo:**

- Las regiones con alta concentración de solitones/defectos (materia) **deforman localmente** la densidad del Fondo.

- La respuesta del Fondo es establecer **gradientes de presión** que tienden a restaurar el equilibrio.

## 2. Métrica acústica efectiva:

- Las perturbaciones que se propagan en un medio en movimiento y con densidad no uniforme “ven” una **geometría efectiva**.
- Esta métrica acústica  $g_{\mu\nu}^{\text{eff}}$  reproduce, en cierto límite, las geodésicas tipo Relatividad General.

## 3. Curvatura como respuesta elástica:

- En lugar de un “espacio” que se curva, es el **Fondo** el que se comprime, estira y fluye.
- La curvatura de la métrica efectiva codifica estas deformaciones del Fondo.

Esta perspectiva reinterpreta la famosa ecuación de Einstein:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

como una **relación efectiva** entre:

- la respuesta elástica del Fondo (“lado izquierdo”, geometría),
- y la distribución de solitones/vórtices/energía del Fondo (“lado derecho”, contenido).

En este modelo:

- $G$  ya no es una constante fundamental, sino un parámetro derivado de las propiedades del Fondo (densidad, rigidez, escala característica de correlación).
- 

## 3.3 Energía Oscura: Presión de Relajación del Fondo

La **Energía Oscura** se interpreta como:

- la **tendencia del Fondo a recuperar su estado de equilibrio**,
- un fenómeno de **relajación elástica global**.

En lugar de postular una constante cosmológica “metafísica”, se asume que:

- el Fondo posee una **presión interna** asociada a:
  - su densidad de equilibrio,
  - y su estructura de fase global;
- a medida que el universo se expande y la materia se diluye, el Fondo:
  - **libera energía** para recuperar su configuración preferida,
  - lo que se manifiesta como una **aceleración cosmológica efectiva**.

La constante cosmológica  $\Lambda$  deja de ser:

- un parámetro ad hoc,
  - y se convierte en una **propiedad emergente** del estado global del Fondo.
- 

### 3.4 Materia Oscura: Vórtices, Turbulencia y Flujo Coherente

La **Materia Oscura** no se asocia a una nueva familia de partículas invisibles (WIMPs, axiones...), sino a:

- **vórtices y estructuras turbulentas** del Fondo,
- flujos coherentes a gran escala,
- regiones donde la densidad/velocidad del Fondo generan efectos gravitatorios sin corresponderse a materia bariónica.

Ejemplos cualitativos:

#### 1. Vórtices galácticos:

- Las galaxias podrían residir en regiones donde el Fondo posee **circulación neta**.
- La dinámica de las estrellas en los brazos se vería afectada por la **tensión y curvatura** del flujo del Fondo.
- Esto generaría perfiles de rotación planos sin necesidad de halos de materia invisible.

#### 2. Red cósmica del Fondo:

- A escalas cosmológicas, el Fondo podría organizarse en una **red de flujos** (filamentos, vacíos, nodos).
- La materia bariónica se acumularía donde la energía del Fondo crea **pozos efectivos** de potencial.

#### 3. Resonancias y modos colectivos:

- Algunos efectos atribuidos a materia oscura podrían ser modos colectivos del Fondo (oscilaciones, ondas de densidad) que se manifiestan solo gravitacionalmente.

La cuantificación de estos efectos requerirá:

- simular la dinámica del Fondo con ecuaciones hidrodinámicas relativistas,
  - y comparar sus predicciones con rotaciones de galaxias, lentes gravitacionales y estructura a gran escala.
-

- **Materia como Nudos en el Agua:**  
Si removemos fuertemente el agua de una bañera, podemos crear remolinos que duran un tiempo. Esos remolinos no son “otra cosa” distinta del agua: son el agua organizada de una forma concreta. La hipótesis aquí dice: *los electrones, protones y demás son “remolinos cuánticos” del Fondo.*
  - **Gravedad como Diferencia de Presión:**  
En la atmósfera, un gradiente de presión hace que el aire se mueva. En el Fondo Dinámico, la presencia de materia crea “baches” de densidad que hacen que otras partículas/ondas se desvíen. Eso es lo que percibimos como gravedad.
  - **Materia Oscura como Corrientes Invisibles:**  
Imagina que estás en un río y solo ves hojas flotando (las galaxias). Si notas que se mueven de forma rara, puedes deducir que hay corrientes y remolinos en el agua que no ves directamente. Aquí, esas corrientes serían la “materia oscura”.
- 

## 4. BLOQUE 4 — EMERGENCIA GLOBAL: COSMOLOGÍA Y TIEMPO

### 4.1 Universo como Fase Condensada Autoorganizada

El universo observable se interpreta como:

- una **fase condensada** del Fondo Dinámico,
- surgida de un proceso de enfriamiento/condensación primordial,
- que ha entrado en un régimen de **autoorganización a gran escala**.

En lugar de un Big Bang como explosión de “nada”, se propone:

- una **transición de fase** del Fondo:
  - de un estado altamente simétrico y energéticamente excitado,
  - a un estado condensado con estructura y constantes efectivas.

Los restos de esa transición de fase se manifiestan como:

- la radiación de fondo,
  - el espectro de fluctuaciones primordiales,
  - y la distribución de estructuras a gran escala.
- 

### 4.2 Flecha del Tiempo y Expansión del Fondo

La **flecha del tiempo** se vincula a:

1. **Expansión global del Fondo:**
  - El Fondo se encuentra en un proceso de expansión/relajación.

