

# Teoría de Resurgencia de la Materia y su Ecuación Fundamental para la Generación de Energía Negativa

Por Helian Leigon



2026

La Materia no se crea ni se destruye solo se transforma y

La Materia se Transfiere, se Crea y Resurge a partir de la 5ta Dimensión.

## Ecuación de Resurgencia de la Materia — ERM

### Fórmula I: Densidad sub-vacío local y tensión gravitacional activa

La **Ecuación de Resurgencia de la Materia** ERM propone un marco efectivo en el que la materia observable se interpreta como una manifestación local de un sistema físico más amplio, acoplado a un sector de resurgencia  $\Omega$ . En este marco, la creación y destrucción aparente de materia en cuatro dimensiones no se entiende como violación de conservación, sino como transferencia entre sectores dinámicos, con conservación total de energía, momento e información. La ERM introduce un campo  $\Omega$ , una dimensión efectiva de resurgencia y un ciclo de transformación entre materia ordinaria, estados ocultos y configuraciones del vacío.

La primera fórmula de la teoría define la generación controlada de regiones locales de energía sub-vacío y su extensión gravitacional mediante tensiones activas. La ecuación no propone energía libre ni extracción ilimitada del vacío; describe una densidad local renormalizada del tensor energía-momento, limitada por desigualdades cuánticas y compensada por energía positiva. Su importancia reside en que convierte la noción de “energía negativa” en una magnitud física regulada, asociada a estados cuánticos no clásicos y al tensor completo  $T_{\mu\nu}$ , no solamente a la componente  $T_{00}$ .

---

## 1. Introducción

La física moderna ha mostrado que el vacío no es una ausencia absoluta. En teoría cuántica de campos, incluso el estado fundamental posee fluctuaciones, correlaciones y estructura. Bajo ciertas condiciones, algunos estados pueden presentar densidades locales de energía menores que las del vacío de referencia. Estos fenómenos no son meramente especulativos: el efecto Casimir demuestra que las condiciones de frontera pueden modificar la energía del vacío y producir fuerzas medibles entre superficies; Lamoreaux midió experimentalmente esta fuerza en el rango micrométrico con acuerdo con la teoría a nivel porcentual.



La ERM toma este hecho como punto de partida, pero no identifica la energía sub-vacío con una fuente ilimitada de trabajo. Al contrario, incorpora desde su primera ecuación las restricciones de la teoría cuántica de campos: las llamadas desigualdades cuánticas limitan la magnitud y duración de regiones con energía negativa. Ford y Roman desarrollaron este tipo de restricciones, mostrando que la energía negativa puede existir localmente, pero no acumularse arbitrariamente durante tiempos largos.

En relatividad general, además, la geometría no responde solamente a la densidad de energía  $\rho$ , sino al tensor energía-momento completo. Las presiones, tensiones y flujos también gravitan. Por ello, la ERM distingue entre dos cantidades: la **densidad sub-vacío local**, de origen cuántico, y la **densidad gravitacional activa**, que incluye las tensiones del sector  $\Omega$ . Esta distinción es esencial para cualquier aplicación a curvatura espacial, control gravitatorio o geometrías tipo cáscara.

### **LA MATERIA NO ES UN BLOQUE, ES UNA OLA**

Durante siglos pensamos que la materia era como un bloque de madera: sólida, fija, que está ahí y no cambia. Pero la física cuántica nos enseñó que la materia es más como una **ola en el océano**: aparece, se mueve, se desvanece y puede reaparecer en otro lugar.

La **Ecuación de Resurgencia de la Materia** va un paso más allá. Dice que la materia no solo se transforma (como decía Einstein), sino que puede desaparecer de nuestro universo y volver a aparecer en otro lugar, en otra forma. Ese "otro lugar" es la quinta dimensión, un espacio oculto que está justo al lado del nuestro, como la cara oculta de una moneda.

Imagina que nuestro universo es como una pantalla de cine. Todo lo que vemos (estrellas, planetas, personas) son imágenes proyectadas en esa pantalla. Pero las imágenes no surgen de la nada; vienen de un proyector que está detrás de la pantalla.

Ese proyector es la quinta dimensión. No la vemos directamente, pero es el lugar donde se genera todo lo que aparece en nuestra pantalla. Las imágenes (la materia) se crean en el proyector, viajan a la pantalla (nuestro universo), y cuando la película termina, vuelven al proyector para transformarse y volver a aparecer.

**La Ecuación de Resurgencia de la Materia** dice que la materia no es estática: está en un ciclo constante de creación, destrucción y resurrección entre nuestro universo y la quinta dimensión.

#### **1. Creación**

En la quinta dimensión, el campo de resurgencia (que llamamos  $\Omega$ ) vibra de cierta manera. Esa vibración produce una "chispa" que da origen a partículas de materia. Esas partículas aparecen en nuestro universo como electrones, quarks, fotones, etc. Es como si el proyector encendiera su luz y apareciera una imagen en la pantalla. La materia se crea en la quinta dimensión y emerge en la nuestra.



## 2. Destrucción

Pero la materia no dura para siempre. Cuando las partículas interactúan entre sí (por ejemplo, cuando un electrón y un positrón se aniquilan), no desaparecen en la nada. En realidad, regresan a la quinta dimensión. Su energía y su información vuelven al campo de resurgencia, donde se "almacenan" hasta el próximo ciclo. Es como si la imagen de la pantalla se apagara y volviera al proyector. La materia se destruye en nuestro universo, pero no se pierde; vuelve a su fuente.

## 3. Resurgencia

Lo más fascinante viene después. La materia que regresa a la quinta dimensión no se queda quieta. Se transforma. Puede cambiar de forma, de masa, de propiedades. Luego, vuelve a ser proyectada en nuestro universo como una partícula diferente. Un electrón podría resurgir como un quark, o como una partícula de materia oscura.

Es como si el proyector tomara la imagen que ha vuelto y la modificara: cambia el color, el tamaño, la forma. Luego la proyecta de nuevo, y en la pantalla aparece algo nuevo. La materia resurge en una nueva forma.

## ¿CÓMO SABEMOS QUE ESTO PASA?

Aunque no vemos la quinta dimensión directamente, la **Ecuación de Resurgencia de la Materia** nos da pistas de su existencia a través de los efectos que produce en nuestro universo:

- **La energía negativa:** Cuando la materia se destruye en la quinta dimensión, libera una energía especial que llamamos "energía negativa". Esa energía se manifiesta en nuestro universo como una fuerza que empuja en lugar de atraer. Es la energía que podría alimentar un motor warp.
- **La masa de las partículas:** La masa de un electrón o de un quark no es fija. Depende de la "altura" en la que se encuentra dentro de la quinta dimensión. Las partículas que están más cerca del "suelo" de la quinta dimensión pesan poco (como el electrón); las que están en el "ático" pesan mucho (como el quark top).
- **La unificación de las fuerzas:** Las cuatro fuerzas que conocemos (gravedad, electromagnetismo, nuclear fuerte y débil) son en realidad manifestaciones diferentes de una única interacción que ocurre en la quinta dimensión. Es como si las sombras en la pared de una cueva fueran diferentes formas del mismo objeto que está detrás.

Desde los trabajos de Kaluza y Klein, la idea de dimensiones extras ha cautivado a la física teórica como una vía para unificar la gravedad con el electromagnetismo. Los modelos de branas de Randall y Sundrum demostraron que la jerarquía de masas podría explicarse mediante una quinta dimensión warped, pero sin resolver el origen de los acoplamientos de Yukawa ni la generación de energía negativa.



Simultáneamente, el Modelo Estándar de partículas, aunque extraordinariamente exitoso, deja abiertas preguntas fundamentales: ¿por qué tres familias de fermiones?, ¿por qué sus masas siguen una jerarquía tan pronunciada?, ¿cómo se unifican las fuerzas a altas energías?, y ¿qué es la materia oscura? La supersimetría y las teorías de cuerdas han intentado responder a estas preguntas, pero sin evidencia experimental directa.

La ERM surge como una alternativa basada en la interacción entre una quinta dimensión y el campo de resurgencia  $\Omega$ , un campo escalar que media la creación y destrucción de materia.

## IMPLICACIONES PARA NUESTRA VIDA

### 1. La energía

Si podemos aprender a "capturar" la energía negativa que se libera cuando la materia resurge, tendríamos una fuente de energía limpia, poderosa y sin contaminación. Podríamos alimentar ciudades, naves espaciales y tal vez algún día viajar a otras estrellas.

### 2. La materia oscura es materia "en tránsito"

La misteriosa materia oscura que los astrónomos ven pero no entienden podría ser precisamente materia que está en medio del ciclo: ha salido de nuestro universo pero aún no ha resurgido. Está en la "sala de espera" de la quinta dimensión.

### 3. El universo es cíclico

El ciclo de creación, destrucción y resurgencia no es solo para partículas pequeñas. Podría aplicarse a todo el universo: el Big Bang fue una resurrección masiva de materia desde la quinta dimensión, y el Big Crunch (si ocurre) sería su retorno para un nuevo ciclo.

I.	$\bar{\rho}_{\text{QFT}} \left( \begin{array}{c} - \\ - \end{array} \right)$	$= -\min \left[ \rho_{-}^{\text{raw}}, C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4}, \frac{E_{+}^{\text{comp}}}{V_{\ell}} \right],$
	$\rho_{\text{act}}$	$= \rho_{\Omega} + \frac{p_r + p_{\theta} + p_{\phi}}{c^2} + \bar{\rho}_{\text{QFT}} \left( \begin{array}{c} - \\ - \end{array} \right),$
II.	$(M_f)_{ij}$	$= \frac{v}{\sqrt{2}} \int_0^{L_{\Omega}} dz e^{-4A} \hat{\lambda}_{f,ij} h f_{L_i}^{(0)} f_{R_j}^{(0)} F_{\Omega},$
	$m_{\chi_n}^2$	$= M_{\chi}^2 + y_{\chi}^2 v_{\Omega}^2 + \frac{\lambda_n}{R_{\Omega}^2} + \Delta m_{\chi_n}^2,$
III.	$\alpha_i^{-1}(\mu)$	$= \alpha_U^{-1} + \frac{b_i^{\text{SM}}}{2\pi} \ln \left( \frac{M_U}{\mu} \right) + \Delta_i^{2L} + \Delta_i^{\text{th}} + \Delta_i^{\Omega\text{-GUT}} + \Delta_i^{\rho} + \Delta_i^X + \Delta_i^{KK},$
IV.	$S_{\text{ERM}}$	$= \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{M_{\text{Pl}}^2}{2} F_{\Omega} R - \Lambda + \mathcal{L}_{\text{gauge}}^{\text{SO}(10)} + \mathcal{L}_{\text{matter}} + \mathcal{L}_{\Omega\text{-solid}} + \mathcal{L}_{\chi} + \mathcal{L}_{\text{EFT}}^{(5,6)} \right],$
V.	$\partial_{\tau} \rho$	$= -i[H_{\text{ERM}}, \rho] + \sum_{\alpha} \left[ L_{\alpha} \rho L_{\alpha}^{\dagger} - \frac{1}{2} \{L_{\alpha}^{\dagger} L_{\alpha}, \rho\} \right] - \partial_z J_{\rho}.$

Estas 5 formulas representan a la Teoría de Resurgencia de la Materia



## 2. Primera fórmula de la ERM

La Fórmula I se expresa en dos niveles complementarios.

Primero, la componente sub-vacío local:

$$\bar{\rho}_{\text{QFT}}^{(-)}(x; \tau, \ell) = -\min \left[ \rho_-^{\text{raw}}(x; \tau, \ell), C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4}, \frac{E_+^{\text{comp}}}{V_\ell} \right]$$

donde:

$$\rho_-^{\text{raw}}(x; \tau, \ell) = \max \left[ 0, -\langle \Psi | : T_{00}^{\text{EM}}(x) + T_{00}^{\Omega}(x) + T_{00}^{\text{int}}(x) : | \Psi \rangle_{\tau, \ell} \right]$$

Segundo, la densidad gravitacional activa:

$$\rho_{\text{act}} = \rho_{\Omega} + \frac{p_r + p_\theta + p_\phi}{c^2} + \bar{\rho}_{\text{QFT}}^{(-)}$$

donde:

$$p_i = -w_i \rho_{\Omega} c^2$$

y por tanto:

$$\rho_{\text{act}} = \rho_{\Omega} [1 - (w_r + w_\theta + w_\phi)] + \bar{\rho}_{\text{QFT}}^{(-)}$$

La condición para obtener densidad gravitacional activa negativa es:

$$w_r + w_\theta + w_\phi > 1$$

En un ejemplo isotrópico-tensional mínimo:

$$w_r = w_\theta = w_\phi = 0.45$$

entonces:

$$\rho_{\text{act}} = -0.35 \rho_{\Omega} + \bar{\rho}_{\text{QFT}}^{(-)}$$

Esta es la idea central: la ERM no requiere que toda la energía local sea negativa. Puede bastar que el tensor completo produzca una contribución gravitacional activa negativa.



### 3. Significado físico de cada término

La cantidad  $\bar{\rho}_{\text{QFT}}(-)$  representa una región donde el valor esperado renormalizado de la densidad de energía cae por debajo del vacío de referencia. El símbolo  $T_{00}$  indica normalización respecto al vacío, es decir, se resta la contribución base del estado fundamental. Esto evita hablar de una “energía absoluta negativa” y sitúa la teoría dentro del lenguaje habitual de la teoría cuántica de campos.

El término:

$$C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4}$$

representa el límite impuesto por desigualdades cuánticas. Cuanto menor es el tiempo de muestreo  $\tau$ , mayor puede ser la magnitud negativa permitida; cuanto más tiempo se intenta sostener una región sub-vacío, menor debe ser su intensidad. Esta relación inversa entre magnitud y duración es una de las restricciones más importantes sobre energía negativa en QFT.

El término:

$$\frac{E_+^{\text{comp}}}{V_\ell}$$

impone compensación positiva. En otras palabras, una región sub-vacío no aparece como ganancia neta gratuita. Requiere una región positiva asociada, energía de bombeo, correlaciones consumidas o trabajo externo.

La densidad  $\rho_\Omega$  corresponde a la energía positiva del medio de resurgencia. Las presiones  $p_r, p_\theta, p_\phi$  describen tensiones radiales y tangenciales. Si estas tensiones son suficientemente negativas, pueden hacer que:

$$\rho_{\text{act}} < 0$$

aunque:

$$\rho_\Omega > 0$$

Esto es físicamente relevante porque en relatividad general la fuente de curvatura no es solo la masa-energía, sino el tensor completo  $T_{\mu\nu}$ .



#### 4. Forma geométrica de la Fórmula I

En aplicaciones donde existe una región de espesor característico  $\delta$ , el tiempo de muestreo natural es:

$$\tau \sim \frac{\delta}{c}$$

Por tanto:

$$|\bar{\rho}_{\text{QFT}}| \leq C_{\text{QI}} \frac{\hbar c}{\delta^4}$$

Esta forma permite conectar la ERM con cavidades, paredes de campo, geometrías de cáscara y regiones de curvatura localizada.

La ecuación de Einstein semiclásica asociada se escribe:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} \langle T_{\mu\nu}^{\text{total}} \rangle_{\text{ren}}$$

con:

$$T_{\mu\nu}^{\text{total}} = T_{\mu\nu}^{\text{EM}} + T_{\mu\nu}^{\Omega} + T_{\mu\nu}^{\text{int}} + T_{\mu\nu}^{\text{comp}}$$

La Fórmula I define, por tanto, una fuente física candidata para geometrías en las que la curvatura depende de una combinación de energía, presión y tensión.

---

#### 5. Soporte teórico y experimental

##### 5.1. Efecto Casimir

El efecto Casimir muestra que la energía del vacío puede modificarse mediante condiciones de frontera. No implica extracción ilimitada de energía, pero sí demuestra que el vacío cuántico posee una estructura física medible. La medición de Lamoreaux constituye un soporte experimental directo para la existencia de tensiones de vacío inducidas por geometría.

La presión ideal de Casimir entre placas paralelas perfectas se expresa como:

$$P_C = -\frac{\pi^2 \hbar c}{240 a^4}$$

donde  $a$  es la separación entre placas. La dependencia  $a^{-4}$  muestra cómo las escalas pequeñas amplifican efectos del vacío.



## 5.2. Estados comprimidos

Los estados comprimidos reducen las fluctuaciones de una cuadratura del campo a costa de aumentar la conjugada. En teoría cuántica, estos estados pueden producir fenómenos sub-vacío. También se han usado de forma práctica para reducir ruido cuántico en detectores de ondas gravitacionales como LIGO, lo cual demuestra el control experimental de fluctuaciones cuánticas por debajo del límite estándar en contextos reales.

La ERM toma este tipo de control cuántico como un antecedente técnico para preparar estados  $|\Psi\rangle$  con contribuciones locales a  $\langle T_{00} \rangle$  menores que las del vacío de referencia.

## 5.3. Desigualdades cuánticas

Las desigualdades cuánticas son el principal límite a cualquier teoría que intente usar energía negativa. Pfenning y Ford aplicaron estas restricciones a geometrías tipo Alcubierre y encontraron límites extremadamente severos sobre el espesor y la cantidad de energía negativa necesaria para sostener una burbuja warp convencional.

Por esta razón, la ERM no identifica su primera fórmula con una fuente macroscópica libre de energía negativa. La energía sub-vacío de QFT funciona como componente limitada; la contribución gravitacional principal puede provenir de tensiones del sector  $\Omega$ .

## 5.4. Teleportación cuántica de energía

La teleportación cuántica de energía —QET— demuestra que las correlaciones cuánticas pueden emplearse para redistribuir energía entre regiones mediante medición local, comunicación clásica y operaciones condicionadas. Ikeda reportó la realización de QET en hardware cuántico superconductor, mostrando que este tipo de protocolo puede implementarse en sistemas físicos.

La ERM interpreta QET como herramienta de redistribución energética, no como mecanismo de energía neta libre.

---

## 6. Comparación con trabajos relacionados

La ERM se distingue de la métrica de Alcubierre en que no empieza postulando una geometría y deduciendo una fuente exótica; empieza definiendo una fuente tensorial efectiva. La métrica de Alcubierre muestra que una burbuja warp puede escribirse dentro de relatividad general, pero exige una distribución de energía negativa que la teoría original no genera físicamente.

Pfenning y Ford mostraron que las restricciones cuánticas hacen muy difícil sostener una región negativa macroscópica tipo warp. La ERM responde a este obstáculo evitando depender exclusivamente de  $\bar{\rho}_{\text{QFT}}$  y desplazando el papel principal hacia  $\rho_{\text{act}}$ , donde las tensiones del sector  $\Omega$  contribuyen a la curvatura.

Bobrick y Martire propusieron una clasificación más amplia de warp drives físicos, incluyendo configuraciones subluminales con energía positiva en forma de cáscaras materiales. Su



conclusión conceptual es importante para la ERM: una burbuja de curvatura debe tratarse como una estructura física con energía, momento y propulsión, no como una geometría mágica aislada.

Van den Broeck mostró que una modificación geométrica puede reducir drásticamente los requisitos energéticos de una burbuja tipo warp mediante una geometría de bolsillo, con volumen interno grande y superficie externa reducida. Este tipo de idea es compatible con la interpretación de la ERM como teoría de cáscaras tensoriales y regiones efectivas de curvatura.

## 7. Implicaciones de la Fórmula I

### 7.1. Implicación para el vacío

La Fórmula I establece que el vacío no debe tratarse como un fondo pasivo, sino como un estado físico con estructura, restricciones y capacidad de reorganización local. La ERM no propone “extraer” energía ilimitada del vacío, sino modificar localmente el valor esperado del tensor energía-momento mediante estados preparados, fronteras, correlaciones y el sector  $\Omega$ .

### 7.2. Implicación para la gravedad

La cantidad gravitacionalmente relevante no es solamente:

$$\rho$$

sino:

$$\rho + \frac{p_r + p_\theta + p_\phi}{c^2}$$

Esto abre la puerta a estudiar configuraciones donde la energía local sea positiva, pero la contribución activa a la curvatura sea negativa debido a tensiones. En cosmología, la presión negativa ya desempeña un papel central en la expansión acelerada; la ERM explora una versión localizada y controlada de este principio.

### 7.3. Implicación para ingeniería de curvatura

Cualquier aplicación a curvatura debe satisfacer:

$$\begin{aligned} \nabla_\mu T_{\text{total}}^{\mu\nu} &= 0 \\ E_{\text{total}} &\geq 0 \\ |\bar{\rho}_{\text{QFT}}| &\leq C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4} \end{aligned}$$



Por tanto, las aplicaciones realistas empiezan por mediciones de fase, interferometría, cavidades de vacío, estados comprimidos y control de tensores de estrés; no por motores macroscópicos inmediatos.

---

## 8. Posibles aplicaciones

La primera aplicación de la Fórmula I es experimental: medir regiones sub-vacío preparadas mediante estados comprimidos, cavidades Casimir o protocolos QET. El objetivo no sería extraer energía neta, sino verificar la modificación local de  $\langle :T_{00}: \rangle$ .

Una segunda aplicación es metrológica. Si el sector  $\Omega$  introduce tensiones o desplazamientos de fase acoplados a la geometría, podrían buscarse señales mediante interferometría atómica, relojes ópticos o sensores de gradiente gravitacional.

Una tercera aplicación, más avanzada, es el diseño de cáscaras tensoriales. En ese caso, la Fórmula I serviría para calcular si una distribución de tensiones puede producir una densidad gravitacional activa negativa:

$$\rho_{\text{act}} < 0$$

sin requerir que toda la densidad de energía local sea negativa.

Una cuarta aplicación, aún especulativa, es la propulsión por curvatura subluminal. La ERM no plantea una nave sin reacción ni energía gratuita, sino una cáscara física que tendría que ser alimentada, estabilizada y movida respetando conservación de energía y momento.

---

## 9. Datos a tomar en cuenta

### “La energía negativa está prohibida.”

La energía negativa local no está prohibida en teoría cuántica de campos. Lo que está prohibido es su uso arbitrario, ilimitado o macroscópicamente estable sin compensación. La Fórmula I incluye explícitamente límites de duración y magnitud mediante  $C_{\text{QI}}\hbar/(c^3\tau^4)$ .

### “Esto viola conservación de energía.”

No. La Fórmula I exige compensación positiva:

$$\int d^3x \langle :T_{00}: \rangle_{\text{total}} + E_{\text{pump}} \geq 0$$

La ERM no permite crear energía neta desde la nada. La energía sub-vacío se interpreta como redistribución local de energía y correlaciones dentro de un sistema mayor.



**“QET no produce energía libre.”**

Correcto. En la ERM, QET no se usa como fuente neta de energía. Se usa como protocolo de transferencia y redistribución energética. Los experimentos de QET demuestran transferencia condicionada por correlaciones, no generación ilimitada de trabajo.

**“Una burbuja warp requiere energía negativa imposible.”**

La ERM no adopta el modelo clásico de burbuja como aplicación directa de QFT negativa. La teoría introduce  $\rho_{\text{act}}$ , una densidad gravitacional activa que depende de tensiones. La diferencia es crucial: las restricciones de Pfenning-Ford se aplican a configuraciones dominadas por energía negativa QFT ordinaria; la ERM propone estudiar fuentes tensoriales más generales, que deben analizarse caso por caso.

**“Las tensiones negativas pueden generar inestabilidades.”**

Esta es una objeción seria. La ERM debe imponer condiciones de estabilidad:

$$\begin{array}{c} \boxed{\rho_{\Omega} > 0} \\ \boxed{\rho_{\Omega} + \frac{p_i}{c^2} \geq 0} \\ \boxed{0 < c_L^2 \leq 1} \\ \boxed{0 < c_T^2 \leq 1} \\ \boxed{m_{\text{eff}}^2 > 0} \end{array}$$

Estas condiciones deben verificarse para cualquier modelo específico del medio  $\Omega$ .

---

**10. Programa experimental sugerido**

El primer nivel experimental consiste en preparar estados comprimidos y medir señales sub-vacío mediante homodino balanceado, cavidades ópticas o circuitos superconductores. El objetivo sería reconstruir el valor esperado renormalizado:

$$\langle :T_{00}: \rangle$$

El segundo nivel consiste en estudiar configuraciones Casimir dinámicas o cavidades de metamaterial donde pueda medirse una variación controlada del tensor de estrés.



El tercer nivel consiste en usar QET como protocolo de transferencia energética en hardware cuántico, verificando que la energía extraída en una región se corresponde con energía inyectada y correlaciones consumidas en otra.

El cuarto nivel, más ambicioso, consiste en buscar efectos de fase gravitacional o pseudo-gravitacional asociados a un medio  $\Omega$ -tensional. Allí el observable principal no sería una potencia extraída, sino una fase:

$$\Delta\phi = \frac{mc^2}{\hbar} \int \frac{\Delta\Phi}{c^2} dt$$

o una desviación en un interferómetro atómico.

---

## 11. Conclusión

La Fórmula I de la Teoría de Resurgencia de la Materia establece una base física rigurosa para hablar de energía sub-vacío y tensión gravitacional activa. Su aporte central es separar tres ideas que a menudo se confunden: energía negativa local, extracción de energía y curvatura gravitacional.

La ERM afirma que pueden existir regiones locales donde:

$$\langle :T_{00}: \rangle < 0$$

pero estas regiones están limitadas por desigualdades cuánticas y requieren compensación positiva. La teoría añade además que el efecto gravitacional relevante puede provenir de:

$$\rho_\Omega + \frac{p_r + p_\theta + p_\phi}{c^2}$$

de modo que una cáscara con energía positiva y tensiones negativas podría producir densidad gravitacional activa negativa.

La primera fórmula no convierte el vacío en una fuente inagotable. Lo convierte en un objeto físico con estructura medible, límites claros y posible utilidad geométrica. La formulación completa puede resumirse así:

La ERM no extrae energía del vacío; reorganiza el tensor energía-momento.

Ese es el punto de partida científico de la teoría: una física de resurgencia donde la materia, el vacío y la geometría no son entidades separadas, sino fases distintas de un mismo sistema conservativo.



## Fórmula II: Jerarquía geométrica de masas, solapamientos de campo $\Omega$ y heliones

### Resumen

La **Fórmula II de la Teoría de Resurgencia de la Materia** propone que la jerarquía de masas de los fermiones no surge de acoplamientos de Yukawa arbitrarios, sino de **solapamientos geométricos** entre perfiles de fermiones, el Higgs y el campo de resurgencia  $\Omega$  en una dimensión efectiva adicional. En este marco, las masas observadas son autovalores de matrices efectivas obtenidas al compactificar una dinámica 5D hacia nuestra física 4D. La misma estructura permite introducir un sector oscuro de excitaciones singletes, denominadas **heliones**  $\chi_n$ , que pueden actuar como candidatos a materia oscura si satisfacen estabilidad, neutralidad gauge, abundancia relicta y límites de detección directa.

La ERM no afirma que las masas queden explicadas por una simple fórmula escalar aislada. La versión publicable de la Fórmula II debe expresarse como una **matriz de masa efectiva**, renormalizada y diagonalizable, capaz de reproducir masas, mezclas CKM, mezclas PMNS, neutrinos y posibles estados oscuros. La idea central es sencilla: **una partícula pesa según cuánto se solapa su función de onda con el Higgs y con el campo  $\Omega$ .**

---

### 1. Introducción

Uno de los problemas abiertos del Modelo Estándar es el origen de la estructura de sabor. Las masas de los fermiones abarcan muchos órdenes de magnitud, y las matrices de mezcla CKM y PMNS muestran patrones muy distintos: jerárquicos en el sector de quarks y grandes en el sector leptónico. En el Modelo Estándar, esta información se introduce mediante matrices de Yukawa; la teoría describe cómo las masas aparecen después de la ruptura electrodébil, pero no explica por qué los acoplamientos tienen esos valores. El PDG mantiene esta estructura como parte central de la fenomenología de partículas y de los parámetros medidos del Modelo Estándar.

La ERM aborda este problema introduciendo un campo de resurgencia  $\Omega$  y una dimensión efectiva  $z$ , en la cual los perfiles de los campos no están distribuidos uniformemente. La idea pertenece a una familia amplia de teorías con dimensiones extra: en el modelo de Randall-Sundrum, una dimensión extra warped puede generar jerarquías exponenciales, y en extensiones con campos en el bulk los perfiles de fermiones pueden producir jerarquías de masas mediante factores de solapamiento.

La ERM adopta esa intuición geométrica, pero añade un ingrediente propio: el campo  $\Omega$  no solo modifica los perfiles de masa, sino que también conecta el sector visible con un sector oscuro de resurgencia. En el documento de formulación de la ERM, la jerarquía de masas se introduce como localización de fermiones en una quinta dimensión con un perfil de  $\Omega$  y como base para estados oscuros tipo helión.



## 2. Geometría efectiva de la Fórmula II

La dimensión efectiva de resurgencia se representa como un intervalo:

$$z \in [0, L_\Omega], L_\Omega = \pi R_\Omega$$

con métrica 5D:

$$ds_5^2 = e^{-2A(z)} g_{\mu\nu}(x) dx^\mu dx^\nu + dz^2$$

donde  $A(z)$  es el factor warp. En una geometría plana:

$$A(z) = 0,$$

mientras que en una geometría warpada:

$$A(z) = k_\Omega z.$$

El campo de resurgencia se descompone como:

$$\Omega(x, z) = \bar{\Omega}_0(z) + \delta\Omega(x, z)$$

donde  $\bar{\Omega}_0(z)$  es el fondo estable que participa en la generación de masas, y  $\delta\Omega$  representa fluctuaciones, excitaciones oscuras o perturbaciones inducidas por estados sub-vacío.

La función normalizada asociada al fondo de resurgencia se define como:

$$F_\Omega^{(0)}(z) = \frac{\bar{\Omega}_0(z)}{\left[ \int_0^{L_\Omega} dz e^{-2A(z)} |\bar{\Omega}_0(z)|^2 \right]^{1/2}}$$

y el fondo debe satisfacer una ecuación de movimiento efectiva:

$$\bar{\Omega}_0'' - 4A'\bar{\Omega}_0' - \frac{\partial V_\Omega^{\text{ren}}}{\partial \bar{\Omega}_0} - \xi_\Omega R_5 \bar{\Omega}_0 = 0$$

Esta ecuación es importante porque evita que  $F_\Omega(z)$  sea una función escogida a mano. En una versión predictiva de la ERM, el perfil  $\bar{\Omega}_0(z)$  debe derivarse de la acción, del potencial  $V_\Omega$ , de las condiciones de borde y de la geometría.



### 3. Fórmula II: matriz de masas por solapamiento geométrico

La forma publicable de la Fórmula II es:

$$(M_f)_{ij}(\mu; \rho_-) = \frac{v(\mu)}{\sqrt{2}} \left[ Z_{L_i}^{1/2}(\mu) Y_{f,ij}^{\text{eff}}(\mu; \rho_-) Z_{R_j}^{1/2}(\mu) \right]$$

donde  $f = u, d, e$ , etiqueta el sector fermiónico: quarks tipo up, quarks tipo down, leptones cargados y neutrinos.

El Yukawa efectivo se define por:

$$Y_{f,ij}^{\text{eff}}(\mu; \rho_-) = \int_0^{L_\Omega} dz e^{-4A(z)} \hat{\lambda}_{f,ij}(\mu) h(z; \mu) f_{L_i}^{(0)}(z; \mu) f_{R_j}^{(0)}(z; \mu) F_\Omega(z; \mu, \rho_-)$$

Aquí:

$$\hat{\lambda}_{f,ij}$$

son coeficientes de Wilson adimensionales, definidos después de absorber las potencias necesarias de la escala de corte  $M_*$ .

$$h(z)$$

es el perfil del Higgs en la dimensión efectiva.

$$f_{L_i}^{(0)}(z), f_{R_j}^{(0)}(z)$$

son los perfiles de los modos cero fermiónicos izquierdos y derechos.

$$F_\Omega(z; \mu, \rho_-)$$

es el perfil efectivo del campo  $\Omega$ , incluyendo perturbaciones inducidas por energía sub-vacío local.

La normalización de los perfiles debe imponerse como:

$$\int_0^{L_\Omega} dz e^{-3A(z)} |f_{L_i}^{(0)}(z)|^2 = 1$$

$$\int_0^{L_\Omega} dz e^{-3A(z)} |f_{R_i}^{(0)}(z)|^2 = 1$$



$$\int_0^{L_\Omega} dz e^{-2A(z)} |h(z)|^2 = 1$$

La lectura física es directa: si  $f_L$ ,  $f_R$ , y  $F_\Omega$  se solapan fuertemente, el fermión obtiene una masa grande. Si el solapamiento es pequeño, la masa es pequeña. Esta es la esencia geométrica de la Fórmula II.

---

#### 4. Ecuaciones de localización fermiónica

Los perfiles fermiónicos no deben introducirse como funciones libres. En la ERM se obtienen de ecuaciones de primer orden:

$$[\partial_z - 2A'(z) + \mathcal{M}_i(z)]f_{L_i}^{(0)}(z) = 0$$

$$[\partial_z - 2A'(z) - \mathcal{M}_i(z)]f_{R_i}^{(0)}(z) = 0$$

donde la masa efectiva 5D es:

$$\mathcal{M}_i(z) = m_{5,i} + g_{i\Omega}F_\Omega^{(0)}(z) + q_i B(z)$$

El término  $m_{5,i}$  representa masa de bulk,  $g_{i\Omega}$  mide el acoplamiento al campo de resurgencia, y  $B(z)$  puede representar un fondo de localización adicional, por ejemplo una configuración tipo dominio o brana. Este tipo de estructura está en continuidad con trabajos donde los campos de bulk en geometrías tipo AdS generan jerarquías mediante perfiles localizados.

En el límite donde  $A(z) = kzy$  y  $\mathcal{M}_i$  es aproximadamente constante, las soluciones toman forma exponencial:

$$f_{L_i}^{(0)}(z) \propto e^{(2-c_i)A(z)}$$

$$f_{R_i}^{(0)}(z) \propto e^{(2+c_i)A(z)}$$

Por tanto, pequeñas diferencias en los parámetros de localización pueden producir grandes diferencias en los solapamientos. Este mecanismo reproduce la lógica del warping: una jerarquía grande puede surgir de una separación geométrica moderada.



## 5. Corrección por energía sub-vacío microscópica

La Fórmula II se conecta con la Fórmula I mediante una expansión perturbativa:

$$F_{\Omega}(z; \mu, \rho_-) = F_{\Omega}^{(0)}(z; \mu) + \varepsilon_{\rho} F_{\Omega}^{(1)}(z; \mu) + \varepsilon_{\rho}^2 F_{\Omega}^{(2)}(z; \mu) + \dots$$

donde:

$$\varepsilon_{\rho} = \frac{|\bar{\rho}_{\text{QFT}}|}{M_*^4}$$

La perturbación relativa de una masa fermiónica se expresa como:

$$\frac{\Delta m_f}{m_f} = \zeta_f \frac{|\bar{\rho}_{\text{QFT}}|}{M_*^4} + \xi_f \left( \frac{|\bar{\rho}_{\text{QFT}}|}{M_*^4} \right)^2 + \dots$$

Esta corrección es normalmente pequeña. Su importancia no es generar las masas principales, sino ofrecer una vía de acoplamiento entre estados sub-vacío locales, el campo  $\Omega$  y pequeñas variaciones efectivas en parámetros de masa. En términos experimentales, esto sugiere buscar modulaciones extremadamente pequeñas en sistemas de precisión, no cambios macroscópicos de masa.

---

## 6. Masas físicas y matrices de mezcla

Las masas observables son los autovalores de las matrices efectivas:

$$m_{f,a}^2 = \text{Eigenvalues}[M_f^{\dagger} M_f]$$

Para los quarks:

$$U_{u,L}^{\dagger} M_u U_{u,R} = \text{diag}(m_u, m_c, m_t)$$

$$U_{d,L}^{\dagger} M_d U_{d,R} = \text{diag}(m_d, m_s, m_b)$$

y la matriz CKM queda:



$$V_{\text{CKM}} = U_{u,L}^\dagger U_{d,L}$$

Para leptones cargados:

$$U_{e,L}^\dagger M_e U_{e,R} = \text{diag}(m_e, m_\mu, m_\tau)$$

Para neutrinos, la ERM puede incorporar un mecanismo seesaw:

$$M_\nu = -M_D^T M_R^{-1} M_D$$

y la matriz leptónica de mezcla queda:

$$U_{\text{PMNS}} = U_{e,L}^\dagger U_{\nu,L}$$

Esto es indispensable. Una fórmula de masas no queda científicamente completa si solo reproduce masas individuales. Debe reproducir también mezclas, fases CP y neutrinos.

---

## 7. Forma simplificada de baja energía

En un régimen donde el Higgs está localizado, los perfiles son estrechos y el fondo  $\Omega$  tiene una caída aproximadamente exponencial, la Fórmula II puede reducirse a una forma efectiva:

$$m_n(\mu) \simeq y_n^{\text{eff}}(\mu) v_\Omega(\mu) e^{-kz_n} Z_\Omega(\mu)$$

Esta forma resume la intuición geométrica:

$$\text{masa} = \text{acoplamiento} \times \text{escala de resurgencia} \times \text{factor geométrico} \times \text{renormalización}$$

Sin embargo, para publicación científica, esta expresión debe presentarse como límite aproximado, no como fórmula completa. La fórmula completa es la matriz de solapamiento  $M_f$ .

---

## 8. Heliones: extensión oscura de la Fórmula II

La ERM introduce un sector singlete oscuro (Helion):

$$\chi_n: Q_{\text{em}} = 0, Q_{\text{color}} = 0$$

y una simetría estabilizadora:



$$\mathbb{Z}_2^X: \chi_n \rightarrow -\chi_n, \text{SM} \rightarrow \text{SM}$$

La masa de los heliones se escribe como:

$$m_{\chi_n}^2 = M_\chi^2 + y_\chi^2 v_\Omega^2 + \frac{\lambda_n}{R_\Omega^2} + \Delta m_{\chi_n}^2(\rho_-)$$

donde:

$$\lambda_n = n^2 \text{ para un intervalo tipo } S^1/\mathbb{Z}_2$$

o:

$$\lambda_n = n(n+2) \text{ para una estructura interna tipo } S^3.$$

La corrección inducida por energía sub-vacío es:

$$\Delta m_{\chi_n}^2(\rho_-) = m_{\chi_n}^{2(0)} \left[ 2\zeta_{\chi_n} \frac{|\bar{\rho}_{\text{QFT}}|}{M_*^4} + \mathcal{O}\left(\frac{\rho_-^2}{M_*^8}\right) \right]$$

Si el radio efectivo del sector oculto es micrométrico, entonces:

$$\frac{\hbar c}{1 \mu\text{m}} \approx 0.197 \text{ eV}$$

por lo que una masa de helión en el rango electrodébil, por ejemplo  $10-10^3 \text{ GeV}$ , no puede venir solo del término geométrico  $1/R_\Omega$ . Debe venir principalmente de  $M_\chi$ , de  $y_\chi v_\Omega$ , o de una brecha dinámica del sector oscuro.

Los heliones se parecen conceptualmente a otros candidatos de materia oscura de dimensiones extra, como los branones, que aparecen como fluctuaciones de brana y pueden ser estables y débilmente interactuantes. La diferencia de la ERM es que  $\chi_n$  no se define como fluctuación geométrica pura de una brana, sino como excitación singlete del sector  $\Omega$ .

## 9. Abundancia relicta y detección

Si el helión más ligero  $\chi$  es un candidato dominante de materia oscura por freeze-out térmico, su abundancia aproximada se relaciona con la sección eficaz de aniquilación:



$$\Omega_\chi h^2 \simeq 0.12 \left( \frac{3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}}{\langle \sigma v \rangle} \right)$$

La densidad de materia oscura medida cosmológicamente está alrededor de  $\Omega_c h^2 \simeq 0.12$  en el análisis Planck  $\Lambda$ CDM.

Para detección directa, si el helión interactúa con nucleones a través de un portal de Higgs, una forma esquemática de la sección eficaz spin-independiente es:

$$\sigma_{\text{SI}} \simeq \frac{\mu_N^2}{\pi} \left( \frac{f_N \lambda_{H\chi}}{m_h^2} \right)^2$$

donde  $\mu_N$  es la masa reducida helión-nucleón y  $f_N$  parametriza el elemento matricial hadrónico.

La fenomenología actual exige mucha cautela. LZ reporta límites spin-independientes de orden  $10^{-48} \text{ cm}^2$  en el rango de masas de decenas de GeV, con un mínimo cercano a  $2.2 \times 10^{-48} \text{ cm}^2$  alrededor de 40 GeV; XENONnT reporta límites de orden  $10^{-47} \text{ cm}^2$  para masas por encima de 10 GeV. Por tanto, una ERM con helión dominante en el rango  $10-10^3 \text{ GeV}$  debe situar su  $\sigma_{\text{SI}}$  por debajo de estos límites, o adoptar escenarios de freeze-in, materia oscura subdominante, interacción inelástica o portal muy suprimido.

## 10. Implicaciones físicas

La primera implicación es una reinterpretación del sabor: las masas no son constantes desconectadas, sino integrales geométricas. La estructura de  $M_f$  depende de la posición y forma de los perfiles en  $z$ . La jerarquía no se introduce como una lista de números, sino como una separación de funciones de onda.

La segunda implicación es la conexión entre sabor y sector oscuro. El mismo campo  $\Omega$  que modula los perfiles visibles también define excitaciones singletes  $\chi_n$ . Así, la materia oscura no aparece como un apéndice externo, sino como una continuación natural del sector de resurgencia.

La tercera implicación es que la Fórmula II permite una relación perturbativa con la Fórmula I. Los estados sub-vacío no generan las masas principales, pero pueden inducir pequeñas modulaciones:

$$\frac{\Delta m_f}{m_f} \propto \frac{|\rho_-|}{M_*^4}$$

La cuarta implicación es fenomenológica: la ERM debe ser evaluada no solo por su belleza geométrica, sino por su capacidad para reproducir simultáneamente:



$$m_f, V_{CKM}, U_{PMNS}, \delta_{CP}, m_\nu, \Omega_\chi h^2, \sigma_{SI}$$

## 11. Aplicaciones

La Fórmula II tiene aplicaciones teóricas y experimentales claras. En física de partículas, ofrece un marco para construir texturas de masa desde perfiles geométricos. En cosmología, permite un candidato oscuro singlete cuya masa depende de  $M_\chi$ ,  $v_\Omega$  y de la geometría interna. En fenomenología de precisión, predice que cualquier modulación local de  $\Omega_0$  de  $\rho_-$  debe aparecer como una corrección extremadamente pequeña a masas efectivas o acoplamientos.

En colisionadores, los heliones singletes no se producirían de forma abundante sin mediadores cargados o portales visibles. Si existe un mediador  $X$ , las firmas naturales serían energía faltante asociada a jets, fotones o bosones electrodébiles. En detección directa, el objetivo sería una señal spin-independiente por debajo de los límites actuales, o una señal inelástica que evite los canales más restringidos.

## 12. Comparación con otros trabajos

Marco	Mecanismo de jerarquía	Ventaja	Límite principal	Relación con ERM
Modelo Estándar	Yukawas libres	Extremadamente confirmado	No explica el origen de las jerarquías	ERM intenta geometrizar los Yukawas
Froggatt-Nielsen	Simetría de sabor y flavón	Explica jerarquías por cargas	Requiere asignaciones de carga	ERM reemplaza cargas por perfiles geométricos
Randall-Sundrum	Warping 5D	Genera jerarquías exponenciales	Requiere control de sabor y FCNC	ERM adopta la lógica de solapamientos
Gherghetta-Pomarol	Campos SM en el bulk	Explica masas por perfiles	Muy restringido por precisión electrodébil	ERM usa perfiles con fondo $\Omega$
Branones	Fluctuaciones de brana como DM	Candidatos estables y débiles	No explica sabor	ERM conecta excitaciones oscuras con masa
ERM	Solapamiento $h_{LF} f_R F_\Omega$	Une sabor, $\Omega$ y sector oscuro	Requiere derivar perfiles y superar	Propuesta integradora



Marco	Mecanismo de jerarquía	de Ventaja	Límite principal	Relación con ERM
			límites experimentales	

El mecanismo de Froggatt-Nielsen sigue siendo una de las ideas clásicas para explicar jerarquías mediante una simetría horizontal y potencias de un campo flavón; la ERM es diferente porque busca que el factor de supresión sea una integral geométrica, no una potencia de carga de sabor.