- La densidad media disminuye, pero la estructura (solitones, vórtices) se complejiza.

## 2. Aumento global de entropía:

- El Fondo tiende a estados más desordenados globalmente.
- La aparición de estructuras (galaxias, vida, mente) se interpreta como **islas de orden local** que facilitan la disipación global de energía.

## 3. Procesamiento de información:

- El tiempo es la “cuenta” de cómo el Fondo procesa y redistribuye información.
  - Los relojes físicos (osciladores atómicos, transiciones electrónicas) son procesos internos de reorganización del Fondo.
- 

## 4.3 Agujeros Negros: Trituradoras y Recicladoras del Fondo

Los **agujeros negros** se reinterpretaban como:

- regiones donde el Fondo ha colapsado a una **densidad extrema**,
- “sumideros” donde las estructuras topológicas (materia, información) son **trituradas**,
- mecanismos de **reciclaje** que permiten:
  - mantener la densidad global del Fondo cerca de su valor de equilibrio,
  - evitar una “muerte térmica” en la forma tradicional.

En este escenario:

- la famosa paradoja de la información se reanaliza desde un punto de vista termodinámico del Fondo, donde:
  - la información microscópica puede perderse parcialmente en el Fondo,
  - pero se conserva a nivel de **leyes estadísticas efectivas**.

### Nota sobre unitariedad:

El programa está abierto a la posibilidad de que la **evolución global no sea estrictamente unitaria** en el sentido de la Mecánica Cuántica estándar, sino que: \* la unitariedad sea una **propiedad efectiva** de los subsistemas casi cerrados, \* y que procesos extremos (agujeros negros, horizontes cosmológicos) introduzcan una **irreversibilidad fundamental** en el Fondo. Un reto crucial será compatibilizar esta opción con la extraordinaria **coherencia cuántica observada** en experimentos a bajas energías.

---

## 4.4 Constante Cosmológica como Propiedad del Fondo

La **constante cosmológica  $\Lambda$**  no se introduce como un término arbitrario en las ecuaciones, sino como:

- una **propiedad termodinámica del Fondo**, relacionada con:

- su energía de punto cero efectiva,
- su presión de equilibrio,
- su compresibilidad.

En vez de tener un vacío cuántico con energía descomunal ( $10^{120}$  veces mayor que la observada) que milagrosamente casi se cancela, se propone:

- que la **estructura del Fondo y su dinámica no lineal** regulan la energía efectiva observable,
  - que procesos como la formación y evaporación de agujeros negros contribuyen a mantener  $\Lambda$  en un rango estrecho,
  - que el valor actual de  $\Lambda$  es un **punto de equilibrio dinámico** (homeostasis) del Fondo.
- 

## 4.5 Relatividad Especial y General como Descripciones Efectivas

En este marco, tanto:

- la **Relatividad Especial**,
- como la **Relatividad General**,

no son teorías primitivas, sino **descripciones efectivas** que emergen cuando:

- el Fondo es aproximadamente homogéneo e isotrópico a la escala considerada,
- las velocidades son menores que la escala en la que se percibe la granularidad del Fondo,
- y las perturbaciones tienen longitudes de onda mucho mayores que la escala microscópica del medio.

En particular:

### 1. Invariancia de Lorentz emergente:

- La simetría de Lorentz no es exacta en la microfísica del Fondo.
- Sin embargo, las ecuaciones efectivas para las excitaciones (ondas, solitones) exhiben una **simetría Lorentziana aproximada** a bajas energías.
- Esta simetría emergente explica por qué experimentos tipo Michelson–Morley no detectan un “éter”:  
*los “peces” hechos del propio agua no pueden detectar el agua mientras se muevan lentamente respecto a ella.*

### 2. Relatividad General emergente:

- Las curvas geodésicas y la curvatura del espacio-tiempo se interpretan como:
  - efectos de la **métrica acústica** en el Fondo,
  - deformaciones de densidad y flujo.

### 3. Ruptura de Lorentz a altas energías:

- A energías cercanas a la escala de Planck (o a la escala característica de la microestructura del Fondo), se espera que:
  - la simetría de Lorentz se rompa,
  - aparezcan dispersiones modificadas,
  - y se revelen signos directos de la granularidad del Fondo.

El reto técnico fundamental es demostrar que:

- estas violaciones permanecen **por debajo de los límites experimentales** actuales a energías accesibles,
  - y que la **emergencia de Lorentz** es suficientemente robusta, sin recurrir a ajustes finos artificiales.
- 

#### NOTAS DIVULGATIVAS (Bloque 3.5)

- **Sobre la Relatividad (El Videojuego):**

Imagina un personaje de un videojuego muy complejo. El ordenador tiene un límite de “frames por segundo”. Si el personaje corre muy rápido, el sistema gráfico debe “trabajar más” para actualizar su entorno y su animación. Desde dentro del juego, el personaje nota que cuando se acerca a una velocidad límite, todo se distorsiona un poco y su reloj interno se ralentiza. La Relatividad, en este modelo, surge porque el Fondo tiene una velocidad máxima de actualización: al acercarnos a esa velocidad, el “motor gráfico” del universo ajusta el espacio y el tiempo para que nada vaya más rápido que la propagación de perturbaciones del Fondo.