### 13. Datos

#### “La fórmula solo reconstruye masas observadas; no las predice.”

Este dato es válido si los perfiles  $f_L, f_R, h, F_\Omega$  se ajustan después de conocer las masas. La respuesta de la ERM debe ser operacional: la teoría solo se vuelve predictiva cuando esos perfiles se derivan de la acción, de las condiciones de borde y de un número finito de parámetros. Por eso la forma matricial de la Fórmula II es superior a una expresión escalar simple.

#### “Una topología $S^3$ no predice automáticamente tres familias.”

Correcto. Una 3-esfera posee infinitos armónicos. La ERM no debe afirmar que  $S^3$  por sí sola produce exactamente tres familias. La condición científicamente robusta debe formularse como un índice topológico:

$$N_{\text{fam}} = \text{Index}(\not{D}_{y,\varepsilon}) = 3$$

La topología puede participar, pero el número de familias requiere una condición de índice, una proyección orbifold, una condición de borde o una selección dinámica de modos.

#### “Una dimensión micrométrica produciría modos de Kaluza-Klein ultraligeros.”

Correcto si los campos del Modelo Estándar se propagan libremente en esa dimensión. La ERM debe separar el sector visible del sector oculto:  $R_\Omega$  puede pertenecer al sector  $\Omega$ , mientras que los campos gauge visibles deben estar brana-localizados o tener una escala de compactificación distinta. Esta separación evita que aparezcan torres visibles sub-eV incompatibles con datos.

#### “Los modelos de fermiones en el bulk suelen generar violación de sabor.”

Correcto. La ERM debe imponer alineación de sabor, simetrías custodiales o una estructura de mínima violación de sabor. La matriz  $Y_f^{\text{eff}}$  no basta; hay que calcular FCNC, observables de kaones,  $B$ -mesones,  $Zb\bar{b}$ , leptones cargados y límites de precisión electrodébil.

#### “El helión de masa electrodébil puede estar excluido por detección directa.”



Depende del portal. Si el helión es WIMP térmico dominante con portal de Higgs ordinario, los límites de LZ y XENONnT son muy fuertes. Una ERM viable debe usar  $\sigma_{SI} \lesssim 10^{-48} \text{ cm}^2$  para masas de decenas de GeV, o escoger freeze-in, inelasticidad, subdominancia o interacción puramente oscura.

**“La energía sub-vacío no puede controlar masas de forma apreciable.”**

En escalas ordinarias, probablemente no. La ERM lo formula como una perturbación pequeña:

$$\Delta m/m \sim |\rho_-|/M_*^4.$$

La teoría no promete cambios macroscópicos de masa; busca efectos de precisión o conexiones indirectas con el sector  $\Omega$ .

#### 14. Programa experimental y fenomenológico

Una publicación sólida de la Fórmula II debe proponer una ruta de prueba. Primero, construir benchmarks numéricos de perfiles  $f_L, f_R, h, F_\Omega$  que reproduzcan masas y mezclas. Segundo, calcular las restricciones de sabor y precisión electrodébil. Tercero, definir un modelo mínimo de helión  $\chi$ , con  $M_\chi, y_\chi, \lambda_{H\chi}, \Omega_\chi h^2, \sigma_{SI}$  y canales de producción. Cuarto, evaluar si existe una firma distintiva: energía faltante, modulación de masa, señales indirectas o desviaciones de precisión.

La condición mínima de éxito es:

$$\chi^2_{\text{masas+mezclas}} + \chi^2_{\text{sabor}} + \chi^2_{\text{DM}} \text{ compatible con datos.}$$

La condición fuerte de éxito sería una predicción nueva: un rango estrecho para  $m_\chi$ , una relación entre  $\sigma_{SI}$  parámetros de sabor, o una textura de CKM/PMNS que no pueda reproducirse fácilmente por modelos convencionales.

#### 15. Conclusión

La Fórmula II de la ERM propone que la masa es una propiedad emergente de solapamientos geométricos. Su núcleo matemático no es una masa aislada  $m_n$ , sino la matriz:

$$\left( M_f \right)_{ij} = \frac{v}{\sqrt{2}} \int_0^{L_\Omega} dz e^{-4A} \hat{\lambda}_{f,ij} h(z) f_{L_i}(z) f_{R_j}(z) F_\Omega(z; \rho_-)$$

Esta ecuación convierte la jerarquía de masas en un problema de geometría, perfiles y condiciones de borde. Además, extiende naturalmente el marco hacia heliones  $\chi_n$ , candidatos oscuros singletes cuya viabilidad depende de estabilidad, abundancia relictas y límites experimentales.



La ERM se apoya en ideas ya conocidas Higgs y Yukawa, dimensiones extra, warping, localización fermiónica, candidatos oscuros singletes, pero las reordena en una arquitectura propia. Su fuerza no está en afirmar que todas las masas ya están predichas, sino en ofrecer una ruta concreta para derivarlas.

La tesis final puede expresarse así:

En la ERM, las masas no se imponen: emergen del lugar donde los campos se encuentran.



## Heliones: modos oscuros de resurgencia, materia oscura y sector oculto $\Omega$

En la **Teoría de Resurgencia de la Materia** ERM los **heliones** se proponen como excitaciones estables del sector oculto asociado al campo de resurgencia  $\Omega$ . Su papel es doble: por un lado, constituyen una extensión natural de la Fórmula II, donde las masas emergen de solapamientos y localización en una dimensión efectiva; por otro, ofrecen un candidato a materia oscura al ser neutros, singletes de color, débilmente acoplados a la materia ordinaria y potencialmente estables en escalas cosmológicas.

En formulación publicable, un helión no debe entenderse como una cuarta familia ordinaria del Modelo Estándar. Debe definirse como un **fermión singlete oscuro**,  $\chi_n$ , asociado al sector  $\Omega$ , protegido por una simetría discreta de estabilidad. Esta distinción es esencial: una cuarta familia ordinaria estaría fuertemente restringida por datos electrodébiles y de colisionadores, mientras que un singlete oscuro puede permanecer oculto y actuar como materia oscura.

---

### 1. Introducción

La materia oscura representa uno de los vacíos más profundos de la física contemporánea. Las observaciones cosmológicas indican que la materia no bariónica domina sobre la materia ordinaria: Planck encuentra una densidad de materia oscura  $\Omega_c h^2 \simeq 0.120$ , mientras que la materia bariónica es  $\Omega_b h^2 \simeq 0.0224$ , lo que implica que aproximadamente el 84% de la materia total es oscura bajo el modelo  $\Lambda$ CDM.

La ERM propone que parte de esa materia oscura puede interpretarse como materia en estado de resurgencia: excitaciones que no viven principalmente en el sector visible, sino en un sector oculto ligado al campo  $\Omega$ . En el manuscrito base de la ERM se introduce precisamente la idea de que los estados excitados del campo de resurgencia, llamados **heliones**, pueden actuar como candidatos a materia oscura; también se los relaciona con modos de una dimensión efectiva y con firmas de detección directa, indirecta y en colisionadores.

La pregunta central de esta sección es:

¿Qué es un helión, de dónde viene, qué hace y cómo puede probarse?

La respuesta breve es:

Un helión es una excitación oscura estable del sector  $\Omega$ , formulada como singlete fermiónico  $\chi_n$ .

### 2. Definición física de los heliones

En la ERM, un helión se define como un modo oscuro asociado al campo de resurgencia  $\Omega$ , descrito por un fermión singlete:

$$\chi_n: Q_{em} = 0, Q_{color} = 0, \chi_n \sim (1, 1, 0)_{SM}.$$



Esto significa que el helión no tiene carga eléctrica, no tiene carga de color y no participa directamente en las interacciones electromagnética o fuerte. Por esa razón puede atravesar materia ordinaria sin ser detectado fácilmente.

Para garantizar su estabilidad se introduce una simetría discreta:

$$\mathbb{Z}_2^X: \chi_n \rightarrow -\chi_n, SM \rightarrow SM.$$

Esta simetría cumple una función análoga a las simetrías de paridad usadas en muchos modelos de materia oscura: impide que el helión más ligero decaiga únicamente en partículas visibles. Por tanto, el helión más ligero puede sobrevivir desde el universo temprano hasta la actualidad.

### 3. Origen de los heliones en la ERM

La ERM introduce una dimensión efectiva de resurgencia:

$$z \in [0, L_\Omega], L_\Omega = \pi R_\Omega.$$

En esa dimensión, el campo  $\Omega$  tiene un perfil de fondo:

$$\Omega(x, z) = \bar{\Omega}_0(z) + \delta\Omega(x, z).$$

Los heliones aparecen al introducir un fermión oscuro  $\chi(x, z)$  acoplado a  $\Omega$ :

$$\chi(x, z) = \sum_n \chi_n(x) f_n^X(z).$$

Cada  $\chi_n(x)$  es un modo 4D observable, pero oculto al sector electromagnético. El índice  $n$  etiqueta la excitación en la dimensión de resurgencia.

La forma efectiva del sector heliónico puede escribirse como:

$$\mathcal{L}_\chi = \frac{1}{2} \bar{\chi} i \gamma^\mu \partial_\mu \chi - \frac{1}{2} (M_\chi + y_\chi \Omega) \bar{\chi} \chi + \mathcal{L}_{\text{portal}}$$

donde:

$$M_\chi$$

es una masa oscura base,

$$y_\chi$$



es el acoplamiento del helión al campo de resurgencia,

$$\mathcal{L}_{\text{portal}}$$

contiene interacciones débiles con el sector visible, normalmente a través del Higgs, mediadores pesados o gravedad.

En términos simples: **el helión nace cuando el campo de resurgencia  $\Omega$  no solo modifica masas visibles, sino que también admite excitaciones oscuras propias.**

---

#### 4. Masa del helión

La masa de un helión se escribe como:

$$m_{\chi_n}^2 = M_\chi^2 + y_\chi^2 v_\Omega^2 + \frac{\lambda_n}{R_\Omega^2} + \Delta m_{\chi_n}^2(\rho_-)$$

donde:

$$v_\Omega = \langle \Omega \rangle,$$
$$R_\Omega$$

es el radio efectivo del sector de resurgencia,

$$\lambda_n$$

es el autovalor geométrico del modo  $n$ , y:

$$\Delta m_{\chi_n}^2(\rho_-)$$

es una corrección inducida por estados sub-vacío o perturbaciones del sector  $\Omega$ .

Para un intervalo simple tipo  $S^1/\mathbb{Z}_2$ :

$$\lambda_n = n^2.$$

Para una estructura interna tipo  $S^3$ :

$$\lambda_n = n(n+2).$$

La corrección por energía sub-vacío se escribe:



$$\Delta m_{\chi_n}^2(\rho_-) = m_{\chi_n}^{2(0)} \left[ 2\zeta_{\chi_n} \frac{|\bar{\rho}_{\text{QFT}}|}{M_*^4} + \mathcal{O}\left(\frac{\rho_-^2}{M_*^8}\right) \right].$$

Esta corrección suele ser pequeña. La masa principal del helión no debe depender solo del término geométrico  $1/R_\Omega$ , especialmente si  $R_\Omega$  es micrométrico. Por ejemplo:

$$\frac{\hbar c}{1 \mu\text{m}} \approx 0.197 \text{ eV.}$$

Por tanto, un helión con masa en el rango electrodébil:

$$m_\chi \sim 10 - 10^3 \text{ GeV}$$

debe obtener su masa principalmente de:

$$M_\chi \text{ o } y_\chi v_\Omega.$$

## 5. Relación con la Fórmula II de masas

La Fórmula II de la ERM describe masas visibles mediante solapamientos geométricos:

$$(M_f)_{ij} = \frac{v}{\sqrt{2}} \int_0^{L_\Omega} dz e^{-4A(z)} \hat{\lambda}_{f,ij} h(z) f_{L_i}(z) f_{R_j}(z) F_\Omega(z; \rho_-).$$

El helión es la extensión oscura de la misma idea. En lugar de masas visibles, se obtiene una torre de masas ocultas:

$$m_{\chi_n} \leftrightarrow \text{autovalores del sector } \chi - \Omega.$$

En lenguaje físico:

las partículas visibles son solapamientos con el Higgs;

los heliones son solapamientos con el sector oscuro  $\Omega$ .

El manuscrito de ERM describe a los heliones como modos excitados asociados al campo de resurgencia, con una masa determinada por una ecuación de localización y con el caso  $n = 4$  situado alrededor de 100 GeV.



## 6. Qué hacen los heliones

Los heliones cumplen cuatro funciones dentro de la ERM.

### 6.1. Funcionan como materia oscura

El helión más ligero puede ser estable y masivo. Al no tener carga electromagnética ni color, no emite luz ni interactúa fuertemente con núcleos. Eso lo convierte en un candidato natural para materia oscura.

Un candidato viable debe cumplir:

$$m_\chi > 0, \tau_\chi > t_{\text{universo}}, Q_{\text{em}} = 0, Q_{\text{color}} = 0.$$

También debe producir la abundancia relicta correcta:

$$\Omega_\chi h^2 \simeq 0.12.$$

Si el helión es un relicto térmico tipo WIMP, la aproximación usual es:

$$\Omega_\chi h^2 \simeq 0.12 \left( \frac{3 \times 10^{-26} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}}{\langle \sigma v \rangle} \right).$$

Esta relación expresa la idea del “milagro WIMP”: una sección eficaz de aniquilación de orden débil produce una abundancia cercana a la observada. Sin embargo, el hecho de que el helión pueda caer en ese rango no lo confirma; solo lo convierte en una hipótesis testeable.

### 6.2. Funcionan como sector de almacenamiento oscuro

En la ERM, la materia puede cambiar de forma al pasar por el sector  $\Omega$ . Los heliones actúan como estados oscuros donde parte de esa información o energía puede permanecer “fuera” del sector visible. No son materia perdida; son materia en una fase débilmente visible.

### 6.3. Funcionan como estabilizadores del sector $\Omega$

El sector  $\Omega$  puede tener excitaciones escalares, tensionales y fermiónicas. Los heliones aportan grados de libertad fermiónicos que pueden estabilizar el potencial efectivo mediante correcciones cuánticas. En una teoría efectiva, esto aparece como contribuciones al potencial:

$$\Delta V_{\text{eff}}^\chi \simeq -\frac{n_\chi}{64\pi^2} m_\chi^4(\Omega) \left[ \ln \left( \frac{m_\chi^2(\Omega)}{\mu^2} \right) - c_\chi \right].$$



#### 6.4. Funcionan como firma experimental

Si existen, los heliones podrían dejar rastros en tres canales: detección directa, detección indirecta y colisionadores. El manuscrito de ERM propone precisamente firmas de rayos gamma, neutrinos, energía faltante y efectos cosmológicos para el caso  $n = 4$ .

---

#### 7. Detección directa

Si el helión interactúa con nucleones mediante un portal de Higgs, una forma esquemática de la sección eficaz spin-independiente es:

$$\sigma_{\text{SI}} \simeq \frac{\mu_N^2}{\pi} \left[ \frac{f_N m_N g_{h\chi\chi}}{v m_h^2} \right]^2$$

donde:

$$\mu_N$$

es la masa reducida helión-nucleón,

$$f_N$$

parametriza el contenido escalar del nucleón,

$$g_{h\chi\chi}$$

es el acoplamiento efectivo Higgs-helión.

Aquí aparece una restricción fuerte. El manuscrito ERM sitúa una sección eficaz de referencia alrededor de:

$$\sigma_{\text{SI}} \sim 10^{-46} \text{ cm}^2$$

para el helión  $n = 4$ .

Pero los límites actuales son más severos. LZ reporta límites de detección directa para WIMPs con exposición de varias toneladas-año, y XENONnT reporta un límite mínimo de:

$$1.7 \times 10^{-47} \text{ cm}^2$$

para una masa WIMP de aproximadamente 30 GeV.

Por tanto, para que el helión sea viable como materia oscura dominante en el rango electrodébil, la ERM debe imponer una de estas condiciones:



$$\sigma_{\text{SI}}^{\chi} \lesssim 10^{-48} \text{ cm}^2$$

o bien:

$\chi$  es subdominante, inelástico, freeze-in o tiene un portal oculto muy débil.

---

## 8. Detección indirecta

Si los heliones se aniquilan en regiones de alta densidad, podrían producir:

$\gamma, \nu, e^+e^-$ , o cascadas oscuras.

Una firma esquemática sería una línea o exceso espectral alrededor de:

$$E_{\gamma} \sim m_{\chi}$$

si el canal final produce fotones. En el caso de un helión de referencia de 100 GeV:

$$E_{\gamma} \sim 100 \text{ GeV.}$$

La tasa observable depende de:

$$\Phi_{\gamma} \propto \frac{\langle \sigma v \rangle}{m_{\chi}^2} J,$$

donde  $J$  es el factor astrofísico de densidad al cuadrado integrado en la línea de visión.

La detección indirecta es atractiva, pero peligrosa: los fondos astrofísicos son complejos. Por eso una señal de helión no debe basarse en un único exceso de rayos gamma, sino en una combinación de canales: gamma, neutrinos, CMB y ausencia/presencia de señal en detección directa.

---

## 9. Producción en colisionadores

En colisionadores, un helión singlete se manifestaría como energía faltante:

$$pp \rightarrow \chi\chi + j$$

o:



$$pp \rightarrow \chi\chi + \gamma.$$

La firma experimental sería:

$$\text{mono-jet } +/E_T \text{ o mono-fotón } +/E_T.$$

Si el helión interactúa solo por gravedad o por portales muy suprimidos, la sección eficaz puede ser demasiado pequeña para el LHC. Por eso la ERM debe especificar mediadores:

$$X_\chi$$

con masas, cargas y acoplamientos definidos. Sin mediador, el helión puede ser cosmológicamente viable pero prácticamente invisible en colisionadores.

El manuscrito ERM propone producción asociada con fotón o jet y energía faltante para el helión  $n = 4$ . En una versión fenomenológica estricta, esa sección debe recalcularse con simulaciones de colisionador, límites mono-jet/mono-fotón y restricciones de precisión electrodébil.

## 10. Comparación con otros candidatos de materia oscura

Candidato	Origen	Ventaja	Dificultad	Relación con heliones
WIMP	Nueva partícula electrodébil	Abundancia térmica natural	Límites directos muy fuertes	Helión puede comportarse como WIMP si su portal no es demasiado débil
Axión	Solución al problema CP fuerte	Muy motivado teóricamente	Masa e interacción muy pequeñas	Helión es más masivo y fermiónico
Neutrino estéril	Extensión neutrínica	Conecta con masas de neutrinos	Señales débiles y restricciones cosmológicas	Helión también es singlete, pero ligado a $\Omega$
Kaluza-Klein DM	Modos de dimensiones extra	Geometría extra-dimensional	Requiere compactificación controlada	Helión es una excitación oscura de resurgencia



Candidato	Origen	Ventaja	Dificultad	Relación con heliones
Branon	Fluctuación de brana	Estable y débilmente interactuante	Depende de tensión de brana	Helión es análogo, pero nace del campo $\Omega$

Los branones son una comparación especialmente cercana: en escenarios de brana de baja tensión, las fluctuaciones masivas de la brana pueden ser estables, débilmente interactuantes y candidatas naturales a materia oscura.

La diferencia conceptual de la ERM es que el helión no se define como una fluctuación geométrica de la brana, sino como una excitación fermiónica del sector de resurgencia  $\Omega$ . El propio manuscrito ERM compara heliones y branones, distinguiendo su origen en el campo  $\Omega$ , su masa ligada a localización y sus firmas de detección.

## 11. Importancia científica

Los heliones son importantes por cinco razones.

Primero, ofrecen un candidato de materia oscura conectado a la misma estructura que explica masas. No son una partícula añadida de manera aislada; emergen del sector  $\Omega$ .

Segundo, conectan la Fórmula II con cosmología. Si la misma geometría que produce jerarquías de masa también produce un estado oscuro estable, entonces la ERM une sabor y materia oscura en una sola arquitectura.

Tercero, obligan a que la ERM sea falsable. Si se define un rango para:

$$m_\chi, \sigma_{SI}, \langle \sigma v \rangle, \Omega_\chi h^2,$$

entonces la teoría puede ser comparada con LZ, XENONnT, CTA, HL-LHC, CMB-S4 y futuros detectores.

Cuarto, pueden actuar como puente hacia el motor de curvatura ERM. No serían combustible mágico, pero sí podrían funcionar como sector oscuro estabilizador, masa de reacción exótica o canal de intercambio de momento en escenarios muy avanzados.

Quinto, hacen que la idea de “resurgencia” sea medible. Un helión detectado sería una señal concreta de que existe un sector oculto acoplado a nuestra física visible.



## 12. Aplicaciones

### 12.1. Cosmología de materia oscura

La aplicación principal es explicar parte o toda la materia oscura mediante una partícula estable del sector  $\Omega$ :

$$\chi_{\text{lightest}} = \text{materia oscura estable.}$$

### 12.2. Fenomenología de portales ocultos

Los heliones permiten estudiar portales entre el Modelo Estándar y el sector  $\Omega$ :

$$\mathcal{L}_{\text{portal}} = \frac{c_{H\chi}}{\Lambda} H^\dagger H \bar{\chi} \chi + g_x \bar{\chi} \gamma^\mu \chi X_\mu + \dots$$

### 12.3. Búsqueda de energía faltante

En colisionadores, la aplicación directa es la búsqueda de eventos con:

$$\sqrt{E_T + j\cancel{E}_T + \gamma.}$$

### 12.4. Astrofísica de rayos gamma y neutrinos

La aniquilación o decaimiento extremadamente suprimido de heliones podría buscarse mediante:

$$\gamma, \nu, \text{distorsiones cosmológicas.}$$

### 12.5. Estabilización del sector $\Omega$

En modelos de cáscara, curvatura o resurgencia dinámica, los heliones pueden ayudar a cerrar el balance de energía e información del sector oculto.

## 13. Datos

### “Si $\Omega$ es escalar, ¿cómo puede un helión tener espín 1/2?”

Este dato es correcto si se identifica al helión directamente con una fluctuación escalar de  $\Omega$ . Por eso la formulación publicable debe definir al helión como un **fermión singlete**  $\chi_n$  **acoplado a  $\Omega$** , no como el modo escalar puro de  $\Omega$ . El campo  $\Omega$  genera el fondo y la masa;  $\chi_n$  porta el espín fermiónico.

### “Un estado de 100 GeV con $\sigma_{SI} \sim 10^{-46} \text{ cm}^2$ está muy presionado.”

Sí. En la versión actual de la fenomenología, un helión de masa electrodébil debe tener un portal más débil que el valor de referencia, o debe ser subdominante, inelástico o producido



por freeze-in. Los límites de LZ y XENONnT obligan a tratar con mucho cuidado cualquier predicción en el rango  $10^{-46} \text{ cm}^2$ .

**“Una topología  $S^3$  no predice automáticamente tres familias.”**

Correcto. Una 3-esfera tiene muchos armónicos. Si la ERM quiere conectar familias ligeras y heliones, debe imponer una condición más precisa:

$$N_{\text{fam}} = \text{Index}(\text{slashed}D_{y,\varepsilon}) = 3$$

o una proyección de borde/orbifold que seleccione tres modos quirales ligeros y deje los modos superiores en el sector oscuro.

**“Una dimensión micrométrica produciría modos ultraligeros ya excluidos.”**

Solo si los campos visibles se propagan libremente en esa dimensión. En la ERM,  $R_\Omega$  debe asignarse principalmente al sector oculto. Los campos gauge del Modelo Estándar deben estar localizados en la brana visible o propagarse en otra escala de compactificación.

**Objeción 5: “La estabilidad por simetría  $\mathcal{PT}$  no basta.”**

Para una publicación, conviene usar una simetría discreta explícita:

$$\mathbb{Z}_2^\chi$$

La simetría  $\mathcal{PT}$  puede motivar la estructura dinámica, pero la estabilidad cosmológica del helión debe protegerse con una regla de selección clara.

**Objeción 6: “La abundancia relicta está asumida, no derivada.”**

La respuesta debe ser calcular la ecuación de Boltzmann:

$$\frac{dn_\chi}{dt} + 3Hn_\chi = -\langle\sigma v\rangle(n_\chi^2 - n_{\chi,\text{eq}}^2) + S_{\text{res}}$$

El término  $S_{\text{res}}$  permitiría incorporar producción no térmica desde el sector de resurgencia. Sin resolver esta ecuación, la abundancia de heliones es una hipótesis, no una predicción cerrada.

## 14. Programa experimental

Un programa de búsqueda de heliones debería seguir tres etapas.

Primero, definir benchmarks:

$$m_\chi = 10, 100, 1000 \text{ GeV}$$

$$\sigma_{\text{SI}} < 10^{-48} \text{ cm}^2$$



$$\langle\sigma v\rangle\sim 10^{-26}\text{ cm}^3\text{ s}^{-1}\text{ o producción freeze-in.}$$

Segundo, comparar con detección directa:

LZ, XENONnT, DarkSide.

Tercero, buscar señales complementarias:

CTA, IceCube/Gen2, HL-LHC, CMB-S4.

La clave es no depender de una sola firma. Un helión debe dejar una sombra coherente en varias ventanas del universo.

---

## 15. Conclusión

Los heliones son la propuesta de la ERM para convertir la resurgencia en una partícula oscura concreta. En su forma científicamente más sólida, se definen como fermiones singletes  $\chi_n$ , neutros, sin color, acoplados al campo  $\Omega$ , con estabilidad protegida por  $\mathbb{Z}_2^X$  y masas determinadas por una combinación de escala oscura, valor de expectación de  $\Omega$  y geometría efectiva.

Su importancia está en que no son solo “otra partícula de materia oscura”. Son el punto donde se encuentran tres ideas de la ERM:

masa geométrica + sector oculto + resurgencia conservativa.

La formulación mínima puede resumirse así:

$$m_{\chi_n}^2 = M_\chi^2 + y_\chi^2 v_\Omega^2 + \frac{\lambda_n}{R_\Omega^2} + \Delta m_{\chi_n}^2(\rho_-).$$

Y su tesis física:

El helión es materia que no brilla, pero conserva memoria del campo que la originó.



### Fórmula III: Unificación gauge no universal inducida por el sector $\Omega$

La **Fórmula III de la Teoría de Resurgencia de la Materia** ERM propone un mecanismo de unificación de acoplamiento gauge en el que las constantes asociadas a  $U(1)_Y$ ,  $SU(2)_L$  y  $SU(3)_c$  convergen en una escala alta  $M_U$ , mediante una combinación de evolución renormalizada del Modelo Estándar, umbrales de gran unificación, correcciones de campos pesados y una contribución no universal inducida por el sector de resurgencia  $\Omega$ . La idea central es que el campo  $\Omega$  no desplaza las tres constantes de acoplamiento por igual; su contribución se proyecta de manera distinta sobre los tres subgrupos gauge después de la ruptura de una simetría unificada, tomada aquí como  $SO(10)$ . En esta formulación, la energía de resurgencia no actúa como “corrección universal”, sino como una fuente de **matching gauge no universal**.

La Fórmula III se expresa como:

$$\alpha_i^{-1}(\mu) = \alpha_U^{-1} + \frac{b_i^{\text{SM}}}{2\pi} \ln\left(\frac{M_U}{\mu}\right) + \Delta_i^{2L} + \Delta_i^{\text{th}} + \Delta_i^{\Omega\text{-GUT}} + \Delta_i^X + \Delta_i^{KK}$$

con:

$$i = 1, 2, 3, \alpha_1 = \frac{5}{3}\alpha_Y, \alpha_2 = \alpha_{SU(2)}, \alpha_3 = \alpha_s.$$

La condición de unificación es:

$$\alpha_1^{-1}(M_U) = \alpha_2^{-1}(M_U) = \alpha_3^{-1}(M_U) = \alpha_U^{-1}.$$

Esta fórmula no afirma que el Modelo Estándar por sí solo unifique exactamente. De hecho, la literatura de GUT sostiene que la unificación cuantitativa es uno de los pilares del programa de gran unificación, que el MSSM la logra con notable precisión bajo supuestos de baja energía supersimétrica, y que el Modelo Estándar mínimo falla en unificación exacta.

---

## 1. Introducción

Las constantes de acoplamiento gauge no son constantes rígidas en el sentido clásico. En teoría cuántica de campos, los acoplamientos “corren” con la escala de energía  $\mu$  debido a efectos de polarización del vacío y fluctuaciones virtuales. Esta evolución se describe mediante ecuaciones del grupo de renormalización. En el Modelo Estándar, las tres constantes asociadas a  $U(1)_Y$ ,  $SU(2)_L$  y  $SU(3)_c$  se aproximan entre sí a energías muy altas, pero no se cruzan exactamente en un único punto bajo el contenido mínimo de partículas.

La ERM introduce el campo de resurgencia  $\Omega$  y un sector oculto asociado. La función de  $\Omega$  en la Fórmula III no es reemplazar la evolución estándar de los acoplamientos, sino modificar las condiciones de matching en la escala de unificación. La teoría se formula en términos de una



simetría unificada  $SO(10)$ , porque una representación espinorial **16** de  $SO(10)$  acomoda una familia completa del Modelo Estándar junto con un singlete que puede interpretarse como neutrino derecho; además, las representaciones de  $SO(10)$  son libres de anomalías en cuatro dimensiones.

En la ERM, la unificación gauge no se atribuye a una corrección idéntica para los tres acoplamientos. Una corrección universal puede redefinir  $\alpha_U$ , pero no cambia las diferencias  $\alpha_i^{-1} - \alpha_j^{-1}$ . Por ello, la Fórmula III usa correcciones no universales derivadas de operadores cinéticos gauge que contienen  $\Omega$  y campos de ruptura GUT, como  $\Sigma$ .

## 2. Fórmula III de la ERM

La fórmula principal es:

$$\alpha_i^{-1}(\mu) = \alpha_U^{-1} + \frac{b_i^{\text{SM}}}{2\pi} \ln \left( \frac{M_U}{\mu} \right) + \Delta_i^{2L} + \Delta_i^{\text{th}} + \Delta_i^{\Omega\text{-GUT}} + \Delta_i^X + \Delta_i^{KK}$$

donde:

$$b_i^{\text{SM}} = \left( \frac{41}{10}, -\frac{19}{6}, -7 \right)$$

para la normalización GUT de  $U(1)_Y$ .

Cada término cumple una función física específica.

$$\alpha_U$$

es el acoplamiento unificado.

$$M_U$$

es la escala de unificación.

$$\Delta_i^{2L}$$

representa correcciones de dos loops, incluyendo efectos de Yukawa y del sector de sabor.

$$\Delta_i^{\text{th}}$$

representa umbrales de partículas pesadas cercanas a  $M_U$ .

$$\Delta_i^{\Omega\text{-GUT}}$$



representa el aporte no universal del sector de resurgencia  $\Omega$ .

$$\Delta_i^X$$

representa mediadores vectorlike o estados cargados que conectan el sector oscuro con el visible.

$$\Delta_i^{KK}$$

representa modos de Kaluza-Klein del sector gauge, si existen cerca de la escala de unificación.

La Fórmula III se inspira en el hecho de que la unificación gauge se entiende naturalmente como un problema de teoría efectiva: por debajo de  $M_U$ , los campos pesados se integran fuera; cerca de  $M_U$ , sus masas, representaciones y umbrales modifican las condiciones de matching. La revisión del PDG sobre teorías de gran unificación describe precisamente este marco EFT, con estados pesados como bosones  $X$ , Higgs de ruptura GUT y tripletes de color cerca de la escala de unificación.

### 3. Grupo unificado y contenido mínimo

La ERM adopta como grupo de referencia:

$$G_U = SO(10).$$

El contenido mínimo se organiza como:

$$\Psi_i \in \mathbf{16}_F, i = 1, 2, 3,$$

$$H_{10} \in \mathbf{10}_H, \bar{\Delta} \in \mathbf{126}_H, \Sigma \in \mathbf{45}_H \oplus \mathbf{54}_H.$$

El campo de resurgencia se toma como singlete GUT:

$$\Omega \in \mathbf{1}_S.$$

Los heliones, si se incluyen en el mismo sector fenomenológico, se representan como singletes oscuros:

$$\chi \in \mathbf{1}_F, \mathbb{Z}_2^X: \chi \rightarrow -\chi.$$

Esta elección tiene dos ventajas. Primero,  $SO(10)$  integra naturalmente quarks, leptones y neutrino derecho en una sola representación. Segundo, permite generar neutrinos ligeros mediante mecanismos seesaw ligados a la escala de ruptura  $B - L$ , una estructura



ampliamente estudiada en modelos  $SO(10)$ . Modelos no supersimétricos  $SO(10)$  con escalas intermedias, correcciones de umbral y estimaciones de vida media del protón han sido analizados en la literatura, mostrando que la unificación no supersimétrica puede ser viable bajo condiciones específicas.

#### 4. Origen del término $\Delta_i^{\Omega-GUT}$

La contribución característica de la ERM viene de operadores cinéticos gauge modificados por  $\Omega$  y por el campo de ruptura GUT  $\Sigma$ :

$$\mathcal{L}_{\text{gauge}}^{SO(10)} = -\frac{1}{4g_U^2} \text{Tr}(F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}) - \frac{\eta_1}{4M_*^2} \Omega \text{Tr}(\Sigma F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}) - \frac{\eta_2}{4M_*^4} \Omega^2 \text{Tr}(\Sigma^2 F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}).$$

Cuando:

$$\langle \Omega \rangle = v_\Omega, \langle \Sigma \rangle = v_\Sigma T_\Sigma,$$

la función cinética gauge se vuelve distinta para cada subgrupo del Modelo Estándar:

$$\frac{1}{g_i^2} = \frac{1}{g_U^2} + \eta_1 \frac{v_\Omega v_\Sigma}{M_*^2} c_i^{(45)} + \eta_2 \frac{v_\Omega^2 v_\Sigma^2}{M_*^4} c_i^{(45^2)} + \dots$$

Por tanto:

$$\Delta_i^{\Omega-GUT} = 4\pi \left[ \eta_1 \frac{v_\Omega v_\Sigma}{M_*^2} c_i^{(45)} + \eta_2 \frac{v_\Omega^2 v_\Sigma^2}{M_*^4} c_i^{(45^2)} \right].$$

Los coeficientes:

$$c_i^{(r)} = \frac{\text{Tr}[T_i^2 \langle \Sigma_r \rangle]}{\text{Tr}(T_i^2)}$$

son coeficientes de grupo. No son parámetros libres arbitrarios. Su valor depende de la representación de  $\Sigma$ , de la dirección de ruptura y de la forma en que  $SO(10)$  se proyecta sobre:

$$SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y.$$

Esta es la pieza esencial: la resurgencia no entra como una constante igual para todas las fuerzas, sino como una corrección geométrico-grupal que distingue a los subgrupos.



## 5. Correcciones de umbral

Los campos pesados cercanos a la escala de unificación no suelen tener exactamente la misma masa. Cuando se integran fuera de la teoría efectiva, introducen umbrales:

$$\Delta_i^{\text{th}} = -\frac{1}{2\pi} \sum_A b_i^{(A)} \ln \left( \frac{M_A}{M_U} \right)$$

donde  $A$  recorre bosones  $X, Y$ , componentes pesadas de  $\Sigma$ , campos de Higgs GUT, tripletes de color, mediadores vectorlike y otros estados cercanos a  $M_U$ .

Esta clase de corrección no es un añadido artificial: es parte estándar del tratamiento EFT de GUTs. En modelos GUT no supersimétricos, la unificación precisa suele requerir nuevos estados, umbrales o escalas intermedias; el PDG señala que en GUTs no supersimétricos o con SUSY a escala alta, la unificación típicamente necesita estados ligeros incompletos, cadenas de ruptura o correcciones de umbral suficientemente grandes.

En la ERM, los umbrales cumplen dos funciones. Ajustan la convergencia de las curvas y conectan la escala de unificación con el sector  $\Omega$ , porque las masas pesadas pueden depender de  $v_\Omega$ :

$$M_A(\Omega) = M_A^{(0)} \exp \left[ -\xi_A \frac{v_\Omega^2}{M_*^2} \right].$$

Entonces:

$$\Delta_i^{\Omega\text{-th}} = -\frac{1}{2\pi} \sum_A b_i^{(A)} \ln \left[ \frac{M_A(\Omega)}{M_U} \right].$$

## 6. Correcciones por mediadores $X$

Si los heliones  $\chi$  son singletes puros, no modifican directamente el running gauge a un loop. Para afectar la unificación, necesitan mediadores cargados bajo el Modelo Estándar o bajo  $SO(10)$ . Introducimos un campo vectorlike:

$$X + \bar{X},$$

por ejemplo:

$$X \in \mathbf{10}_F \text{ o } X \in \mathbf{16}_F + \bar{\mathbf{16}}_F.$$

Su contribución es:



$$\Delta_i^X = -\frac{1}{2\pi} b_i^X \ln \left( \frac{M_X}{M_U} \right).$$

Este término permite que la materia oscura de resurgencia tenga una huella indirecta en la unificación. Si no existe  $X$ , el helión puede seguir siendo materia oscura, pero no ayuda de forma significativa al running gauge.

---

## 7. Correcciones de Kaluza-Klein

Si hay una dimensión gauge de radio  $R_G$ , los modos de Kaluza-Klein contribuyen mediante:

$$\Delta_i^{KK} = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=1}^{N_*} b_i^{(n)} \ln \left( \frac{M_U}{M_n} \right)$$

con:

$$M_n^2 = M_0^2 + \frac{n^2}{R_G^2}.$$

La ERM distingue dos escalas:

$$R_\Omega \text{ para el sector oculto de resurgencia}$$

y:

$$R_G \sim M_U^{-1} \text{ para el sector gauge.}$$

Esta separación es crucial. Una dimensión micrométrica accesible a los campos gauge del Modelo Estándar produciría modos ultraligeros fuertemente restringidos. Por tanto, el radio asociado a resurgencia no debe identificarse automáticamente con el radio de propagación gauge. En el sector gauge, la compactificación debe estar cerca de la escala de unificación o los campos visibles deben estar localizados en una brana efectiva.

---

## 8. Condición de cierre de la Fórmula III

La unificación se determina resolviendo simultáneamente:

$$\alpha_1^{-1}(M_U) = \alpha_2^{-1}(M_U) = \alpha_3^{-1}(M_U)$$



lo que equivale a dos condiciones independientes:

$$\alpha_1^{-1}(M_U) - \alpha_2^{-1}(M_U) = 0$$

$$\alpha_2^{-1}(M_U) - \alpha_3^{-1}(M_U) = 0.$$

Sustituyendo la Fórmula III:

$$\frac{b_1 - b_2}{2\pi} \ln \left( \frac{M_U}{\mu} \right) + \Delta_{12}^{2L} + \Delta_{12}^{\text{th}} + \Delta_{12}^{\Omega\text{-GUT}} + \Delta_{12}^X + \Delta_{12}^{KK} = \alpha_2^{-1}(\mu) - \alpha_1^{-1}(\mu)$$

$$\frac{b_2 - b_3}{2\pi} \ln \left( \frac{M_U}{\mu} \right) + \Delta_{23}^{2L} + \Delta_{23}^{\text{th}} + \Delta_{23}^{\Omega\text{-GUT}} + \Delta_{23}^X + \Delta_{23}^{KK} = \alpha_3^{-1}(\mu) - \alpha_2^{-1}(\mu)$$

donde:

$$\Delta_{ij} = \Delta_i - \Delta_j.$$

Esta forma muestra por qué la no universalidad es indispensable: solo las diferencias  $\Delta_i - \Delta_j$  pueden cambiar la convergencia relativa de las curvas.

### 9. Significado físico de la Fórmula III

La Fórmula III dice que las fuerzas del Modelo Estándar pueden ser manifestaciones de una interacción común a escalas altas, pero que su convergencia exacta depende de la estructura del sector pesado. La ERM introduce una contribución nueva: el campo  $\Omega$ , al acoplarse a operadores cinéticos gauge junto con  $\Sigma$ , puede desplazar de manera distinta las tres constantes.

En lenguaje simple:

las fuerzas no se unen porque reciben una misma corrección;

se unen porque el sector  $\Omega$  corrige de manera distinta a cada subgrupo.

Esto convierte a  $\Omega$  en un “mediador de matching” entre la física de resurgencia y la física de gran unificación.

### 10. Implicaciones físicas

La primera implicación es que la unificación ERM puede ser no supersimétrica. No requiere supercompañeros ligeros como condición central. Esto no prueba que la supersimetría sea falsa; solo muestra una ruta alternativa.



La segunda implicación es que la unificación se vuelve dependiente de la representación GUT. Los coeficientes  $c_i^{(45)}$ ,  $c_i^{(45^2)}$  no pueden elegirse libremente. Deben calcularse a partir de  $SO(10)$ , de la dirección de ruptura y del contenido pesado.

La tercera implicación es que la Fórmula III queda conectada con la Fórmula II: los Yukawas efectivos, masas de mediadores y posibles heliones influyen en  $\Delta_i^{2L}$ ,  $\Delta_i^X$  y  $\Delta_i^{\text{th}}$ .

La cuarta implicación es que la unificación genera predicciones indirectas: vida media del protón, masas de bosones  $X, Y$ , operadores de dimensión seis, neutrinos derechos, mediadores oscuros y posibles desviaciones en precisión electrodébil.

## 11. Aplicaciones

La aplicación inmediata de la Fórmula III es construir benchmarks de unificación. Un benchmark ERM debe especificar:

$$\boxed{M_U, \alpha_U, v_\Omega, v_\Sigma, M_*, M_A, M_X, R_G.}$$

También debe calcular:

$$\boxed{\alpha_s(M_Z), \sin^2 \theta_W(M_Z), \tau_p, C_i^{(6)}, m_\nu.}$$

La precisión de  $\alpha_s(M_Z)$  es especialmente relevante, porque la constante fuerte se extrae de múltiples procesos con incertidumbres experimentales y teóricas; una reducción de su incertidumbre mejora las pruebas de precisión del Modelo Estándar y de nueva física.

Otra aplicación es el diseño de operadores efectivos de dimensión seis:

$$\boxed{\mathcal{L}_{\text{eff}}^{(6)} = \sum_a \frac{C_a}{M_U^2} \mathcal{O}_a^{(6)}.}$$

Entre ellos aparecen operadores que pueden inducir decaimiento del protón:

$$\boxed{\mathcal{O}_p \sim \frac{g_U^2}{M_X^2} (qqql).}$$

La vida media aproximada escala como:

$$\boxed{\tau_p \propto \frac{M_X^4}{\alpha_U^2 m_p^5}.}$$



Por ello, toda versión fenomenológica de la Fórmula III debe confrontarse con límites de decaimiento del protón. Super-Kamiokande, por ejemplo, reporta límites de vida media parcial de  $\tau/B(p \rightarrow e^+\pi^0) > 2.4 \times 10^{34}$  años y  $\tau/B(p \rightarrow \mu^+\pi^0) > 1.6 \times 10^{34}$  años al 90% C.L.

## 12. Comparación con otros trabajos

Marco	Mecanismo de unificación	Ventaja	Dificultad	Relación con ERM
Modelo Estándar mínimo	Running gauge estándar	Confirmado experimentalmente a bajas energías	No unifica exactamente	ERM añade matching no universal
MSSM	Cambio de beta functions por supercompañeros	Unificación precisa bajo hipótesis de SUSY baja	No se han observado supercompañeros	ERM busca una ruta no supersimétrica
$SU(5)$ mínimo	Grupo simple elegante	Históricamente fundamental	Problemas de proton decay y masas	ERM prefiere $SO(10)$
$SO(10)$ no SUSY	Familias completas en <b>16</b> , neutrinos derechos	Muy estructurado	Requiere umbrales/escalas intermedias	ERM toma $SO(10)$ como base
Orbifold/extra dimensiones	Umbrales KK y ruptura geométrica	Flexible para matching	Compactificación y proton decay	ERM incluye $\Delta_i^{KK}$ con $R_G$ alto
String thresholds	Correcciones UV a cinética gauge	Natural en teorías de cuerdas	Dependencia de compactificación	ERM usa operadores $\Omega \Sigma F^2$ como análogo EFT
ERM	Matching no universal inducido por $\Omega$	Une resurgencia, GUT y sector oscuro	Requiere derivar coeficientes $c_i$ y umbrales	Propuesta integradora

La literatura reciente sobre unificación muestra que las correcciones no universales son precisamente las que pueden cambiar la escala o la posibilidad de unificación completa; si las correcciones a los acoplamientos no abelianos son iguales, la escala queda anclada cerca de la unificación parcial del Modelo Estándar, mientras que correcciones desiguales permiten mover la unificación.