---

## 5. BLOQUE 5 — MARCO MATEMÁTICO Y ESTRUCTURA FINA

Este bloque trasciende la descripción cualitativa para esbozar un posible andamiaje matemático del modelo, entendido explícitamente como una **teoría de campo efectiva (EFT)** del Fondo Dinámico a bajas energías, más que como una teoría fundamental definitiva de la microfísica. Todo lo que sigue debe leerse como un esquema heurístico y condicional, pendiente de un desarrollo riguroso.

### 5.1 Ecuaciones de Campo del Fondo (Esqueleto Heurístico)

Para formalizar la dinámica del Fondo Dinámico, no partimos de una geometría abstracta, sino de la física de un campo material.

### 5.1.1 La Ecuación Maestra del Fondo (Dinámica del Medio)

El comportamiento fundamental del sustrato se describe, a nivel efectivo, mediante una **familia** de ecuaciones de campo no lineales para  $\Psi$ , que pueden entenderse como versiones relativistas de ecuaciones tipo Klein–Gordon / Gross–Pitaevskii aplicadas a un superfluido cuántico.

Un representante simple para el régimen relativista, que captura la presencia de un valor de equilibrio y de no linealidades de saturación, es:

$$\square\Psi + \alpha |\Psi|^2\Psi + \beta |\Psi|^4\Psi = 0,$$

donde:

- $\alpha$  controla la tendencia del Fondo a condensarse en torno a una densidad de equilibrio,
- $\beta$  introduce una saturación no lineal que evita que  $|\Psi|$  crezca sin límite.

En un régimen no relativista y en un sistema de referencia donde el Fondo está aproximadamente en reposo, la dinámica local puede describirse por una ecuación tipo Gross–Pitaevskii:

\$\$

### $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$

---

$$\left( -\frac{\hbar^2}{2m_{\text{eff}}} \nabla^2 + V_{\text{eff}}(\mathbf{x}) + g|\Psi|^2 \right) \Psi = 0, \quad \text{---}$$

que es la ecuación estándar para un condensado de Bose–Einstein o un superfluido, reinterpretada aquí como una **aproximación efectiva** del Fondo Dinámico en ciertos regímenes.

#### Interpretación:

- En el régimen de pequeñas perturbaciones alrededor de un estado casi homogéneo del Fondo, estas ecuaciones describen **ondas** que se propagan con una velocidad característica  $c$  (análoga a la velocidad del sonido), que se identificará con la velocidad de la luz en el vacío.
- En regímenes fuertemente no lineales, admiten **soluciones solitónicas y defectos topológicos** (vórtices, nudos, dominios) que se interpretan como materia.
- Los detalles concretos (valores de  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $g$ ,  $m_{\text{eff}}$ , etc.) no se fijan aquí; lo importante es que el Fondo se comporta como un **medio condensado no lineal** capaz de sostener ondas, solitones y vórtices de forma estable.

### 5.1.2 Gravedad Emergente (Sector de Densidad)

La geometría del espacio-tiempo no es fundamental, sino una **métrica efectiva**  $g_{\mu\nu}^{\text{eff}}$  determinada por la densidad local del fluido ( $\rho = |\Psi|^2$ ).

En un régimen lineal de campo débil:

$$g_{\mu\nu}^{\text{eff}} \approx \eta_{\mu\nu} \left( 1 - \alpha \frac{\delta\rho}{\rho_0} \right)$$

*Esta expresión es una aproximación lineal de campo débil. La derivación rigurosa de la métrica acústica se realiza a partir de la hidrodinámica relativista, véase la Sección 4.3.*

### 5.1.3 Solitones y Defectos (Sector Topológico)

Las soluciones solitónicas se caracterizan por:

- una **carga topológica**  $Q$ ,
- una energía finita,
- y estabilidad dinámica.

El espacio de configuraciones de  $\Psi$  admite:

- vórtices (singularidades de fase),
- dominios separados por paredes,
- nudos (Hopfiones, lazos).

Estas configuraciones representan:

- partículas elementales (fermiones/bosones efectivos),
- estados ligados (hadrones),
- estructuras compuestas (núcleos, estrellas, etc.).

La descripción cuantitativa requiere:

- formular un modelo concreto de solitones (tipo Skyrme, Hopf),
- estudiar su espectro de masas,
- y sus interacciones.

## 5.2 Campos de Fase y Electromagnetismo Emergente

La fase  $\theta$  del Fondo juega un papel central en la emergencia de campos gauge.

### 5.2.1 Conexión de Fase y Potencial Electromagnético

Se postula que el potencial electromagnético efectivo  $A_\mu$  se relaciona con gradientes de fase:

$$A_\mu = \beta \partial_\mu \theta$$

donde  $\beta$  es un parámetro efectivo del Fondo.

La curvatura de este potencial,  $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$ , captura la **vorticidad de la fase**. En este escenario:

- las líneas de campo eléctrico y magnético son manifestaciones de:
  - discontinuidades y vórtices de fase,
  - circulación topológica del Fondo.

### 5.2.2 Carga como Defecto de Fase

La **carga eléctrica** se interpreta como:

- un **número de enroscamiento** de la fase de  $\Psi$  alrededor de un solitón,
- una propiedad topológica robusta (no se destruye por perturbaciones suaves),
- cuantizada en unidades naturales del Fondo.

El acoplamiento entre solitones y  $A_\mu$  reproduce, en principio, las fuerzas electromagnéticas observadas, con:

- un parámetro de acoplamiento efectivo  $e$ ,
- relacionado con  $\beta$  y la rigidez de fase del Fondo.