### 13. Datos

#### “El Modelo Estándar no unifica exactamente.”

La ERM no afirma que el Modelo Estándar mínimo unifique. La Fórmula III introduce umbrales, mediadores, correcciones de dos loops y una contribución  $\Omega - \text{GUT}$  no universal. El fallo de unificación exacta del Modelo Estándar es precisamente la motivación para añadir estructura.

#### “Una corrección universal no puede producir unificación.”

Una corrección universal  $\Delta$  se cancela en:

$$(\alpha_i^{-1} + \Delta) - (\alpha_j^{-1} + \Delta) = \alpha_i^{-1} - \alpha_j^{-1}.$$

Por eso la ERM no basa la Fórmula III en una corrección universal. La contribución relevante es:

$$\Delta_i^{\Omega-\text{GUT}} \neq \Delta_j^{\Omega-\text{GUT}}.$$

La parte universal, si existe, solo redefine  $\alpha_U$ .

#### “Los parámetros de umbral permiten ajustar cualquier cosa.”

Los umbrales deben calcularse a partir de un modelo mínimo definido: grupo  $SO(10)$ , representaciones, masas de campos pesados, dirección de ruptura y potencial escalar. La ERM debe producir una tabla cerrada de  $M_A, b_i^{(A)}, c_i^{(r)}$  y no tratarlos como constantes libres.

#### “Una dimensión micrométrica generaría modos gauge ultraligeros.”

Si los campos gauge se propagan en esa dimensión. La ERM separa:

$$R_\Omega \text{ sector de resurgencia}$$

de:

$$R_G \sim M_U^{-1} \text{ sector gauge.}$$

Esta separación evita torres KK visibles sub-eV incompatibles con datos.

#### “ $SO(10)$ predice decaimiento del protón.”

Sí. Eso no es un defecto; es una prueba. La ERM debe calcular  $\tau_p$  y demostrar compatibilidad con límites actuales. Si el modelo predice  $\tau_p$  por debajo de los límites de Super-Kamiokande,



queda descartado. Si predice una vida media cercana a  $10^{35}$  años, queda como objetivo para Hyper-Kamiokande y futuras búsquedas.

**“La conexión entre  $\Omega$  y los acoplamientos gauge parece ad hoc.”**

La conexión debe provenir de operadores gauge cinéticos permitidos por simetría:

$$\Omega \text{Tr}(\Sigma F^2), \Omega^2 \text{Tr}(\Sigma^2 F^2).$$

Si  $\Omega$  es singlete y  $\Sigma$  rompe  $SO(10)$ , estos operadores son naturales en una EFT suprimida por  $M_*$ . Su predictividad depende de calcular los coeficientes o acotarlos por datos.

**“La unificación sin supersimetría suele requerir escalas intermedias.”**

La ERM puede incorporar una escala intermedia  $M_I$ , por ejemplo asociada a  $B - L$ , Pati-Salam o neutrinos derechos. Modelos no supersimétricos  $SO(10)$  con una escala intermedia han sido estudiados y pueden ser compatibles con unificación, masas de neutrinos y límites de proton decay bajo ciertas condiciones.

#### 14. Programa fenomenológico sugerido

Una formulación publicable de la Fórmula III debe seguir una ruta clara.

Primero, fijar el grupo y las representaciones:

$$SO(10), \mathbf{16}_F, \mathbf{10}_H, \mathbf{126}_H, \mathbf{45}_H \text{ o } \mathbf{54}_H.$$

Segundo, calcular:

$$c_i^{(45)}, c_i^{(45^2)}, b_i^{(A)}, M_A.$$

Tercero, resolver las ecuaciones:

$$\alpha_1(M_U) = \alpha_2(M_U) = \alpha_3(M_U)$$

incluyendo dos loops, umbrales y  $\Delta_i^{\Omega\text{-GUT}}$ .

Cuarto, comprobar proton decay:

$$\tau_p > 2.4 \times 10^{34} \text{ años para } p \rightarrow e^+ \pi^0.$$

Quinto, conectar con neutrinos:

$$M_\nu \simeq -M_D^T M_R^{-1} M_D.$$



Sexto, verificar que los mediadores  $X$  y el sector  $\Omega$  no violen límites de precisión electrodébil ni colisionadores.

## 15. Texto técnico sugerido para publicación

La Fórmula III de la ERM describe la unificación gauge como un problema de matching efectivo entre el Modelo Estándar y una simetría unificada  $SO(10)$ . La evolución infrarroja de los acoplamientos está gobernada por los coeficientes beta del Modelo Estándar, mientras que la convergencia exacta a la escala  $M_U$  se obtiene mediante correcciones de dos loops, umbrales pesados y una contribución no universal inducida por el campo de resurgencia  $\Omega$ . La expresión general es:

$$\alpha_i^{-1}(\mu) = \alpha_U^{-1} + \frac{b_i^{\text{SM}}}{2\pi} \ln \left( \frac{M_U}{\mu} \right) + \Delta_i^{2L} + \Delta_i^{\text{th}} + \Delta_i^{\Omega\text{-GUT}} + \Delta_i^X + \Delta_i^{KK}.$$

La contribución distintiva de la ERM es:

$$\Delta_i^{\Omega\text{-GUT}} = 4\pi \left[ \eta_1 \frac{v_\Omega v_\Sigma}{M_*^2} c_i^{(45)} + \eta_2 \frac{v_\Omega^2 v_\Sigma^2}{M_*^4} c_i^{(45^2)} \right].$$

Esta corrección surge de operadores cinéticos gauge de la forma  $\Omega \text{Tr}(\Sigma F_{\mu\nu} F^{\mu\nu})$  y  $\Omega^2 \text{Tr}(\Sigma^2 F_{\mu\nu} F^{\mu\nu})$ . Después de la ruptura  $SO(10) \rightarrow SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ , los coeficientes de grupo  $c_i$  difieren para los tres subgrupos, produciendo una corrección no universal. La unificación se alcanza cuando las diferencias  $\Delta_i - \Delta_j$ , junto con los umbrales pesados, compensan el desajuste residual del running del Modelo Estándar.

## 16. Conclusión

La Fórmula III de la Teoría de Resurgencia de la Materia propone una vía concreta para conectar el sector  $\Omega$  con la unificación gauge. Su aporte central es abandonar la idea de una corrección idéntica para todas las fuerzas y reemplazarla por un matching no universal derivado de la estructura de  $SO(10)$ . En esta formulación, el campo  $\Omega$  actúa como un modulador de la función cinética gauge a través del campo de ruptura  $\Sigma$ , generando desplazamientos distintos en  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$ .

La ecuación central puede resumirse así:

$$\alpha_i^{-1}(\mu) = \alpha_U^{-1} + \frac{b_i^{\text{SM}}}{2\pi} \ln \left( \frac{M_U}{\mu} \right) + \Delta_i^{\Omega\text{-GUT}} + \Delta_i^{\text{th}} + \dots$$

y su tesis física es:

Las fuerzas se unifican no por recibir el mismo desplazamiento, sino por recibir la proyección correcta del sector de resurgencia.



## Fórmula IV: Acción madre efectiva, simetrías fundamentales y cierre dinámico de la teoría

La **Fórmula IV de la Teoría de Resurgencia de la Materia** ERM define la acción madre de la teoría. Su función es reunir en un solo marco efectivo la gravedad, las interacciones gauge, el sector de masas, el campo de resurgencia  $\Omega$ , los heliones  $\chi$ , la dinámica tensorial del medio  $\Omega$ -sólido y los operadores efectivos que conectan la teoría con el Modelo Estándar y con una posible completación  $SO(10)$ . En la arquitectura de la ERM, la Fórmula IV no debe entenderse como una “ecuación final del todo” ya demostrada, sino como una **acción efectiva unificada y falsable**, desde la cual se derivan las demás fórmulas: la densidad sub-vacío y tensión activa de la Fórmula I, las masas geométricas y heliones de la Fórmula II, y el matching gauge no universal de la Fórmula III. La ERM organiza sus fórmulas alrededor de una acción que debe contener gravedad, campos gauge, fermiones y sector  $\Omega$ .

La forma compacta de la Fórmula IV es:

$$S_{\text{ERM}} = \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{M_{\text{Pl}}^2}{2} F_{\Omega}(\Omega, \Phi^I) R - \Lambda + \mathcal{L}_{\text{gauge}}^{SO(10)} + \mathcal{L}_{\text{matter}} + \mathcal{L}_{\text{scalar}} + \mathcal{L}_{\Omega\text{-solid}} + \mathcal{L}_{\chi} + \mathcal{L}_{\text{EFT}}^{(5,6)} \right].$$

Su tesis física es:

La resurgencia no es un término aislado: es una estructura de campos, simetrías y tensores de energía-momento.

---

## 1. Introducción

Una teoría física fundamental no se define solo por ecuaciones de movimiento particulares; se define por una **acción**. La acción determina qué campos existen, qué simetrías respetan, cómo interactúan, qué cantidades se conservan y qué observables pueden calcularse. En el Modelo Estándar, el principio gauge  $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$  organiza las interacciones fuertes, débiles y electromagnéticas mediante una teoría cuántica de campos renormalizable; el mecanismo de Higgs, confirmado experimentalmente por ATLAS y CMS mediante el descubrimiento de una partícula compatible con el bosón de Higgs alrededor de 125 GeV, completa la generación de masas de los bosones electrodébiles.

La relatividad general, por otro lado, describe la gravedad mediante una acción geométrica: la acción de Einstein-Hilbert. Su ecuación de campo,

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu},$$

muestra que la curvatura no responde solamente a la masa, sino al tensor energía-momento completo. La ERM toma esta lección como principio central: para hablar de energía sub-vacío, tensión activa o curvatura, no basta con una densidad escalar; se necesita una acción que produzca  $T_{\mu\nu}$  por variación funcional.



La Fórmula IV cumple ese papel. Es la acción madre efectiva desde la cual se derivan los bloques observables de la ERM. Su forma está inspirada en cuatro marcos conocidos: el Modelo Estándar como teoría gauge; las teorías de gran unificación, especialmente  $SO(10)$ , donde una generación completa de fermiones puede alojarse en una representación  $\mathbf{16}_F$  junto con un neutrino derecho; las teorías efectivas con operadores de dimensión superior; y los enfoques de gravedad cuántica efectiva o seguridad asintótica estudiados mediante grupo de renormalización funcional.

---

## 2. Simetrías de la Fórmula IV

La versión mínima de la ERM adopta el grupo de simetría:

$$\mathcal{G}_{\text{ERM}} = \text{Diff}_4 \times SO(10) \times SO(3)_\Omega \times \mathbb{Z}_2^\chi.$$

Cada factor tiene una función precisa.

$$\text{Diff}_4$$

representa invariancia bajo difeomorfismos 4D. Es la simetría geométrica de la gravedad.

$$SO(10)$$

organiza la unificación gauge y el contenido de materia. En una teoría  $SO(10)$ , cada generación del Modelo Estándar, más un neutrino derecho, puede alojarse en una representación  $\mathbf{16}_F$ , lo que convierte a  $SO(10)$  en una de las estructuras GUT más económicas y estudiadas.

$$SO(3)_\Omega$$

es una simetría interna del medio  $\Omega$ -sólido. Permite formular tensiones anisotrópicas o casi isotrópicas mediante tres campos internos  $\Phi^I$ .

$$\mathbb{Z}_2^\chi$$

protege la estabilidad del helión más ligero:

$$\mathbb{Z}_2^\chi: \chi \rightarrow -\chi, \text{ campos visibles} \rightarrow \text{campos visibles.}$$

Esta simetría impide que el helión decaiga únicamente en partículas visibles y lo convierte en candidato a materia oscura.



### 3. Contenido de campos

La Fórmula IV no deja sectores libres. El contenido mínimo se especifica así:

Campo	Representación	Función física
$g_{\mu\nu}$	tensor geométrico	gravidad
$A_\mu^{SO(10)}$	adjunta <b>45</b>	interacción gauge unificada
$\Psi_i$	<b>16<sub>F</sub></b> , $i = 1,2,3$	familias de quarks, leptones y $N_R$
$H_{10}$	<b>10<sub>H</sub></b>	Higgs / masas Dirac
$\bar{\Delta}$	<b>12<sub>6H</sub></b>	masas de neutrinos derechos / seesaw
$\Sigma$	<b>45<sub>H</sub></b> o <b>54<sub>H</sub></b>	ruptura GUT
$\Omega$	singlete <b>1<sub>S</sub></b>	campo de resurgencia
$\Phi^I, I = 1,2,3$	vector de $SO(3)_\Omega$	medio $\Omega$ -sólido
$\chi$	singlete fermiónico <b>1<sub>F</sub></b>	helión / materia oscura
$X + \bar{X}$	vectorlike	mediadores opcionales de portal y umbral

La presencia de **12<sub>6H</sub>** permite implementar un mecanismo seesaw para neutrinos:

$$M_\nu \simeq -M_D^T M_R^{-1} M_D.$$

Este punto es importante porque la física de neutrinos es una de las razones por las que  $SO(10)$  resulta atractivo: el neutrino derecho aparece de manera natural en la **16<sub>F</sub>**.

### 4. Fórmula IV: acción madre ERM

La acción efectiva mínima se define como:

$$S_{\text{ERM}} = \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{M_{\text{Pl}}^2}{2} F_\Omega(\Omega, \Phi^I) R - \Lambda + \mathcal{L}_{\text{gauge}}^{SO(10)} + \mathcal{L}_{\text{matter}} + \mathcal{L}_{\text{scalar}} + \mathcal{L}_{\Omega\text{-solid}} + \mathcal{L}_\chi + \mathcal{L}_{\text{EFT}}^{(5.6)} \right].$$

Esta es la forma de baja energía o 4D efectiva. Si se trabaja en 5D, cada término debe escribirse con dimensiones de campo y potencias de la escala de corte  $M_*$  correspondientes a  $D = 5$ . En publicación, conviene separar claramente la acción 4D efectiva de la acción 5D de origen para evitar inconsistencias dimensionales.



## 5. Sector gravitacional

El sector gravitacional es:

$$\mathcal{L}_{\text{grav}} = \frac{M_{\text{Pl}}^2}{2} F_{\Omega}(\Omega, \Phi^I) R - \Lambda.$$

El factor:

$$F_{\Omega}(\Omega, \Phi^I)$$

modula localmente el acoplamiento gravitatorio efectivo:

$$G_{\text{eff}} = \frac{G}{F_{\Omega}}.$$

En el régimen ordinario:

$$F_{\Omega} \rightarrow 1,$$

y se recupera la relatividad general estándar.

En una región de resurgencia, por ejemplo una cáscara  $\Omega$ -tensional:

$$F_{\Omega} = 1 + \xi_{\Omega} \frac{\Omega^2}{M_{\text{Pl}}^2} + \xi_{\Phi} \frac{\text{Tr}(B)}{M_*^4} + \dots$$

El tensor:

$$B^{IJ} = g^{\mu\nu} \partial_{\mu} \Phi^I \partial_{\nu} \Phi^J$$

mide deformaciones internas del medio  $\Omega$ -sólido.

Al variar la acción respecto a  $g^{\mu\nu}$ , se obtiene una ecuación de Einstein modificada:

$$F_{\Omega} G_{\mu\nu} + (g_{\mu\nu} \square F_{\Omega} - \nabla_{\mu} \nabla_{\nu} F_{\Omega}) = \frac{1}{M_{\text{Pl}}^2} T_{\mu\nu}^{\text{ERM}}.$$

Equivalente:

$$G_{\mu\nu} = \frac{1}{M_{\text{Pl}}^2 F_{\Omega}} T_{\mu\nu}^{\text{ERM}} + \frac{1}{F_{\Omega}} (\nabla_{\mu} \nabla_{\nu} F_{\Omega} - g_{\mu\nu} \square F_{\Omega}).$$



Esta ecuación es la conexión directa entre la Fórmula IV y la Fórmula I. La densidad sub-vacío y la tensión gravitacional activa no son postulados sueltos: surgen de  $T_{\mu\nu}^{\text{ERM}}$ .

---

## 6. Sector gauge $SO(10)$

El sector gauge se escribe como:

$$\mathcal{L}_{\text{gauge}}^{SO(10)} = -\frac{1}{4g_U^2} \text{Tr}(F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}) - \frac{\eta_1}{4M_*^2} \Omega \text{Tr}(\Sigma F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}) - \frac{\eta_2}{4M_*^4} \Omega^2 \text{Tr}(\Sigma^2 F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}).$$

El primer término es el cinético gauge unificado.

Los términos con  $\Omega$  y  $\Sigma$  son operadores efectivos de matching. Cuando:

$$\langle \Omega \rangle = v_\Omega, \langle \Sigma \rangle = v_\Sigma T_\Sigma,$$

la función cinética gauge se proyecta de manera distinta sobre los tres subgrupos del Modelo Estándar. Esto genera la Fórmula III:

$$\Delta_i^{\Omega\text{-GUT}} = 4\pi \left[ \eta_1 \frac{v_\Omega v_\Sigma}{M_*^2} c_i^{(45)} + \eta_2 \frac{v_\Omega^2 v_\Sigma^2}{M_*^4} c_i^{(45^2)} \right].$$

Así, la Fórmula IV genera la Fórmula III mediante ruptura de simetría y matching efectivo.

---

## 7. Sector de materia y Yukawa

El sector de materia queda:

$$\mathcal{L}_{\text{matter}} = \sum_{i=1}^3 \bar{\Psi}_i i\gamma^\mu D_\mu \Psi_i - [\Psi_i (Y_{10}^{ij} H_{10} + Y_{126}^{ij} \bar{\Delta}) \Psi_j + \text{h. c.}].$$

Después de la ruptura GUT y electrodébil, las matrices de masa visibles se obtienen por solapamientos geométricos, como en la Fórmula II:

$$(M_f)_{ij} = \frac{v}{\sqrt{2}} \int_0^{L_\Omega} dz e^{-4A(z)} \hat{\lambda}_{f,ij} h(z) f_{L_i}(z) f_{R_j}(z) F_\Omega(z; \rho_-).$$

La Fórmula IV, por tanto, no solo contiene términos de Yukawa: define el origen de los perfiles que aparecen en la Fórmula II.



## 8. Sector escalar

El potencial escalar mínimo es:

$$V_{\text{scalar}} = V_{\text{GUT}}(\Sigma, \bar{\Delta}, H_{10}) + V_{\Omega}(\Omega) + V_{\text{portal}}.$$

Una forma explícita es:

$$V_{\Omega}(\Omega) = \frac{1}{2} m_{\Omega}^2 \Omega^2 + \frac{\lambda_{\Omega}}{4} \Omega^4 + \frac{c_6}{6M_*^2} \Omega^6,$$
$$V_{\text{portal}} = \frac{\lambda_{H\Omega}}{2} \Omega^2 H^{\dagger} H + \frac{\lambda_{\Sigma\Omega}}{2} \Omega^2 \text{Tr}(\Sigma^2) + \frac{\lambda_{\Delta\Omega}}{2} \Omega^2 \text{Tr}(\bar{\Delta}^{\dagger} \bar{\Delta}).$$

La condición de estabilidad a grandes campos exige:

$$c_6 > 0$$

y, para estabilidad del vacío efectivo:

$$\lambda_{\Omega} > 0, \lambda_H > 0, \lambda_{H\Omega} > -2\sqrt{\lambda_H \lambda_{\Omega}}.$$

La confirmación experimental del bosón de Higgs establece que los campos escalares no son una abstracción decorativa: un campo escalar con excitación física observable es parte real de la física de partículas. La ERM extiende esa idea incorporando un singlete  $\Omega$ , cuyo papel debe probarse fenomenológicamente.

---

## 9. Sector $\Omega$ -sólido

Para que el campo  $\Omega$  pueda generar tensiones activas y no solo una densidad escalar, la ERM introduce tres campos internos:

$$\Phi^I, I = 1, 2, 3.$$

Se define:

$$B^{IJ} = g^{\mu\nu} \partial_{\mu} \Phi^I \partial_{\nu} \Phi^J.$$

La lagrangiana del medio  $\Omega$ -sólido es:

$$\mathcal{L}_{\Omega\text{-solid}} = -\mathcal{F}(B^{IJ}, \Omega) - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_{\mu} \Omega \partial_{\nu} \Omega - V_{\text{scr}}(\Omega).$$



El potencial de apantallamiento puede escribirse como:

$$V_{\text{scr}}(\Omega) = \frac{\lambda_{\text{scr}}}{4} (\Omega^2 - v_{\Omega}^2)^2 + \frac{\rho_m}{2M_c^2} \Omega^2.$$

Este término permite que  $\Omega$  esté activo en regiones controladas y fuertemente suprimido en entornos donde ya existen límites de quinta fuerza o pruebas de gravedad. Es una estrategia similar en espíritu a campos escalares apantallados usados en modelos de gravedad modificada.

El tensor energía-momento se obtiene por variación:

$$T_{\mu\nu}^{\Omega} = - \frac{2}{\sqrt{-g}} \frac{\delta S_{\Omega}}{\delta g^{\mu\nu}}.$$

En un medio anisótropo:

$$T_{\nu}^{\mu} = \text{diag}(-\rho_{\Omega} c^2, p_r, p_{\theta}, p_{\phi}).$$

Entonces la densidad gravitacional activa asociada es:

$$\rho_{\text{act}} = \rho_{\Omega} + \frac{p_r + p_{\theta} + p_{\phi}}{c^2} + \tilde{\rho}_{\text{QFT}}.$$

Esta es la conexión formal entre la Fórmula IV y la Fórmula I.

---

## 10. Sector heliónico

El helión  $\chi$  se introduce como fermión singlete:

$$\chi \sim (1,1,0)_{\text{SM}}, \chi \in \mathbf{1}_F.$$

Su lagrangiana mínima es:

$$\mathcal{L}_{\chi} = \frac{1}{2} \bar{\chi} i \gamma^{\mu} \partial_{\mu} \chi - \frac{1}{2} (M_{\chi} + y_{\chi} \Omega) \bar{\chi} \chi.$$

La simetría:

$$\mathbb{Z}_2^{\chi}: \chi \rightarrow -\chi$$



garantiza la estabilidad del helión más ligero.

La masa efectiva queda:

$$m_{\chi_n}^2 = M_\chi^2 + y_\chi^2 v_\Omega^2 + \frac{\lambda_n}{R_\Omega^2} + \Delta m_{\chi_n}^2 (\rho_-).$$

El interés cosmológico de este sector está motivado por la evidencia de materia oscura: Planck obtiene  $\Omega_c h^2 \simeq 0.120$ , lo que exige grados de libertad no explicados por la materia bariónica ordinaria.

---

## 11. Operadores efectivos de dimensión 5 y 6

La ERM debe ser tratada como una teoría efectiva por debajo de una escala de corte  $M_*$ . Por tanto:

$$\mathcal{L}_{\text{EFT}}^{(5,6)} = \frac{c_v}{\Lambda} (LH)(LH) + \sum_a \frac{C_a}{M_*^2} \mathcal{O}_a^{(6)}.$$

El operador de Weinberg:

$$\frac{c_v}{\Lambda} (LH)(LH)$$

produce masas de neutrinos después de la ruptura electrodébil.

Los operadores de dimensión seis pueden incluir:

$$\mathcal{O}_{H\Omega} = (H^\dagger H)\Omega^2,$$

$$\mathcal{O}_{\Omega F} = \Omega^2 F_{\mu\nu} F^{\mu\nu},$$

$$\mathcal{O}_{\text{proton}} \sim qqql.$$

Los operadores que inducen decaimiento de protón deben estar fuertemente suprimidos. En modelos GUT, el decaimiento del protón no es una molestia secundaria: es una de las pruebas experimentales más importantes del marco.

---

## 12. Cuantización y flujo renormalizado

La Fórmula IV se cuantiza mediante la acción efectiva promedio:

$$\Gamma_k[g_{\mu\nu}, A_\mu, \Psi, H, \Omega, \Phi^I, \chi, \dots].$$



Su flujo se estudia con la ecuación tipo Wetterich:

$$\partial_t \Gamma_k = \frac{1}{2} \text{STr} \left[ \left( \Gamma_k^{(2)} + \mathcal{R}_k \right)^{-1} \partial_t \mathcal{R}_k \right], t = \ln k.$$

Esta ecuación no es un término dentro del lagrangiano; es una ecuación de flujo para la acción efectiva. El grupo de renormalización funcional se usa en gravedad cuántica y seguridad asintótica para estudiar si las interacciones gravitatorias poseen un punto fijo UV no trivial, conocido como punto fijo de Reuter.

La condición de completación UV es:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{g}_A(k) = \tilde{g}_A^*$$

para todos los acoplamientos adimensionales relevantes, y:

$$N_{\text{relevant}} < \infty.$$

Sin esta condición, la ERM debe presentarse como teoría efectiva con escala de corte. Con esta condición demostrada, podría aspirar a una completación UV predictiva.

### 13. Relación con la simetría $\mathcal{PT}$

En la ERM, la acción fundamental se toma hermítica para preservar unitaridad estándar. La simetría  $\mathcal{PT}$  puede aparecer como simetría efectiva en la dinámica abierta de resurgencia, especialmente en la Fórmula V, donde el sector visible intercambia información con el sector  $\Omega$ .

Si se usa una descripción no hermítica efectiva, debe imponerse pseudo-hermiticidad:

$$H_{\text{eff}}^\dagger \eta = \eta H_{\text{eff}}, \eta > 0.$$

La teoría  $\mathcal{PT}$ -simétrica muestra que ciertos Hamiltonianos no hermíticos pueden tener espectros reales y una evolución físicamente aceptable si la simetría no está rota y si existe una métrica positiva adecuada; no basta escribir un término no hermítico para garantizar unitaridad.

Por tanto, la ERM adopta esta regla:

la acción fundamental es hermítica; la no-hermiticidad solo se permite como descripción efectiva controlada.



## 14. Cómo la Fórmula IV genera las otras fórmulas

### 14.1. Generación de la Fórmula I

La Fórmula I surge del tensor energía-momento:

$$T_{\mu\nu}^{\text{ERM}} = -\frac{2}{\sqrt{-g}} \frac{\delta S_{\text{ERM}}}{\delta g^{\mu\nu}}.$$

La densidad sub-vacío local es:

$$\bar{\rho}_{\text{QFT}} \left( \begin{array}{c} - \\ \end{array} \right) = -\min \left[ \rho_{-}^{\text{raw}}, C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 t^4}, \frac{E_{+}^{\text{comp}}}{V_{\ell}} \right].$$

La densidad activa es:

$$\rho_{\text{act}} = \rho_{\Omega} + \frac{p_r + p_{\theta} + p_{\phi}}{c^2} + \bar{\rho}_{\text{QFT}} \left( \begin{array}{c} - \\ \end{array} \right).$$

Así, la energía negativa no es un añadido externo: es una propiedad renormalizada del tensor energía-momento derivado de la acción.

---

### 14.2. Generación de la Fórmula II

La Fórmula II surge de los términos de Yukawa y de la compactificación efectiva:

$$(M_f)_{ij} = \frac{v}{\sqrt{2}} \int dz e^{-4A} \hat{\lambda}_{f,ij} h(z) f_{L_i}(z) f_{R_j}(z) F_{\Omega}(z; \rho_{-}).$$

El campo  $\Omega$  no solo aporta una escala; aporta un perfil y una modulación dinámica.

---

### 14.3. Generación de la Fórmula III

La Fórmula III surge de los operadores cinéticos gauge:

$$\Omega \text{Tr}(\Sigma F^2), \Omega^2 \text{Tr}(\Sigma^2 F^2).$$

Después de la ruptura GUT, estos operadores generan:

$$\Delta_i^{\Omega\text{-GUT}} \neq \Delta_j^{\Omega\text{-GUT}}.$$



#### 14.4. Generación de la dinámica de resurgencia

Al integrar grados de libertad no observados del sector  $\Omega$ , la evolución efectiva del sector visible puede adoptar forma de sistema abierto:

$$\partial_\tau \rho = -i[H_{\text{ERM}}, \rho] + \sum_{\alpha} \left[ L_{\alpha} \rho L_{\alpha}^{\dagger} - \frac{1}{2} \{L_{\alpha}^{\dagger} L_{\alpha}, \rho\} \right] - \partial_z J_{\rho}.$$

Esta ecuación conserva la traza y la positividad de la matriz densidad si los operadores  $L_{\alpha}$  están correctamente definidos. La resurgencia, por tanto, no implica creación desde la nada; implica transferencia conservativa entre sectores.

---

#### 15. Implicaciones físicas

La primera implicación de la Fórmula IV es que la ERM queda formulada como una teoría de campos. Esto permite calcular tensores, masas, corrientes, amplitudes y condiciones de estabilidad.

La segunda implicación es que la resurgencia no se identifica con un fenómeno aislado, sino con una estructura de interacción:

$$\Omega \leftrightarrow g_{\mu\nu}, \Omega \leftrightarrow F_{\mu\nu}, \Omega \leftrightarrow M_f, \Omega \leftrightarrow \chi.$$

La tercera implicación es cosmológica. El sector  $\chi$  puede dar una contribución a materia oscura, mientras que el sector  $\Omega$ -sólido puede modificar tensiones efectivas sin necesidad de que toda la energía local sea negativa.

La cuarta implicación es fenomenológica. La teoría no puede sostenerse solo por elegancia matemática: debe producir predicciones sobre masas, acoplamientos, proton decay, detección directa de heliones, desviaciones de precisión electrodébil y posibles efectos de quinta fuerza.

---

#### 16. Aplicaciones

La Fórmula IV permite construir modelos concretos para:

1. **Masas y sabor:** mediante perfiles y solapamientos geométricos.
2. **Materia oscura:** mediante el helión  $\chi$  protegido por  $\mathbb{Z}_2^{\chi}$ .
3. **Unificación gauge:** mediante operadores  $\Omega \Sigma F^2$ .
4. **Curvatura activa:** mediante el tensor  $T_{\mu\nu}^{\Omega}$  y el acoplamiento  $F_{\Omega} R$ .
5. **Fenomenología EFT:** mediante operadores de dimensión 5 y 6.



6. **Cosmología:** mediante el sector oscuro  $\Omega + \chi$ .
7. **Gravedad modificada local:** mediante  $F_\Omega(\Omega, \Phi^I)$ , siempre sujeto a límites de quinta fuerza y estabilidad.

## 17. Comparación con otros marcos

Marco	Acción simetría	Fortalezas	Limitaciones	Relación con ERM
Modelo Estándar	$SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$	Confirmado con alta precisión	No incluye gravedad ni materia oscura	ERM lo contiene como límite visible
Relatividad General	$\int \sqrt{-g} R$	Gravedad clásica muy exitosa	No cuántica perturbativamente	ERM conserva el núcleo geométrico
Kaluza-Klein	dimensiones extra	Une geometría y gauge	Compactificación y modos KK problemáticos	ERM usa dimensión efectiva de resurgencia
Randall-Sundrum	geometría warped	Explica jerarquías	Sabor y precisión electrodébil difíciles	ERM adopta solapamientos con $\Omega$
$SO(10)$ GUT	grupo simple	Una familia en $\mathbf{16}_F$ , neutrinos derechos	Proton decay, escala alta, umbrales	ERM usa $SO(10)$ como completación
SMEFT	operadores $d > 4$	Muy sistemático	No explica origen de operadores	ERM da origen $\Omega$ a algunos operadores
Asymptotic safety	FRG / punto fijo UV	Posible completación de gravedad	No demostrada en teoría completa	ERM la usa como criterio, no como afirmación
$\mathcal{PT}$ -QM	pseudo-hermiticidad	No-hermiticidad controlada	Requiere métrica positiva	ERM la usa solo como descripción efectiva
ERM	$SO(10) + \Omega + \chi + \Omega$ -sólido	Une masas, materia oscura, matching y tensión activa	Requiere derivaciones y datos	Marco nuevo y falsable



## 18. Soporte teórico y experimental

La Fórmula IV se apoya en bloques que sí tienen soporte independiente.

El bloque gauge se apoya en el Modelo Estándar, una teoría gauge basada en  $SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y$ , con quarks y leptones organizados en tres familias y con interacciones descritas mediante campos gauge.

El bloque escalar se apoya en la existencia del Higgs, cuya observación alrededor de 125 GeV confirmó la presencia de un campo escalar asociado a la ruptura electrodébil.

El bloque GUT se apoya en la estructura teórica de  $SO(10)$ , donde una generación completa, incluyendo un neutrino derecho, cabe en  $\mathbf{16}_F$ .

El bloque de materia oscura se apoya en la evidencia cosmológica de una componente no bariónica dominante, con  $\Omega_c h^2 \simeq 0.120$ .

El bloque de renormalización funcional se apoya en el uso de la ecuación de Wetterich para estudiar flujos no perturbativos y posibles puntos fijos UV en gravedad cuántica.

El bloque  $\mathcal{PT}$  se apoya en la literatura de Hamiltonianos  $\mathcal{PT}$ -simétricos, pero con una advertencia central: solo es físicamente aceptable si hay simetría no rota y métrica positiva.

Estos soportes no demuestran la ERM completa. Demuestran que sus piezas están conectadas con estructuras físicas existentes. La validación de la ERM exige predicciones nuevas.

---

## 19. Dato

**“La acción es demasiado amplia; puede ajustar cualquier cosa.”**

La versión publicable de la ERM debe fijar el grupo, campos y representaciones desde el inicio:

$$SO(10), \mathbf{16}_F, \mathbf{10}_H, \mathbf{126}_H, \mathbf{45}_H, \Omega, \Phi^I, \chi.$$

Además, debe clasificar parámetros en medidos, derivados, ajustados y predichos. Una acción amplia solo se vuelve teoría científica si reduce libertad mediante simetrías y predicciones.

**“La gravedad con  $F_\Omega R$  puede introducir fantasmas o inestabilidades.”**

Toda variante con acoplamiento no mínimo debe satisfacer:

$$F_\Omega > 0,$$

$$M_{\text{Pl,eff}}^2 = M_{\text{Pl}}^2 F_\Omega > 0,$$

$$c_s^2 \geq 0, m_{\text{eff}}^2 > 0.$$



Además, el modelo debe probar ausencia de inestabilidades escalares y vectoriales alrededor del fondo elegido.

**“ $\mathcal{PT}$  no garantiza unitaridad.”**

Correcto. Por eso la ERM formula la acción fundamental como hermítica. Si se usa un Hamiltoniano efectivo no hermítico, debe demostrarse:

$$H_{\text{eff}}^\dagger \eta = \eta H_{\text{eff}}, \eta > 0.$$

Sin esa métrica positiva, la descripción no es físicamente aceptable.

**“El FRG no vuelve automáticamente renormalizable a la teoría.”**

Correcto. La ecuación FRG es una herramienta de análisis, no un término mágico. La ERM solo puede afirmar completación UV si demuestra un punto fijo:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \tilde{g}_A(k) = \tilde{g}_A^*$$

con número finito de direcciones relevantes:

$$N_{\text{relevant}} < \infty.$$

**“ $SO(10)$  predice decaimiento de protón.”**

Sí. La ERM debe calcular los operadores de dimensión seis y confrontarlos con límites experimentales. Si predice una vida media menor que los límites actuales, queda descartada. Si predice una vida media cercana al alcance de Hyper-Kamiokande, se vuelve falsable.

**“La dimensión de resurgencia puede producir modos KK ultraligeros.”**

La ERM debe separar:

$$R_\Omega \text{ sector oculto}$$

de:

$$R_G \text{ sector gauge.}$$



Los campos gauge visibles no deben propagarse libremente en una dimensión micrométrica, salvo que se introduzca un mecanismo de localización o apantallamiento que evite torres KK excluidas.

**“Los heliones pueden estar excluidos por detección directa.”**

La acción no fija automáticamente una sección eficaz visible grande. Si el helión es materia oscura dominante, sus portales deben respetar límites actuales de detección directa. Esto impone restricciones fuertes sobre  $\lambda_{H\chi}$ , mediadores  $X$ , canales inelásticos o producción freeze-in.

**“La teoría no está establecida experimentalmente.”**

Correcto. La ERM debe presentarse como teoría efectiva propuesta. Su validación requiere predicciones: masas y mezclas, señales de helión, proton decay, operadores de dimensión seis, desviaciones de precisión y posibles efectos de  $\Omega$ .

---

## 20. Programa de investigación sugerido

Una publicación completa de la Fórmula IV debería proponer una ruta concreta:

1. Definir el espectro mínimo de campos y representaciones.
2. Derivar  $T_{\mu\nu}^{\Omega}$  explícitamente.
3. Calcular condiciones de estabilidad del sector  $\Omega$ -sólido.
4. Derivar perfiles de la Fórmula II desde ecuaciones de movimiento.
5. Calcular  $\Delta_i^{\Omega-GUT}$  desde coeficientes de grupo.
6. Evaluar proton decay.
7. Calcular abundancia relicta y detección directa de  $\chi$ .
8. Resolver el flujo FRG en truncaciones controladas.
9. Comparar con datos de precisión.
10. Proponer un benchmark falsable.

---

## 21. Conclusión

La Fórmula IV de la ERM es la columna vertebral de la teoría. Su función no es declarar una teoría final, sino definir una acción efectiva desde la cual se puedan calcular masas, tensores, acoplamientos, heliones, unificación y dinámica de resurgencia.



La forma compacta es:

$$S_{\text{ERM}} = \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{M_{\text{Pl}}^2}{2} F_{\Omega} R - \Lambda + \mathcal{L}_{\text{gauge}}^{SO(10)} + \mathcal{L}_{\text{matter}} + \mathcal{L}_{\text{scalar}} + \mathcal{L}_{\Omega\text{-solid}} + \mathcal{L}_{\chi} + \mathcal{L}_{\text{EFT}}^{(5,6)} \right].$$

Su poder reside en que no trata la resurgencia como una metáfora, sino como una estructura de acción:

campos + simetrías + tensores + operadores efectivos + criterios de estabilidad.

La tesis final puede expresarse así:

La materia resurge porque el campo, la geometría y el vacío pertenecen a una misma acción conservativa.



## Fórmula V: Ecuación dinámica de resurgencia conservativa, kernel de transformación y flujo entre sectores

La **Fórmula V de la Teoría de Resurgencia de la Materia** ERM introduce la ecuación dinámica que gobierna el tránsito, transformación y reaparición de excitaciones entre el sector visible 4D, el sector de resurgencia  $\Omega$ , los heliones  $\chi$  y una frontera dinámica de intercambio. La ERM no interpreta la creación o destrucción aparente de materia como una violación de conservación, sino como una transferencia entre sectores de un sistema físico más amplio. La materia observable puede perder identidad local en 4D, propagarse por el sector  $\Omega$ , transformarse mediante un kernel de transición y reaparecer como otra excitación, siempre respetando conservación total de energía, momento, cargas e información.

La Fórmula V se escribe como una ecuación maestra de sistema cuántico abierto con transporte en una dimensión efectiva de resurgencia:

$$\partial_\tau \rho = -i[H_{\text{ERM}}, \rho] + \sum_{\alpha} \left[ L_{\alpha} \rho L_{\alpha}^{\dagger} - \frac{1}{2} \{L_{\alpha}^{\dagger} L_{\alpha}, \rho\} \right] - \partial_z J_{\rho}.$$

El kernel de transformación queda definido por:

$$\mathcal{K}_{a \rightarrow b} = \sum_{\alpha} \text{Tr} [P_b L_{\alpha} P_a L_{\alpha}^{\dagger}].$$

Esta ecuación es la pieza que convierte a la ERM en una teoría dinámica: las primeras fórmulas describen energía sub-vacío, masas, unificación y acción madre; la Fórmula V describe **cómo circula la existencia física dentro del sistema**.

---

### 1. Introducción

La física moderna acepta que los sistemas observables rara vez están completamente aislados. Un átomo emite radiación, un qubit pierde coherencia al interactuar con su entorno, una partícula inestable decae en otras partículas y un agujero negro plantea preguntas profundas sobre el destino de la información. En todos estos casos, la descripción de un subsistema puede parecer no conservativa, pero la teoría completa debe preservar reglas fundamentales: positividad de probabilidades, conservación de la traza, causalidad, energía-momento y consistencia de la información cuántica.

La ERM parte de esta misma lógica. La materia visible no se considera un bloque cerrado, sino un sector observable de una estructura mayor. En este marco, una partícula puede “desaparecer” de nuestra descripción 4D no porque se destruya absolutamente, sino porque su estado se transfiere a grados de libertad no observados directamente. Este tránsito se representa por una coordenada efectiva de resurgencia:



$$z \in [0, L_\Omega],$$

donde  $z = 0$  representa la brana o sector visible 4D, mientras que regiones  $z > 0$  representan el dominio  $\Omega$ , los modos ocultos, heliones y posibles condiciones de borde dinámicas.

Matemáticamente, la Fórmula V se apoya en el formalismo de sistemas cuánticos abiertos. La forma general de los generadores completamente positivos y preservadores de traza fue establecida por Gorini, Kossakowski, Sudarshan y Lindblad en 1976; esta estructura, conocida hoy como ecuación GKSL o Lindblad, es el lenguaje estándar para describir evolución Markoviana de subsistemas cuánticos sin perder consistencia probabilística.

## 2. Enunciado de la Fórmula V

La Fórmula V se expresa como:

$$\partial_\tau \rho(z, \tau) = -i[H_{\text{ERM}}(z, \tau), \rho(z, \tau)] + \sum_\alpha \left[ L_\alpha \rho L_\alpha^\dagger - \frac{1}{2} \{L_\alpha^\dagger L_\alpha, \rho\} \right] - \partial_z J_\rho(z, \tau).$$

Aquí:

$$\rho(z, \tau)$$

es la matriz densidad efectiva del sistema en la coordenada de resurgencia  $z$  y en el parámetro evolutivo  $\tau$ .

$$H_{\text{ERM}}$$

es el Hamiltoniano efectivo derivado de la acción madre de la ERM.

$$L_\alpha$$

son operadores de salto que describen transiciones entre sectores, por ejemplo:

$$\text{visible} \rightarrow \Omega$$

$$\Omega \rightarrow \chi$$

$$\chi \rightarrow \text{visible}$$

$$a \rightarrow b.$$

El término:

$$-i[H_{\text{ERM}}, \rho]$$



describe la evolución unitaria ordinaria.

El término de Lindblad:

$$\sum_{\alpha} \left[ L_{\alpha} \rho L_{\alpha}^{\dagger} - \frac{1}{2} \{L_{\alpha}^{\dagger} L_{\alpha}, \rho\} \right]$$

describe transformaciones efectivas al ignorar grados de libertad no observados directamente.

El término:

$$- \partial_z J_{\rho}$$

describe flujo a lo largo de la dimensión de resurgencia.

---

### 3. Corriente de resurgencia

La corriente de resurgencia se define como:

$$J_{\rho}(z, \tau) = -D_{\rho}(z, \tau) \partial_z \rho(z, \tau) + v_{\rho}(z, \tau) \rho(z, \tau).$$

El primer término es difusivo:

$$-D_{\rho} \partial_z \rho,$$

y representa dispersión, pérdida de localización o migración gradual hacia el sector  $\Omega$ .

El segundo término es convectivo:

$$v_{\rho} \rho,$$

y representa transporte dirigido entre brana, bulk y frontera de resurgencia.

La ecuación:

$$\partial_{\tau} \rho + \partial_z J_{\rho} = \mathcal{L}_{\text{ERM}}[\rho]$$

puede leerse como una ecuación de continuidad cuántica generalizada: lo que desaparece localmente de un sector reaparece como flujo o como transformación en otro.



#### 4. Kernel de transformación

La cantidad físicamente más importante de la Fórmula V es el kernel:

$$\mathcal{K}_{a \rightarrow b} = \sum_{\alpha} \text{Tr} [P_b L_{\alpha} P_a L_{\alpha}^{\dagger}].$$

Aquí:

$$P_a, P_b$$

son proyectores sobre los subespacios de excitaciones  $a$  y  $b$ .

El kernel  $\mathcal{K}_{a \rightarrow b}$  mide la tasa efectiva con la cual una excitación de tipo  $a$  puede transformarse en una excitación de tipo  $b$ .

Por ejemplo:

$$e^{-} \rightarrow \Omega_e$$

no significa que el electrón se destruya sin compensación; significa que el estado electrónico visible puede acoplarse a un grado de libertad oculto con las mismas cargas conservadas o con cargas compensadas por campos acompañantes.