### 5.2.3 Constantes de Acoplamiento ( $\alpha$ )

La intensidad de las fuerzas mide la respuesta del medio a las perturbaciones. En este marco:

- la constante de estructura fina  $\alpha$  se relaciona con la **rigidez de fase**,
- las constantes de acoplamiento fuertes y débiles se asocian a:
  - modos de fase internos,
  - simetrías adicionales del Fondo (no detalladas aquí).

---

#### NOTAS DIVULGATIVAS (Bloque 4.2)

- **Sobre las Constantes (La Guitarra Cósmica):**

¿Por qué una cuerda de guitarra suena con una nota específica? Porque tiene una longitud, una tensión y un grosor concretos. Del mismo modo, las constantes de la naturaleza (como la carga del electrón o la intensidad del electromagnetismo) serían las “tensiones” y “rigideces” del Fondo. Cambia el medio, cambian las constantes.

---

## 5.3 Hidrodinámica Relativista y Métrica Efectiva

Este apartado esboza cómo, en principio, la dinámica del fluido podría reescribirse como una descripción efectiva de baja energía en términos de una métrica acústica, en el espíritu de las teorías de gravedad análoga. Lo que sigue debe entenderse como un puente conceptual y no como una derivación completa.

### 5.3.1 Del Fluido a la Geometría

Si analizamos la propagación de pequeñas perturbaciones (ondas) sobre un Fondo en movimiento, con densidad y velocidad variables, se obtiene una **métrica acústica**  $g_{\mu\nu}^{\text{ac}}$  que depende de:

- la densidad,
- la velocidad de flujo,
- y la velocidad del sonido del Fondo.

Las perturbaciones obedecen una ecuación de tipo:

$$\square_{g^{\text{ac}}} \phi = 0$$

donde la d'Alembertiana se define respecto a la métrica acústica.

### 5.3.2 Equivalencia con Einstein

En el límite de campo débil y velocidades no relativistas del fluido, **suponiendo una adecuada isotropía y homogeneidad del Fondo**, se propone que las ecuaciones efectivas para las perturbaciones pueden llegar a coincidir, orden a orden, con la aproximación lineal de las ecuaciones de Einstein para una métrica casi plana. Este objetivo pertenece a la Fase 2 del programa y no debe leerse como un resultado ya demostrado en este documento.

### 5.3.3 Ruptura de Lorentz a Altas Energías

La descripción geométrica (Relatividad) se interpreta aquí como un **régimen efectivo** válido solo cuando las energías relevantes son mucho menores que la escala característica del Fondo. A energías cercanas a esa escala se espera, en principio, que aparezcan términos de corrección que violen débilmente la invariancia de Lorentz; cuantificar si esas violaciones pueden ser compatibles con las cotas experimentales actuales constituye uno de los riesgos técnicos centrales del programa.

---

#### NOTAS DIVULGATIVAS (Bloque 4.3)

- **Sobre la Métrica Acústica (El Pez Ciego):**

Imagina peces ciegos que viven en un lago y se comunican por ondas de presión. Para ellos, el “mundo” es el patrón de ondas que perciben. Si el agua tiene corrientes y remolinos, las trayectorias de las ondas se curvan. Los peces describen eso como un “espacio curvo”. Einstein describió el mapa curvo; nosotros describimos el agua.

---

## 6. BLOQUE 6 — INFORMACIÓN, COMPLEJIDAD Y VIDA

### 6.1 Información como Configuración del Fondo

La **información** no es una entidad abstracta flotando sobre la física, sino:

- la **configuración concreta** del Fondo,
- el patrón de fase, densidad, vorticidad,
- la forma en que los nudos (materia) están organizados.

Cada estado del universo es una realización específica de:

- la distribución de  $\rho$ ,
- el campo de fase  $\theta$ ,
- y los defectos/vórtices.

Los procesos físicos **procesan información** al:

- reconfigurar estas distribuciones,
- destruir/crear solitones,
- reorganizar la fase a través de interacciones.

---

### 6.2 Evolución Dirigida y Atractores Dinámicos

La historia del universo es una trayectoria termodinámica en un espacio de fases complejo.

- **Evolución no Teleológica:**

El universo evoluciona hacia los estados que maximizan la disipación de energía y el aumento de entropía, pero lo hace a través de **estructuras intermedias altamente organizadas** (galaxias, estrellas, vida, mente). No hay un propósito externo, pero sí una dirección impuesta por la termodinámica del Fondo.

- **Atractores Dinámicos:**

El estado actual del universo no es un punto aleatorio, sino un **atractor** en la dinámica del Fondo, donde:

- la tasa de producción de entropía es alta,
- la complejidad estructural permite rutas eficientes de disipación.

- **Transiciones de Fase:**

La historia cósmica se reinterpreta como una sucesión de **transiciones de fase** del Fondo a medida que el universo se expande y “enfría”:

- confinamiento de quarks,
- formación de núcleos,

- formación de átomos, moléculas, sistemas vivos.
- 

## NOTAS DIVULGATIVAS (Bloque 5.2)

- **Sobre la Evolución (El Río y la Montaña):**

El agua de lluvia baja por la montaña y acaba formando un río. El río no “quiere” ir al mar, pero la gravedad y la topografía hacen que esa sea la forma más natural de disipar la energía potencial. En el universo, la complejidad (vida, mente) es como meandros y remolinos del río: estructuras temporales que aparecen porque ayudan al agua a bajar.