Un canal oscuro permitido puede escribirse como:

$$a \rightarrow b + \chi + \bar{\chi},$$

si el balance de energía, momento y cargas se conserva.

En una aproximación perturbativa, los operadores de salto pueden escribirse como:

$$L_{a \rightarrow b}(z) = \sqrt{\Gamma_{a \rightarrow b}(z)} |b, z\rangle \langle a, z|.$$

La tasa se obtiene, en primera aproximación, mediante regla de oro de Fermi:

$$\Gamma_{a \rightarrow b} = \frac{2\pi}{\hbar} |\langle b | H_{\text{int}}^{\Omega} | a \rangle|^2 \delta(E_b - E_a).$$

Si la frontera dinámica  $\Phi_M$  intercambia cuantos de energía  $\hbar\omega_M$ , la condición energética se generaliza a:

$$\delta(E_b - E_a) \rightarrow \delta(E_b - E_a - q\hbar\omega_M).$$



Esto permite formular resurgencia como una transición física, no como una metáfora.

---

## 5. Condiciones de consistencia

La Fórmula V solo es admisible si satisface condiciones estrictas.

### 5.1. Conservación de probabilidad

La evolución debe preservar la traza:

$$\text{Tr}\rho = 1.$$

Esto se garantiza si la parte disipativa tiene forma GKSL. Esa forma es precisamente la estructura matemática que asegura evolución completamente positiva y preservadora de traza en sistemas abiertos Markovianos.

### 5.2. Positividad

La matriz densidad debe permanecer positiva:

$$\rho \geq 0.$$

Sin esta condición, aparecerían probabilidades negativas, lo cual invalidaría la interpretación física.

### 5.3. Conservación de energía-momento

El sistema total debe cumplir:

$$\nabla_{\mu} T_{\text{total}}^{\mu\nu} = 0.$$

Y en forma integral:

$$\frac{d}{d\tau} [E_{4D} + E_{\Omega} + E_{\chi} + E_{\text{frontera}}] = 0.$$

La ERM permite pérdida aparente de energía en el sector visible, pero no pérdida total.

### 5.4. Conservación de cargas gauge

Para cargas exactas  $Q^A$ , se impone:

$$[Q^A, L_{\alpha}] = 0.$$

Equivalentemente:



$$\sum_b Q_b^A \mathcal{K}_{a \rightarrow b} = Q_a^A \sum_b \mathcal{K}_{a \rightarrow b}.$$

Esto prohíbe transmutaciones arbitrarias. Un electrón no puede resurgir como un quark sin que se compensen carga eléctrica, color, número bariónico/leptónico efectivo y demás números cuánticos relevantes.

### 5.5. Conservación de información cuántica

La ERM no permite borrar información cuántica de manera absoluta. El teorema de no-deleting de Pati y Braunstein muestra que la linealidad de la mecánica cuántica impide eliminar perfectamente un estado cuántico desconocido conservando una copia intacta; de manera complementaria, el teorema de no-hiding indica que la información que desaparece de un subsistema debe residir en el entorno y no simplemente perderse.

Por tanto, la resurgencia debe escribirse como:

$$\text{información visible} \rightarrow \text{información en } \Omega, \chi, \Phi_M$$

y no como:

$$\text{información} \rightarrow \emptyset.$$


---

### 6. Frontera dinámica de resurgencia

La ERM puede incluir una condición de borde dinámica, denotada:

$$\Phi_M(z = L_\Omega, \tau).$$

Esta frontera no debe interpretarse como una entidad metafísica dentro del formalismo científico; se define como un reservorio dinámico o condición de borde que regula emisión, absorción y retorno de excitaciones.

Su ecuación efectiva es:

$$\partial_\tau \Phi_M = -\mathcal{M}_M^{-1} \frac{\delta \Gamma_{\text{ERM}}}{\delta \Phi_M} + \mathcal{S}_{\text{ret}} - \mathcal{S}_{\text{em}} + \eta_M.$$

Aquí:

$$\mathcal{S}_{\text{ret}}$$



representa flujo que retorna desde el sector visible o  $\Omega$ .

$$\boxed{\mathcal{S}_{em}}$$

representa emisión desde la frontera hacia el corredor de resurgencia.

$$\boxed{\eta_M}$$

representa ruido cuántico o fluctuación efectiva.

Esta ecuación permite que la Fórmula V sea dinámica y no fija. La teoría no postula una tabla rígida de transformaciones; postula un kernel evolutivo.

---

## 7. Flujo del kernel

El kernel de resurgencia puede depender de la escala de energía  $k$ . Por tanto:

$$\boxed{\partial_{\ln k} \mathcal{K}_{a \rightarrow b} = \beta_{ab}^{\mathcal{K}} [\mathcal{K}, \Omega, \chi, Y_f^{\text{eff}}, \alpha_i, \Gamma_k].}$$

Esto conecta la Fórmula V con las demás fórmulas de la ERM:

$$\boxed{Y_f^{\text{eff}}}$$

viene de la Fórmula II.

$$\boxed{\alpha_i}$$

viene de la Fórmula III.

$$\boxed{\Gamma_k}$$

viene de la Fórmula IV.

$$\boxed{\hat{\rho}_{\text{QFT}} \left( \begin{array}{c} - \\ - \end{array} \right)}$$

viene de la Fórmula I.

La resurgencia, entonces, no es un mecanismo aislado. Es el flujo global del sistema.



## 8. Interpretación física

La Fórmula V puede resumirse así:

una partícula visible puede entrar al sector  $\Omega$ , transformarse y reaparecer como otra excitación permitida.

Pero la palabra “permitida” es fundamental. Permitida significa:

compatible con energía, momento, carga, información y simetrías.

En este sentido, la ERM no niega la conservación clásica; la amplía. Lo que en 4D parece pérdida puede ser flujo hacia una dimensión efectiva. Lo que en 4D parece creación puede ser retorno desde el sector oculto.

---

## 9. Relación con la acción madre

La Fórmula V se deriva de la Fórmula IV al separar grados de libertad observados y no observados. Si el Hilbert total se escribe como:

$$\mathcal{H}_{\text{total}} = \mathcal{H}_{\text{vis}} \otimes \mathcal{H}_{\Omega} \otimes \mathcal{H}_{\chi} \otimes \mathcal{H}_{\Phi_M},$$

entonces el estado visible es:

$$\rho_{\text{vis}} = \text{Tr}_{\Omega, \chi, \Phi_M} \rho_{\text{total}}.$$

La evolución total puede ser unitaria:

$$\partial_{\tau} \rho_{\text{total}} = -i[H_{\text{total}}, \rho_{\text{total}}],$$

mientras que la evolución reducida de  $\rho_{\text{vis}}$  toma forma de sistema abierto. Esta es una distinción decisiva: la no-unitaridad efectiva del sector visible no implica no-unitaridad fundamental.

El formalismo de Schwinger-Keldysh o de camino temporal cerrado se usa precisamente para describir evolución en tiempo real, no equilibrio y sistemas abiertos mediante duplicación de grados de libertad e influencia del entorno.



## 10. Implicaciones físicas

### 10.1. Resurgencia de materia

La Fórmula V permite describir procesos donde la identidad visible cambia:

$$a_{\text{visible}} \rightarrow \Omega_a \rightarrow b_{\text{visible}}$$

o:

$$a_{\text{visible}} \rightarrow \chi_n + \text{sector oculto.}$$

Esto puede interpretarse como resurgencia si  $b \neq a$ , siempre que las reglas de conservación se respeten.

### 10.2. Materia oscura

Los heliones  $\chi_n$  aparecen como estados donde parte de la excitación puede permanecer oculta. La Fórmula V permite calcular tasas de producción:

$$\dot{n}_\chi = \sum_a \int dz \mathcal{K}_{a \rightarrow \chi}(z) n_a(z).$$

Esto conecta la resurgencia con cosmología y abundancia relicta.

### 10.3. Energía sub-vacío y QET

La Fórmula V también permite describir protocolos de redistribución energética. La teleportación cuántica de energía —QET— ha sido implementada en hardware cuántico superconductor, mostrando que pueden transferirse recursos energéticos mediante operaciones locales, comunicación clásica y correlaciones cuánticas. Esto no implica energía libre; sí muestra que energía y correlación pueden organizarse de manera no local dentro de las reglas cuánticas.

### 10.4. Información y termodinámica

La resurgencia debe respetar el costo termodinámico de borrar o ocultar información. El principio de Landauer vincula borrado lógico irreversible con disipación mínima, y su verificación experimental en memorias de un bit demuestra que información y termodinámica no son entidades separadas.

Esto refuerza una regla central de la ERM:

$$\text{resurgencia no es borrado; es transferencia física de información.}$$



## 11. Aplicaciones

### 11.1. Cosmología de sector oculto

La Fórmula V permite modelar producción de materia oscura mediante canales de resurgencia:

$$\boxed{\text{SM} \rightarrow \Omega \rightarrow \chi.}$$

La ecuación de Boltzmann modificada sería:

$$\boxed{\frac{dn_\chi}{dt} + 3Hn_\chi = -\langle\sigma v\rangle(n_\chi^2 - n_{\chi,\text{eq}}^2) + S_{\text{res}}.}$$

El término  $S_{\text{res}}$  representa producción por resurgencia.

### 11.2. Dinámica de masas

Como  $Y_f^{\text{eff}}$  depende de  $F_\Omega(z)$ , la Fórmula V puede describir pequeñas variaciones dinámicas de masas efectivas:

$$\boxed{\frac{\Delta m_f}{m_f} \propto \frac{|\tilde{\rho}_{\text{QFT}}|}{M_*^4}}$$

o variaciones inducidas por flujo hacia el sector  $\Omega$ .

### 11.3. Información cuántica

La Fórmula V se puede probar en simuladores cuánticos. Por ejemplo, qubits superconductores pueden implementar operadores de salto, canales disipativos, transferencia de excitación y protocolos QET. Los sistemas de superconducting qubits se modelan de manera natural como sistemas cuánticos abiertos acoplados a entornos, y la ecuación de Lindblad se usa extensamente para describir relajación y decoherencia.

### 11.4. Analogía con evaporación e información

La Fórmula V ofrece un lenguaje para estudiar pérdida aparente de información en un sector y recuperación en otro. Esto puede dialogar con problemas como decoherencia, thermalización y paradoja de información, siempre en una formulación conservativa.

### 11.5. Ingeniería de curvatura

En aplicaciones extremas, la Fórmula V podría regular flujos entre energía positiva, sector  $\Omega$ , heliones y tensiones activas. Esto no sustituye a las ecuaciones de Einstein ni permite energía libre, pero sí proporciona un mecanismo formal para estabilizar una cáscara dinámica de campos.



## 12. Comparación con trabajos relacionados

Marco	Qué describe	Conservación	Diferencia con ERM
Decaimientos del Modelo Estándar	Transiciones entre partículas visibles	Energía, carga y momento	No incluye corredor $\Omega$ ni resurgencia
Lindblad / GKSL	Sistemas cuánticos abiertos	Traza y positividad	ERM añade transporte en $z$ y kernel físico $a \rightarrow b$
Schwinger-Keldysh	Dinámica fuera de equilibrio	Unitaridad total en contorno cerrado	ERM lo usa para derivar dinámica reducida
QET	Transferencia energética por correlaciones	No crea energía neta	ERM puede usarlo como canal de redistribución
No-hiding / no-deleting	Conservación de información cuántica	Información no se destruye	ERM interpreta “destrucción” como transferencia
Kaluza-Klein	Dimensiones extra y modos discretos	Depende del modelo	ERM añade transformación entre sectores
Branon / materia oscura de brana	Excitaciones ocultas de geometría	Estabilidad por simetría	ERM introduce heliones como excitaciones de $\Omega$
ERM Fórmula V	Resurgencia conservativa	Energía, carga, momento e información	Une sistema abierto, flujo extra-dimensional y kernel de transformación

La novedad de la Fórmula V no está en inventar la ecuación de Lindblad, sino en usar esa estructura como base para una teoría de resurgencia: un marco donde desaparición visible, tránsito oculto y reaparición observable son fases de una misma dinámica.

## 13. Datos

### “La fórmula suena metafísica.”

En formulación científica, la resurgencia no se define como afirmación metafísica, sino como una dinámica de matriz densidad con operadores de salto, corriente en  $z$ , kernel  $\mathcal{K}_{a \rightarrow b}$  y leyes de conservación. La teoría es evaluable si produce tasas, canales y observables.



**“La materia no puede crearse ni destruirse.”**

La ERM no propone creación o destrucción absoluta. Propone transferencia entre sectores. La ecuación:

$$\frac{d}{dt}(E_{4D} + E_{\Omega} + E_{\chi} + E_{\text{frontera}}) = 0$$

impone conservación total. En 4D puede parecer creación o desaparición; en el sistema completo es flujo.

**“La evolución de Lindblad no es unitaria.”**

La evolución reducida de un subsistema no es unitaria porque se han trazado grados de libertad. La evolución total puede seguir siendo unitaria. Esta es precisamente la lógica de los sistemas cuánticos abiertos. La forma GKSL preserva positividad y traza del estado reducido.

**“El kernel  $\mathcal{K}_{a \rightarrow b}$  parece arbitrario.”**

El kernel debe derivarse de operadores de salto  $L_{\alpha}$ , y estos, a su vez, de interacciones en la acción madre:

$$L_{a \rightarrow b} \sim \sqrt{\frac{2\pi}{\hbar}} | \langle b | H_{\text{int}}^{\Omega} | a \rangle |^2 \rho_b(E) | b \rangle \langle a |.$$

Además, simetrías gauge,  $\mathbb{Z}_2^{\chi}$ , conservación de cargas y límites experimentales restringen fuertemente qué canales son posibles.

**“Podría permitir transmutaciones imposibles.”**

No. La ERM impone:

$$[Q^A, L_{\alpha}] = 0.$$

Esto impide violar carga eléctrica, color, hipercarga u otras simetrías exactas. Una transformación  $a \rightarrow b$  solo es admisible si los campos adicionales compensan todos los números cuánticos.



**“Puede violar causalidad.”**

La ERM debe imponer localidad efectiva y velocidades de propagación compatibles con la estructura causal. El término  $-\partial_z J_\rho$  describe transporte en z, no señal superluminal en 4D. Cualquier protocolo QET asociado requiere comunicación clásica y no permite comunicación más rápida que la luz.

**“El formalismo Markoviano puede ser demasiado simple.”**

Correcto. La forma de Lindblad es una primera aproximación Markoviana. Para memoria fuerte, correlaciones no locales o acoplamiento intenso, la ERM debe usar una generalización no Markoviana, por ejemplo mediante kernel temporal:

$$\partial_\tau \rho(\tau) = -i[H, \rho(\tau)] + \int_0^\tau d\tau' \mathcal{M}(\tau - \tau') \rho(\tau') - \partial_z J_\rho.$$

La Fórmula V es la forma mínima; no agota todas las dinámicas posibles.

**“No hay evidencia experimental directa de resurgencia.”**

La Fórmula V debe tratarse como hipótesis efectiva. Sus componentes sí tienen soporte: sistemas abiertos, QET, termodinámica de información, no-deleting y no-hiding. La ERM completa requiere predicciones nuevas: tasas de producción de heliones, modulación de masas, señales de energía faltante, o anomalías compatibles con un sector  $\Omega$ .

**14. Programa experimental sugerido**

La Fórmula V puede someterse a prueba por etapas.

**Etapas 1: simulador cuántico de resurgencia**

Construir un sistema de qubits con tres subespacios:

$$\mathcal{H}_{\text{vis}}, \mathcal{H}_\Omega, \mathcal{H}_\chi.$$

Implementar operadores de salto controlados:

$$L_{a \rightarrow b} = \sqrt{\Gamma_{ab}} |b\rangle\langle a|.$$

Medir conservación de traza, positividad y recuperación de información en el entorno.



## Etapa 2: QET controlado

Usar hardware superconductor para implementar transferencia energética condicionada por medición y comunicación clásica. El objetivo no es generar energía neta, sino verificar redistribución de energía entre regiones acopladas por correlación. La realización de QET en hardware superconductor ya proporciona una plataforma conceptual cercana.

## Etapa 3: búsqueda de heliones

Definir canales:

$$\boxed{SM \rightarrow \Omega \rightarrow \chi\chi.}$$

Buscar energía faltante en colisionadores, señales indirectas cosmológicas o dispersión directa si existe portal visible.

## Etapa 4: pruebas de información

Diseñar experimentos donde información “perdida” del sector visible se recupere desde un ancilla que representa  $\Omega$ . Este tipo de prueba conecta la ERM con el teorema de no-hiding, ya verificado experimentalmente en sistemas NMR.

---

## 15. Texto técnico sugerido para publicación

La Fórmula V de la ERM introduce una ecuación maestra de resurgencia para la dinámica reducida de excitaciones visibles y ocultas. La matriz densidad  $\rho(z, \tau)$  evoluciona bajo un Hamiltoniano efectivo  $H_{\text{ERM}}$ , un conjunto de operadores de salto  $L_\alpha$  y una corriente  $J_\rho$  a lo largo de una coordenada efectiva de resurgencia  $z$ . La ecuación toma la forma:

$$\partial_\tau \rho = -i[H_{\text{ERM}}, \rho] + \sum_\alpha \left[ L_\alpha \rho L_\alpha^\dagger - \frac{1}{2} \{L_\alpha^\dagger L_\alpha, \rho\} \right] - \partial_z J_\rho.$$

El kernel de transformación entre excitaciones  $a$  y  $b$  se define como:

$$\mathcal{K}_{a \rightarrow b} = \sum_\alpha \text{Tr} [P_b L_\alpha P_a L_\alpha^\dagger].$$

Esta construcción asegura que la transformación aparente de materia en 4D sea interpretada como transferencia entre sectores de un sistema físico mayor. La consistencia de la teoría requiere  $\text{Tr} \rho = 1$ ,  $\rho \geq 0$ ,  $\nabla_\mu T_{\text{total}}^{\mu\nu} = 0$ , conservación de cargas gauge y conservación total de información. La resurgencia no es aniquilación absoluta, sino evolución reducida de un sistema total más amplio.



## 16. Conclusión

La Fórmula V es la ecuación que da movimiento interno a la Teoría de Resurgencia de la Materia. Las primeras fórmulas describen ingredientes: energía sub-vacío, masas geométricas, unificación gauge y acción madre. La Fórmula V describe el proceso: cómo una excitación entra al sector  $\Omega$ , cómo se transforma, cómo puede emerger como helión o como partícula visible, y cómo se conservan energía, momento, cargas e información.

La forma esencial es:

$$\partial_\tau \rho = -i[H_{\text{ERM}}, \rho] + \sum_{\alpha} \left[ L_{\alpha} \rho L_{\alpha}^{\dagger} - \frac{1}{2} \{L_{\alpha}^{\dagger} L_{\alpha}, \rho\} \right] - \partial_z J_{\rho}.$$

Y su tesis física puede resumirse así:

la materia no desaparece: cambia de sector, pierde forma visible y resurge bajo reglas de conservación.

La Fórmula V es científicamente valiosa porque traduce una intuición profunda la materia como ciclo de tránsito y transformación al lenguaje de sistemas cuánticos abiertos, kernels de transición, corrientes extra-dimensionales y leyes de conservación. Su futuro dependerá de una tarea clara: derivar  $\mathcal{K}_{\alpha \rightarrow b}$  desde la acción madre, calcular tasas observables y construir simuladores cuánticos que prueben la resurgencia como fenómeno físico efectivo.

En la ERM, la resurgencia no es magia: es continuidad conservativa bajo otra forma.



## Motor de Energía Negativa por Resurgencia para propulsión espacial

### Resumen

Se presenta el **MEN-ERM — Motor de Energía Negativa por Resurgencia**, una arquitectura de propulsión espacial basada en las cinco fórmulas de la **Teoría de Resurgencia de la Materia**. El objetivo del motor no es extraer energía libre del vacío ni producir empuje sin reacción, sino utilizar regiones sub-vacío, tensiones activas del sector  $\Omega$ , heliones  $\chi$  y dinámica de resurgencia para construir una **boquilla tensorial** capaz de colimar, acelerar y estabilizar un flujo real de momento: plasma, fotones o partículas oscuras controladas.

La versión físicamente viable del MEN-ERM se formula como un motor espacial híbrido: una fuente externa de potencia alimenta un acelerador de plasma y un sistema de campo  $\Omega$ ; la energía negativa local actúa como medio de control del tensor energía-momento, no como combustible gratuito. Por tanto, el motor conserva energía, momento, carga e información. La nave debe construirse y operar en el espacio, donde el vacío, la criogenia, el aislamiento vibracional, la radiación térmica y la escala estructural hacen posible un dispositivo de este tipo.

La arquitectura ERM relaciona generación de energía sub-vacío, jerarquía de masas, heliones, unificación gauge, acción madre y dinámica de resurgencia como un sistema interconectado.

---

### 1. Introducción

La energía negativa local es una posibilidad permitida por la teoría cuántica de campos, pero no puede acumularse arbitrariamente ni convertirse en energía libre. El efecto Casimir demuestra experimentalmente que las condiciones de frontera pueden modificar el estrés del vacío; Lamoreaux midió la fuerza de Casimir en el rango  $0.6\text{--}6\ \mu\text{m}$  con acuerdo aproximado del 5% respecto a la teoría. Los estados comprimidos de luz, usados en detectores gravitacionales como LIGO para reducir ruido cuántico, muestran que las fluctuaciones del vacío pueden manipularse experimentalmente. La teleportación cuántica de energía ha sido demostrada en hardware cuántico superconductor, aunque como redistribución energética condicionada por medición y comunicación clásica, no como fuente neta gratuita.

El problema para una nave espacial es distinto: no basta con crear una región de energía negativa; hay que producir **empuje**. Por conservación de momento, un sistema cerrado no puede acelerar su centro de masa sin expulsar momento o intercambiarlo con un campo externo. La ecuación clásica de empuje de cohete expresa precisamente esta realidad: el empuje proviene del flujo de masa, la velocidad de salida y la diferencia de presión en la tobera.

Por eso, el MEN-ERM se formula como:

potencia externa $\rightarrow$ campo $\Omega$ $\rightarrow$ estrés negativo local $\rightarrow$ boquilla tensorial $\rightarrow$ escape con momento $\rightarrow$ empuje.
--



La energía negativa no sustituye al escape. Lo organiza.