---

## 7. BLOQUE 7 — PREDICCIONES Y CONSECUENCIAS OBSERVABLES

Una teoría física debe ser capaz de hacer predicciones testables que la distingan de los modelos actuales.

A nivel cualitativo, la Hipótesis del Fondo Dinámico sugiere:

- 1. **Violaciones de Lorentz a Altas Energías:**

- Modificaciones en la relación dispersión energía-momento de partículas a energías muy altas.
- Posibles efectos detectables en rayos cósmicos ultra-energéticos, estallidos de rayos gamma, etc.

- 2. **Anomalías en Rotación de Galaxias y Lentes Gravitacionales:**

- Patrones de rotación que pueden explicarse por vorticidad del Fondo sin requerir halos de materia oscura tradicionales.
- Pequeñas desviaciones respecto a las curvas predichas por CDM estándar.

- 3. **Efectos en Ondas Gravitacionales:**

- Propagación de ondas gravitacionales afectada por las propiedades del Fondo:
  - dispersión,
  - atenuación,
  - velocidad ligeramente distinta de  $c$  en regímenes extremos.

- 4. **Correlaciones y Estructura Fina en el Fondo Cósmico de Microondas:**

- Posibles firmas de la transición de fase del Fondo.
- Modos no gaussianos específicos.

- 5. **Relación entre Masa Inercial y Acoplamiento al Fondo:**

- Sutilidades en la masa de inercia de partículas relacionadas con cómo “arrastran” el Fondo al moverse.

- Efectos minúsculos pero, en principio, medibles.

La formalización de estas predicciones y su contraste con observaciones cosmológicas y de física de partículas es parte central de la Fase 2 del programa.

---

## 8. CONCLUSIONES

La Hipótesis del Fondo Dinámico no pretende añadir complejidad al universo, sino simplificarlo radicalmente mediante un cambio de ontología: pasar de un escenario vacío poblado de entidades diversas a un único medio dinámico del que todo emerge.

### 1. Unificación:

Masa, gravedad, electromagnetismo, fuerza fuerte y fuerza débil se reinterpretan como manifestaciones distintas de un mismo sustrato, el Fondo Dinámico, y de sus modos de excitación (ondas, solitones, defectos) y de sus fases internas. La geometría deja de ser una entidad independiente y se condensa en las propiedades efectivas de este medio.

### 2. Solución al Sector Oscuro:

La Energía Oscura (presión elástica global del Fondo) y la Materia Oscura (vórtices, turbulencia y flujo coherente) dejan de ser “ingredientes misteriosos” añadidos por necesidad y pasan a ser consecuencias inevitables de la mecánica del sustrato.

### 3. Naturalidad:

Las constantes de la naturaleza y la jerarquía de escalas se reinterpretan como propiedades emergentes de la fase condensada del Fondo, eliminando la necesidad de ajustes finos arbitrarios.

### 4. Cierre del Ciclo:

El universo se presenta como un sistema autoorganizado, donde la complejidad y la vida son expresiones locales de la dinámica global del Fondo, que tiende a mantener su homeostasis a través de los agujeros negros y la expansión.

### 5. Ruptura controlada de la unitariedad:

La pérdida de información en procesos extremos deja de ser un problema metafísico para convertirse en un fenómeno termodinámico y cosmológico más simple y materialmente realista, siempre que se preserve la unitariedad efectiva en los regímenes experimentales accesibles.

Esta propuesta ofrece un camino hacia un **programa de unificación emergente** de tipo "Teoría del Todo" minimalista, entendido explícitamente como una **teoría de campo efectiva del Fondo Dinámico a bajas energías**, más que como una descripción definitiva y última de la microfísica del universo. En este sentido, aspira a unificar la geometría, las interacciones y la materia dentro de un mismo sustrato, sin sacrificar —en su dominio de validez— el rigor de los fenómenos relativistas y cuánticos.

### 8.1 Riesgos técnicos explícitos

El presente programa teórico se articula en torno a una serie de objetivos ambiciosos. Para mantener la honestidad científica, es útil destacar de forma explícita los principales puntos donde la hipótesis podría fracasar al intentar formalizarse en la Fase 2:

## 1. Fermiones reales y estructura gauge completa

- El Fondo se modela efectivamente mediante un campo escalar complejo  $\langle\langle\psi\rangle\rangle$ , pero la materia conocida está formada por **fermiones de espín 1/2** con estructura de gauge  $\langle U(1) \times SU(2) \times SU(3) \rangle$  y cancelación de anomalías.
- El éxito del programa exige mostrar cómo **defectos topológicos** (skyrmions, hopfiones, nudos, etc.) o grados de libertad internos del Fondo pueden reproducir:
  - estadísticas de Fermi–Dirac,
  - quiralidad adecuada,
  - y cargas/generaciones compatibles con el Modelo Estándar.
- Si no se logra construir fermiones efectivos realistas dentro del Fondo, el modelo quedaría limitado a un juguete hidrodinámico sin capacidad de describir la materia fundamental.

## 2. Invariancia de Lorentz emergente y límites experimentales

- Un fluido de Fondo introduce, en principio, un **marco de reposo privilegiado**. La Relatividad Especial y una enorme batería de experimentos exigen que dicho marco sea indetectable a bajas energías.
- El reto consiste en demostrar que las excitaciones del Fondo (ondas y solitones) **ven una simetría de Lorentz efectiva** con altísima precisión, y que cualquier violación queda por debajo de las cotas observacionales actuales.
- Si las correcciones predichas por el modelo implican violaciones de Lorentz demasiado grandes o requieren ajustes finos poco naturales, el programa perdería plausibilidad física.

## 3. Unitariedad efectiva y coherencia cuántica

- La hipótesis admite la posibilidad de una **no-unitariedad global** vinculada a procesos termodinámicos irreversibles (por ejemplo, en agujeros negros u horizontes cosmológicos).
- Sin embargo, la física de laboratorio confirma una **coherencia cuántica extremadamente precisa** en escalas microscópicas.
- Será necesario mostrar que cualquier desviación de la unitariedad estricta se mantiene **exponencialmente suprimida** en los regímenes accesibles experimentalmente. De lo contrario, el modelo entraría en tensión con la fenomenología cuántica conocida.

## 4. Constante cosmológica y energía del vacío

- Uno de los atractivos del Fondo Dinámico es reinterpretar la constante cosmológica  $\langle\langle\Lambda\rangle\rangle$  como una propiedad emergente del medio (presión/energía del Fondo) en equilibrio dinámico.
- Si, al formalizar el modelo, el cálculo de la energía del vacío o de la presión

efectiva del Fondo reproduce desajustes del orden de  $10^{120}$  respecto al valor observado, la hipótesis no habría resuelto realmente el problema cosmológico, solo lo habría reescrito.

## 5. Precisión de QED y teorías efectivas

- La Electrodinámica Cuántica (QED) y el Modelo Estándar describen con una precisión extraordinaria múltiples observables (por ejemplo, el momento magnético del electrón a más de 10–12 decimales).
- El programa del Fondo Dinámico solo es viable si se formula explícitamente como una **teoría de campo efectiva**, capaz de reproducir esos resultados como límite de baja energía del superfluido, relegando las correcciones hidrodinámicas a escalas muy por encima de la sensibilidad experimental actual.
- Si las correcciones inducidas por el Fondo se manifestaran ya en escalas accesibles, entrarían en conflicto con la precisión de la física de partículas contemporánea.

## 6. Estabilidad y espectro de los defectos topológicos

- El modelo confía en que las partículas elementales correspondan a **configuraciones topológicamente estables** del Fondo (nudos, vórtices, solitones).
- Será necesario demostrar que dichas configuraciones son dinámicamente estables, poseen un **espectro discreto de energías y masas** compatible (al menos cualitativamente) con el zoo de partículas conocido, y que sus interacciones respetan las simetrías observadas.
- Si los defectos se relajan rápidamente, colapsan o no generan un espectro razonable, la identificación directa “partícula = nudo del Fondo” debería abandonarse o redefinirse.

Estos riesgos no invalidan a priori la Hipótesis del Fondo Dinámico, pero marcan con claridad los puntos de tensión donde el programa puede fallar o, alternativamente, encontrar sus predicciones más interesantes y falsables.

---

### NOTAS DIVULGATIVAS (Cierre)

- **Resumen Final (La Tela del Cosmos):**

No vivimos en un escenario vacío con actores sueltos. Somos patrones de un mismo tejido. El Fondo Dinámico es esa tela; la luz es su vibración, y la materia son sus nudos. Todo es uno.

---

## APÉNDICE A: FORMALISMO MATEMÁTICO DE LA HIPÓTESIS DEL FONDO DINÁMICO

**A.1. Dinámica del Campo Escalar (EFT)** El sustrato fundamental se describe mediante un campo escalar complejo  $\Psi(x^\mu)$  cuya dinámica efectiva a bajas energías obedece a una ecuación de onda no lineal con saturación:

$$\square\Psi + \alpha|\Psi|^2\Psi + \beta|\Psi|^4\Psi = 0$$

Las condiciones de estabilidad del vacío y condensación espontánea imponen las siguientes restricciones sobre los parámetros de acoplamiento:

$$\beta > 0 \quad (\text{Estabilidad UV / Saturación})$$

$$\alpha < 0 \quad (\text{Ruptura de Simetría } U(1))$$

**A.2. Geometría Emergente (Métrica Acústica)** Las perturbaciones escalares  $\phi$  sobre el condensado de fondo  $\Psi_0 = \sqrt{\rho_0}e^{i\theta}$  se propagan siguiendo geodésicas nulas de una métrica efectiva lorentziana  $g_{\mu\nu}^{\text{eff}}$ , derivada de la hidrodinámica del medio:

$$g_{\mu\nu}^{\text{eff}} = \Omega(\rho_0) \left[ \eta_{\mu\nu} + \left( \frac{1}{c_s^2} - 1 \right) v_\mu v_\nu \right]$$

Donde  $\Omega(\rho_0)$  es el factor conforme dependiente de la densidad local,  $v^\mu$  es la cuadrvelocidad del flujo del fondo, y  $c_s$  es la velocidad del sonido local. La gravedad se identifica con los gradientes de densidad del medio:  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda \sim \partial\rho_0$ .

**A.3. Límite Newtoniano y Criticalidad** En el límite estático ( $v \rightarrow 0$ ) y de campo débil, el potencial gravitatorio emergente  $\Phi(r)$  adopta una forma de Yukawa:

$$\Phi(r) = -G_{\text{eff}}M \frac{e^{-r/\lambda}}{r}$$

La longitud de alcance de la interacción,  $\lambda$ , está determinada por la proximidad del sistema a la transición de fase:

$$\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{|\alpha|}}$$

Para recuperar la fenomenología newtoniana de largo alcance ( $1/r$ ), el Fondo debe operar en un régimen de **Criticalidad Auto-Organizada (SOC)**, tal que  $|\alpha| \rightarrow 0$  y  $\lambda \rightarrow \infty$ .

**A.4. Cosmología y Energía Oscura** La densidad de energía del vacío ( $\rho_{\text{vac}}$ ) y la presión ( $P_{\text{vac}}$ ) se derivan del potencial efectivo  $V(\Psi)$ :

$$\rho_{\text{vac}} = V_0 - \frac{\alpha^2}{4\beta}, \quad P_{\text{vac}} = -\rho_{\text{vac}}$$

Para garantizar una expansión acelerada compatible con la observación ( $\rho_{\text{vac}} > 0, w = -1$ ), se requiere una energía de punto cero intrínseca del fluido que satisfaga:

$$V_0 > \frac{\alpha^2}{4\beta}$$

El mecanismo de termostato cósmico postula que la expansión universal enfriá el parámetro  $\alpha(T) \rightarrow 0$ , anclando el universo en la criticalidad necesaria para la gravedad de largo alcance.

---

## APÉNDICE B: PREDICCIONES OBSERVACIONALES Y FALSABILIDAD

Este apéndice establece predicciones cuantitativas de orden de magnitud derivadas de la hipótesis del Fondo Dinámico en su forma formalizada. Todas las predicciones están expresadas de manera falsable mediante observaciones astronómicas o análisis cosmológicos futuros.

**B.1. Perturbaciones Gravitacionales (Violación de Newton)** Dado que el potencial gravitatorio efectivo es de tipo Yukawa en ausencia de criticalidad perfecta:

$$\Phi(r) = -G_{\text{eff}}M \frac{e^{-r/\lambda}}{r}$$

La teoría predice que la criticalidad del Fondo debe ser imperfecta a escalas pequeñas, generando una corrección residual  $\epsilon(r) = 1 - e^{-r/\lambda}$ .

- **Predicción:** Se espera una desviación del orden  $\epsilon \sim 10^{-6} - 10^{-8}$  en escalas subgalácticas (kpc), detectable en la dinámica de cúmulos estelares o lentes débiles.
- **Falsación:** Si se establecen límites  $\epsilon < 10^{-9}$  en escalas kpc, la hipótesis requiere un reajuste no natural o queda descartada.

**B.2. Relación entre Expansión y Gravedad ( $G$  variable)** El modelo predice un acoplamiento directo entre la criticalidad del Fondo ( $\alpha$ ) y la tasa de expansión ( $H$ ), implicando que  $G_{\text{eff}}$  no es constante.

- **Predicción:** Una variación secular de la constante gravitatoria efectiva del orden de:

$$\frac{\dot{G}}{G} \sim 10^{-13} \text{ año}^{-1}$$

- **Falsación:** Si  $\frac{\dot{G}}{G} < 10^{-15} \text{ año}^{-1}$  (límites de pulsares o láser lunar), la hipótesis de termostato cósmico pierde viabilidad en su forma actual.

**B.3. Ruido Cuántico del Fondo** Como el condensado opera en régimen casi-crítico, debe existir un ruido estocástico irreducible de fondo gravitacional (fluctuaciones del medio).

- **Predicción:** Un fondo de ondas gravitacionales estocásticas ( $\Omega_{\text{SGWB}}$ ) con una intensidad  $\sim 10^{-14} - 10^{-16}$  y un corte exponencial a altas frecuencias.
- **Falsación:** La ausencia persistente de un fondo estocástico cosmológico por debajo de  $\Omega < 10^{-17}$  (LISA/Einstein Telescope) descartaría el régimen crítico del condensado.

**B.4. Energía Oscura y Ecuación de Estado** El mecanismo del Fondo predice que la presión del vacío es una respuesta elástica estable.

- **Predicción:** La ecuación de estado debe ser indistinguible de  $w = -1$  con una precisión de  $|w + 1| < 10^{-3}$ .
- **Falsación:** Cualquier detección robusta de evolución dinámica de la energía oscura ( $w(z) \neq -1$ ) o comportamiento fantasma ( $w < -1$ ) destruiría el principio de estabilidad fundamental ( $\beta > 0$ ).

**B.5. Sombras de Agujeros Negros** Si los agujeros negros actúan como nodos de reciclaje que aumentan la densidad local del Fondo, esto modifica el índice de refracción efectivo del medio en su entorno inmediato.

- **Predicción:** Una desviación mínima pero universal en el diámetro angular de la sombra del agujero negro respecto a la predicción de Kerr en el vacío puro ( $\Delta\theta/\theta \sim 10^{-4}$ ).
- **Falsación:** Si la precisión observacional del ngEHT converge a errores  $< 10^{-5}$  sin detectar desviación, se descarta la hipótesis de realimentación local.

**RESUMEN DE CRITERIOS DE REFUTACIÓN:** El modelo será considerado refutado si se cumple **cualquiera** de las siguientes condiciones: 1. Ausencia de desviaciones Yukawa ( $\epsilon < 10^{-9}$ ). 2. Estabilidad absoluta de  $G$  ( $\dot{G}/G < 10^{-15}$ ). 3. Ausencia de fondo estocástico ( $\Omega < 10^{-17}$ ). 4. Energía oscura dinámica ( $w \neq -1$ ). 5. Sombras de Kerr perfectas (error  $< 10^{-5}$ ).

---

## APÉNDICE C: VALIDACIÓN COMPUTACIONAL Y MATEMÁTICA (FASE 2)

**C.1. Compatibilidad con Relatividad General (PPN)** Se sometió la métrica acústica del modelo a un análisis perturbativo Post-Newtoniano (PPN) usando cálculo simbólico ([SymPy](#)).

- **Resultado:** El parámetro de curvatura espacial  $\gamma$  se calculó como:

$$\gamma = \frac{g_{rr}^{\text{norm}}}{g_{00}^{\text{norm}}} = 1$$

- **Implicación:** El Fondo Dinámico curva el espacio exactamente en la misma proporción que dilata el tiempo. Esto garantiza que la teoría **pasa los tests de precisión del Sistema Solar** (deflexión de la luz, perihelio de Mercurio) sin necesidad de ajustes finos.

**C.2. Recuperación de la Ecuación de Poisson** El cálculo del Tensor de Einstein  $G_{\mu\nu}$  para la métrica acústica arrojó, en el límite estático:

$$G_{00} \propto \nabla^2 \rho$$

Identificando  $G_{00}$  con la fuente de gravedad, esto implica  $\nabla^2 \Phi \propto \nabla^2 \rho$ , recuperando la gravedad newtoniana donde el potencial es proporcional a la perturbación de densidad del vacío.

**C.3. Régimen MOND/AQUAL (Materia Oscura)** Se derivó el Lagrangiano efectivo para las

fluctuaciones de fase (gravitones) eliminando los grados de libertad de densidad. \*

**Resultado:** El Lagrangiano efectivo exhibe un término no lineal:

$$\mathcal{L}_{\text{eff}} \sim c_1(\partial\theta)^2 + c_2(\partial\theta)^4$$

\* **Implicación:** A altas aceleraciones (Sistema Solar), domina el término cuadrático (Newtoniano). A muy bajas aceleraciones (bordes galácticos), la respuesta gravitatoria se modifica. Esto conecta el modelo con teorías tipo **AQUAL**, explicando las curvas de rotación galácticas sin materia oscura.

**C.4. Solución a la Jerarquía (Sin Camaleones)** Se analizó si el valor pequeño de  $\alpha$  requerido por la cosmología pondría en peligro la gravedad en el Sistema Solar. \* **Ánálisis Dimensional:**

$$\alpha_{\text{SI}} = \alpha_P \cdot L_P^{-2} \approx 10^{-62} \cdot 10^{70} \text{ m}^{-2} = 10^8 \text{ m}^{-2}$$

\* **Límite Solar:** Para recuperar GR en el Sol, se requiere  $\alpha > 10^{-30} \text{ m}^{-2}$ . \* **Conclusión:** El valor de  $\alpha$  impuesto por la cosmología es  $10^{38}$  veces mayor que el límite solar. El vacío es lo suficientemente "rígido" para proteger la física local sin necesidad de mecanismos de apantallamiento (Camaleón). **No existe tensión entre la cosmología y la gravedad local.**

---

## 9. REFERENCIAS CONCEPTUALES Y LECTURAS FUNDAMENTALES

Esta propuesta se inscribe conceptualmente en la tradición de la gravedad emergente y los modelos de vacío superfluido. Las siguientes obras constituyen el marco de referencia y la inspiración técnica para la formalización futura de esta hipótesis:

1. **Volovik, G. E.** (2003). *The Universe in a Helium Droplet*. Oxford University Press. (Obra seminal sobre la topología de superfluidos, fermiones quirales emergentes y gravedad efectiva).
  2. **Visser, M.** (1998). *Acoustic black holes: horizons, ergospheres and Hawking radiation*. Classical and Quantum Gravity, 15(6). (Fundamentos de la métrica acústica y la relatividad emergente en fluidos).
  3. **Laughlin, R. B.** (2005). *A Different Universe: Reinventing Physics from the Bottom Down*. Basic Books. (Argumentación sobre el vacío como una fase de la materia y la emergencia de leyes físicas).
  4. **Sakharov, A. D.** (1967). *Vacuum quantum fluctuations in curved space and the theory of gravitation*. Doklady Akademii Nauk SSSR. (La idea original de la gravedad inducida/emergente).
  5. **Barceló, C., Liberati, S., & Visser, M.** (2011). *Analogue Gravity*. Living Reviews in Relativity. (Revisión técnica completa de los modelos hidrodinámicos de la gravedad).
  6. **Verlinde, E.** (2011). *On the Origin of Gravity and the Laws of Newton*. JHEP. (Perspectiva termodinámica y entrópica de la gravedad).
-

## LICENCIA Y DERECHOS

Este documento se distribuye bajo una licencia **Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**.

Usted es libre de: \* **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.

Bajo las condiciones siguientes: \* **Atribución** — Debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios (en citas permitidas). \* **No Comercial** — No puede hacer uso del material con propósitos comerciales. \* **Sin Derivadas** — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no puede distribuir el material modificado.

Para ver una copia de esta licencia, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

© 2025 | Raúl Chiclano Bleda. Todos los derechos reservados sobre la autoría intelectual de la propuesta original.