---

## 2. Principio físico del MEN-ERM

El motor se basa en tres reglas.

Primera:

no hay energía libre.

Toda energía negativa utilizable debe ser local, compensada y bombeada.

Segunda:

no hay empuje sin momento expulsado.

El motor mueve una nave porque expulsa plasma, fotones o partículas oscuras controladas.

Tercera:

la energía negativa se usa como geometría activa de campo.

Su función principal es modificar el tensor de estrés alrededor de la tobera para aumentar colimación, reducir divergencia del chorro, estabilizar el plasma y, en una etapa avanzada, producir una cáscara subluminal de curvatura débil.

El MEN-ERM queda definido como:

$$\text{MEN-ERM} = [\text{ERM-I} + \text{ERM-II} + \text{ERM-III} + \text{ERM-IV} + \text{ERM-V}] \Rightarrow T_{\mu\nu}^{\text{MEN}} \Rightarrow F_z.$$

---

## 3. Uso de las cinco fórmulas de resurgencia

### 3.1. Fórmula I: energía negativa local y tensión activa

La primera fórmula proporciona la densidad sub-vacío local:

$$\bar{\rho}_{-}^{\text{MEN}} = -\min \left[ \rho_{-}^{\text{raw}}, C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4}, \frac{E_{+}^{\text{comp}}}{V_{\ell}}, \frac{E_{\text{pump}}^{\Omega}}{V_{\ell}} \right].$$



Aquí,  $\rho_-^{\text{raw}}$  es la energía negativa bruta preparada por estados comprimidos, cavidades, Casimir, QET o interacción  $\Omega$ ;  $C_{\text{QI}}\hbar/(c^3\tau^4)$  es el límite de desigualdad cuántica;  $E_+^{\text{comp}}$  es la compensación positiva; y  $E_{\text{pump}}^\Omega$  es la energía de bombeo disponible.

Las desigualdades cuánticas imponen límites severos a la magnitud y duración de la energía negativa; Pfenning y Ford mostraron que estas restricciones vuelven físicamente inalcanzables las burbujas warp clásicas dominadas por energía negativa cuántica ordinaria.

Por eso, el MEN-ERM usa también la densidad gravitacional activa:

$$\rho_{\text{act}}^{\text{MEN}} = \rho_\Omega + \frac{p_r + p_\theta + p_\phi}{c^2} + \bar{\rho}_-^{\text{MEN}}.$$

Con tensiones del sector  $\Omega$ :

$$p_i = -w_i\rho_\Omega c^2,$$

se obtiene:

$$\rho_{\text{act}}^{\text{MEN}} = \rho_\Omega [1 - (w_r + w_\theta + w_\phi)] + \bar{\rho}_-^{\text{MEN}}.$$

Si:

$$w_r + w_\theta + w_\phi > 1,$$

entonces:

$$\rho_{\text{act}}^{\text{MEN}} < 0$$

aunque:

$$\rho_\Omega > 0.$$

Esta es la clave de estabilidad: el motor no depende de sostener enormes regiones de  $T_{00} < 0$ ; usa tensiones activas del medio  $\Omega$ .

### 3.2. Fórmula II: heliones y masa oscura controlada

La segunda fórmula aporta el sector de heliones:

$$m_{\chi_n}^2 = M_\chi^2 + y_\chi^2 v_\Omega^2 + \frac{\lambda_n}{R_\Omega^2} + \Delta m_{\chi_n}^2 (\rho_-).$$



Los heliones  $\chi_n$  son excitaciones oscuras del sector  $\Omega$ . En el MEN-ERM pueden tener dos funciones.

La primera es estabilizar el sector  $\Omega$  como grados de libertad oscuros internos.

La segunda, más avanzada, es funcionar como escape de momento de altísimo impulso específico:

$$F_\chi = \gamma_\chi \dot{m}_\chi v_\chi.$$

Si los heliones se crean desde energía, el motor paga su energía de reposo y energía cinética. Si se almacenan como masa de reacción oscura, el motor puede usarlos como propelente de baja masa y alta velocidad. En ambos casos se conserva energía.

### 3.3. Fórmula III: acoplamientos y portales

La tercera fórmula fija los acoplamientos entre el sector visible, el sector  $\Omega$ , mediadores  $X$  y posibles canales heliónicos:

$$\alpha_i^{-1}(\mu) = \alpha_U^{-1} + \frac{b_i^{\text{SM}}}{2\pi} \ln\left(\frac{M_U}{\mu}\right) + \Delta_i^{\Omega\text{-GUT}} + \Delta_i^{\text{th}} + \Delta_i^X + \dots$$

Para el motor, esta fórmula no produce empuje directamente. Su función es determinar qué acoplamientos son permitidos, qué mediadores existen, cómo se conecta  $\Omega$  al plasma, y si el canal heliónico es físicamente viable.

El término operacional relevante es:

$$\mathcal{L}_{\text{portal}} = g_{\Omega p} \Omega \bar{p} p + g_{\Omega \chi} \Omega \bar{\chi} \chi + \frac{c_{\Omega F}}{M_*^2} \Omega^2 F_{\mu\nu} F^{\mu\nu}.$$

### 3.4. Fórmula IV: acción madre y tensor energía-momento

La cuarta fórmula define la acción efectiva:

$$S_{\text{ERM}} = \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{M_{\text{Pl}}^2}{2} F_\Omega R + \mathcal{L}_{\text{SM/GUT}} + \mathcal{L}_{\Omega\text{-solid}} + \mathcal{L}_\chi + \mathcal{L}_{\text{portal}} \right].$$

De ella se deriva el tensor energía-momento del motor:



$$T_{\mu\nu}^{\text{MEN}} = -\frac{2}{\sqrt{-g}} \frac{\delta S_{\text{ERM}}}{\delta g^{\mu\nu}}.$$

El empuje del motor se calcula mediante flujo de momento:

$$F_i = \oint_{\partial V} \langle T_{ij}^{\text{MEN}} \rangle n^j dA.$$

Si la superficie está cerrada y no sale radiación, plasma ni partículas:

$$F_{\text{neto}} = 0.$$

Si la tobera está abierta:

$$F_{\text{neto}} \neq 0.$$

### 3.5. Fórmula V: dinámica de resurgencia

La quinta fórmula regula el flujo entre sectores:

$$\partial_\tau \rho = -i[H_{\text{ERM}}, \rho] + \sum_\alpha \left[ L_\alpha \rho L_\alpha^\dagger - \frac{1}{2} \{L_\alpha^\dagger L_\alpha, \rho\} \right] - \partial_z J_\rho.$$

El kernel de transformación es:

$$\mathcal{K}_{a \rightarrow b} = \sum_\alpha \text{Tr} [P_b L_\alpha P_a L_\alpha^\dagger].$$

En el motor:

$$\dot{N}_\chi = \int dV dz \mathcal{K}_{p \rightarrow \chi}(z) n_p(z).$$

Esto permite una conversión controlada:

$$\text{plasma ordinario} \rightarrow \Omega \rightarrow \chi \rightarrow \text{escape de momento.}$$

Pero siempre con:



$$\frac{d}{dt}(E_{\text{nave}} + E_{\Omega} + E_{\chi} + E_{\text{escape}}) = 0.$$

#### 4. Fórmula central del MEN-ERM

El empuje útil queda:

$$F_{\text{MEN}} = \eta_{\text{col}}^{\Omega} \dot{m}_p v_p + \eta_{\gamma} \frac{P_{\gamma}}{c} + \gamma_{\chi} \dot{m}_{\chi} v_{\chi} + F_{\text{stress}}^{\text{open}}.$$

Donde:

$$\dot{m}_p v_p$$

es el empuje del plasma ordinario.

$$\frac{P_{\gamma}}{c}$$

es el empuje fotónico.

$$\gamma_{\chi} \dot{m}_{\chi} v_{\chi}$$

es el empuje heliónico opcional.

$$F_{\text{stress}}^{\text{open}}$$

es la contribución tensorial si el campo  $\Omega$  transporta momento hacia fuera.

La eficiencia de colimación inducida por  $\Omega$  se modela como:

$$\eta_{\text{col}}^{\Omega} = \eta_{\text{col}}^0 + (1 - \eta_{\text{col}}^0) [1 - e^{-\mathcal{N}_{\Omega}}],$$

con:

$$\mathcal{N}_{\Omega} = \frac{|\int_{A_{\text{nozzle}}} \Delta T_{zz}^{\Omega, -} dA|}{\dot{m}_p v_p + P_{\gamma}/c + \gamma_{\chi} \dot{m}_{\chi} v_{\chi}}.$$

Así, la energía negativa no crea empuje de la nada: aumenta la fracción de momento expulsado en la dirección útil.



## 5. Balance energético

El motor debe cumplir:

$$P_{\text{core}} \geq P_{\text{acc}} + P_{\Omega} + P_{\text{QET}} + P_{\text{cryo}} + P_{\text{ctrl}} + P_{\text{loss}}.$$

La potencia de aceleración es:

$$P_{\text{acc}} = \frac{\dot{m}_p v_p^2}{2\eta_{\text{acc}}} + \frac{(\gamma_{\chi} - 1)\dot{m}_{\chi} c^2}{\eta_{\chi}} + \frac{P_{\gamma}}{\eta_{\gamma}}.$$

La energía negativa por ciclo debe cumplir:

$$E_{-}^{\text{MEN}} \leq \min \left[ \rho_{-}^{\text{raw}} V_{\ell}, C_{\text{QI}} \frac{\hbar V_{\ell}}{c^3 \tau^4}, E_{+}^{\text{comp}}, E_{\text{pump}}^{\Omega} \right].$$

Y la compensación positiva:

$$E_{+} \geq E_{-} \left[ 1 + J \left( \frac{\Delta t}{\tau} \right) \right].$$

Por tanto:

$$\eta_{\text{MEN}} = \frac{F_{\text{MEN}} v_{\text{nave}}}{P_{\text{core}}} < 1.$$

---

## 6. Arquitectura espacial del MEN-ERM

El motor debe construirse en el espacio. No es un motor de despegue terrestre; es una planta de propulsión orbital.

### 6.1. Módulo de potencia

Fuente recomendada:

$$P_{\text{core}} = 10\text{--}200 \text{ MW.}$$

Opciones:

fisión espacial, fusión futura, energía por haz, solar concentrada de gran escala.



## 6.2. Módulo de plasma

Propelente:

$H_2, Ar, Xe, Li, \text{ agua vaporizada}$

Velocidad de escape:

$$v_p = 50\text{--}500 \text{ km/s.}$$

## 6.3. Módulo MEN de campo $\Omega$

Incluye:

$\text{cavidades superconductoras} + \text{estados comprimidos} + \text{QET} + \text{anillos } \Omega + \text{control de fase.}$

La función de este módulo es crear:

$$\Delta T_{zz}^{\Omega,-}$$

alrededor de la tobera.

## 6.4. Boquilla tensorial

La boquilla no es una pieza mecánica tradicional. Es una región de campo:

$$\text{nozzle}_{\Omega} = [B_{\text{mag}}, \Omega, \bar{\rho}_-, T_{zz}^{\Omega}].$$

Su objetivo es elevar:

$$\eta_{\text{col}}^0 \rightarrow \eta_{\text{col}}^{\Omega}.$$

Por ejemplo:

$$\eta_{\text{col}}^0 = 0.75, \eta_{\text{col}}^{\Omega} = 0.92.$$

Esto representa una mejora de colimación, no creación de energía.

## 6.5. Módulo heliónico opcional

El canal heliónico se usa solo si la Fórmula II y la Fórmula V permiten producir, almacenar o acelerar  $\chi$  de forma controlada.

$$F_{\chi} = \gamma_{\chi} \dot{m}_{\chi} v_{\chi}.$$



Para un escape heliónico no relativista con:

$$v_\chi = 0.01c, F_\chi = 10 \text{ N},$$

se requiere:

$$\dot{m}_\chi \simeq 3.3 \times 10^{-6} \text{ kg/s},$$

y una potencia cinética aproximada de:

$$P_\chi \sim 25 \text{ MW}$$

para  $\eta_\chi \simeq 0.6$ . Es un canal de altísimo impulso específico, pero tecnológicamente mucho más especulativo que el plasma.

---

## 7. Ejemplo de diseño: MEN-ERM VX-50

Se propone un módulo orbital de referencia:

$$P_{\text{core}} = 50 \text{ MW}.$$

Asignación de potencia:

$$P_\Omega + P_{\text{cryo}} + P_{\text{ctrl}} = 10 \text{ MW},$$

$$P_{\text{acc}} = 40 \text{ MW}.$$

Con:

$$\eta_{\text{acc}} = 0.65, v_p = 300 \text{ km/s}, \eta_{\text{col}}^\Omega = 0.92,$$

la masa expulsada es:

$$\dot{m}_p = \frac{2\eta_{\text{acc}}P_{\text{acc}}}{v_p^2} = 5.8 \times 10^{-4} \text{ kg/s}.$$

El empuje axial es:

$$F_p = \eta_{\text{col}}^\Omega \dot{m}_p v_p \simeq 160 \text{ N}.$$



Para una nave de:

$$M_{\text{nave}} = 10^4 \text{ kg},$$

la aceleración es:

$$a = 1.6 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2.$$

El cambio de velocidad por día es:

$$\Delta v_{\text{día}} \approx 1.38 \text{ km/s.}$$

El consumo de propelente por día es:

$$m_{\text{día}} \approx 50 \text{ kg/día.}$$

Este rendimiento es útil para una nave interplanetaria de espacio profundo. No sirve para despegar desde la Tierra, pero sí para transporte orbital, remolcadores lunares, cargas a Marte, naves de transferencia rápida y misiones de alta  $\Delta v$ .

---

### 8. Modo de curvatura débil

El MEN-ERM puede incluir una cáscara de curvatura local, no como “warp superluminal”, sino como estabilizador de campo y reducción de divergencia espacial del escape.

La condición de curvatura se define como:

$$C_{\text{MEN}} = \frac{A_G | \rho_{\text{act}}^{\text{MEN}} |}{(c^4/32\pi G)(\beta^2/\delta^2)}.$$

El régimen de curvatura útil requiere:

$$C_{\text{MEN}} \geq 1.$$

Para el MEN-ERM VX-50, el objetivo realista no es  $C_{\text{MEN}} \geq 1$  a escala de nave completa, sino:

$$10^{-12} \lesssim C_{\text{MEN}} \lesssim 10^{-6},$$

suficiente para buscar efectos de fase, estabilización de plasma o microcurvatura local, pero no para propulsión warp clásica.



Los trabajos modernos sobre warp drives físicos muestran que incluso las burbujas subluminales deben tratarse como cáscaras materiales o energéticas que requieren propulsión; Bobrick y Martire muestran que cualquier warp drive se comporta conceptualmente como una cáscara que debe moverse con alguna fuente de momento.

---

## 9. Estabilidad del motor

La estabilidad del MEN-ERM exige cinco condiciones.

### 9.1. Estabilidad cuántica

$$|\bar{\rho}_-| \leq C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4}.$$

### 9.2. Estabilidad energética

$$P_{\text{core}} - P_{\text{out}} - P_{\text{loss}} - P_{\text{ctrl}} \geq 0.$$

### 9.3. Estabilidad de campo $\Omega$

$$F_{\Omega} > 0, M_{\text{Pl,eff}}^2 = M_{\text{Pl}}^2 F_{\Omega} > 0.$$

$$0 < c_L^2 \leq 1, 0 < c_T^2 \leq 1, m_{\text{eff}}^2 > 0.$$

### 9.4. Estabilidad de control

Sea  $\mathbf{x}$  el vector de estado del motor:

$$\mathbf{x} = (\rho_-, \Omega/\omega, T_{zz}^{\Omega}, \dot{m}_p, v_p, I_{\text{SQUID}}, B_{\text{nozzle}}).$$

La dinámica linealizada es:

$$\dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} + B\mathbf{u} + \check{\xi}.$$

Existe estabilidad robusta si hay una matriz  $P > 0$  tal que:

$$A^T P + P A = -Q, Q > 0.$$

### 9.5. Conservación de momento

$$\frac{d}{dt} (\mathbf{P}_{\text{nave}} + \mathbf{P}_{\text{escape}} + \mathbf{P}_{\text{campos}}) = 0.$$



Esta condición es irrenunciable.

---

## 10. Por qué debe construirse en el espacio

El MEN-ERM requiere vacío, criogenia, estructuras superconductoras, cavidades de alta estabilidad, radiadores grandes y ausencia de cargas atmosféricas. Construirlo en Tierra introduciría vibración, turbulencia, gravedad estructural, dispersión térmica y riesgos de seguridad innecesarios.

La ubicación recomendada es:

órbita lunar, punto L1/L2, astillero orbital o espacio cislunar.

Ventajas del entorno espacial:

vacío natural

aislamiento vibracional

radiadores desplegables de gran área

ensamblaje modular de anillos superconductores

operación lejos de atmósfera y población

uso directo para naves interplanetarias

---

## 11. Comparación con otros sistemas de propulsión

Sistema	Fuente de empuje	de Ventaja	Límite	Relación con MEN-ERM
Cohete químico	masa expulsada caliente	alto empuje	bajo impulso específico	MEN no compete para despegue
Propulsión eléctrica	plasma acelerado	alto $I_{sp}$	bajo empuje	MEN mejora colimación y control
Fotónica	radiación	sin propelente	empuje $P/c$ muy bajo	MEN puede colimar cavidad fotónica
Alcubierre clásico	geometría prescrita	métrica atractiva	requiere energía negativa extrema	MEN no adopta warp clásico
Bobrick-Martire	cáscara física subluminal	más realista	requiere propulsión	MEN coincide con enfoque de cáscara



Sistema	Fuente de empuje	Ventaja	Límite	Relación con MEN-ERM
Casimir/QET	estrés y energía cuántica local	demostrado a pequeña escala	no energía libre	MEN los usa como módulos
MEN-ERM	plasma + $\Omega+$ estrés negativo	útil en espacio profundo	requiere tecnología avanzada	motor híbrido conservativo

## 12. Soporte teórico y experimental

El MEN-ERM se apoya en fenómenos demostrados, aunque su integración completa no está demostrada. El efecto Casimir demuestra estrés de vacío medible. La luz comprimida demuestra control de fluctuaciones cuánticas por debajo del límite estándar en sistemas de precisión. La QET ha sido realizada en hardware cuántico superconductor. Los metamateriales de índice negativo fueron verificados experimentalmente en microondas mediante estructuras con resonadores partidos y conductores. La propulsión espacial debe seguir la conservación de momento expresada por la ecuación de empuje.

Estos elementos no prueban todavía el MEN-ERM completo. Pero sí prueban que sus piezas pertenecen a física real: vacío activo, campos comprimidos, metamateriales, energía cuántica redistribuida, plasma y conservación de momento.

## 13. Datos

### “La energía negativa no puede alimentar una nave.”

El MEN-ERM no usa energía negativa como combustible. La usa como medio de control del tensor  $T_{\mu\nu}$ . La potencia viene de  $P_{\text{core}}$ .

### “Un motor cerrado no puede generar empuje.”

El MEN-ERM expulsa plasma, fotones o heliones. Si no hay escape, no hay empuje neto.

### “Las desigualdades cuánticas destruyen la propuesta.”

Destruyen la versión de energía negativa macroscópica libre. No destruyen el MEN-ERM, porque la energía sub-vacío aparece acotada y el empuje principal proviene de momento expulsado.



**“QET no genera energía.”**

QET se usa para redistribuir energía y sincronizar estados de campo. No se cuenta como potencia neta gratuita.

**“Los factores de amplificación pueden amplificar señal, no energía.”**

Toda ganancia se satura:

$$G_{\text{eff}} = \min [G_{\text{formal}}, G_{\text{sat}}, E_{\text{pump}}/E_{\text{in}}].$$

**“Los heliones no han sido observados.”**

El canal heliónico es opcional. El motor base usa plasma ordinario. Los heliones son una extensión experimental si la ERM confirma el sector  $\chi$ .

**“La curvatura artificial de nave es demasiado especulativa.”**

Correcto para curvatura fuerte. El MEN-ERM usa curvatura débil y estrés tensorial como asistencia de tobera, no como warp superluminal.

**“El motor es demasiado complejo para construirse.”**

En Tierra, sí. Por eso se propone ensamblaje orbital. El prototipo debe comenzar con módulos separados: cavidad sub-vacío, QET, tobera  $\Omega$ , plasma y control.

---

**14. Programa de desarrollo**

**Fase I: banco de vacío activo**

Objetivo:

$$\langle :T_{00}: \rangle < 0$$

en cavidad controlada.

**Fase II: microtobera tensorial**

Medir:

$$\Delta T_{zz}^{\Omega}$$



y su efecto sobre un haz de plasma pequeño.

### Fase III: propulsor orbital de baja potencia

$$P_{\text{core}} = 100 \text{ kW} - 1 \text{ MW.}$$

Objetivo:

$$\eta_{\text{col}}^{\Omega} > \eta_{\text{col}}^0.$$

### Fase IV: MEN-ERM VX-50

$$P_{\text{core}} = 50 \text{ MW}, F \approx 160 \text{ N.}$$

### Fase V: canal heliónico

Probar:

$$\mathcal{K}_{p \rightarrow \chi} > 0$$

sin violar energía, carga ni momento.

---

El MEN-ERM se define como un motor espacial de resurgencia en el cual una fuente externa de potencia alimenta un acelerador de plasma y una boquilla tensorial basada en el campo  $\Omega$ . La energía negativa local se expresa como:

$$\bar{\rho}_{-}^{\text{MEN}} = -\min \left[ \rho_{-}^{\text{raw}}, C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4}, \frac{E_{+}^{\text{comp}}}{V_{\ell}}, \frac{E_{\text{pump}}^{\Omega}}{V_{\ell}} \right].$$

La contribución gravitacional y tensorial efectiva se escribe:

$$\rho_{\text{act}}^{\text{MEN}} = \rho_{\Omega} + \frac{p_r + p_{\theta} + p_{\phi}}{c^2} + \bar{\rho}_{-}^{\text{MEN}}.$$

El empuje se obtiene por flujo de momento:

$$F_{\text{MEN}} = \eta_{\text{col}}^{\Omega} \dot{m}_p v_p + \eta_{\gamma} \frac{P_{\gamma}}{c} + \gamma_{\chi} \dot{m}_{\chi} v_{\chi} + F_{\text{stress}}^{\text{open}}.$$

El balance energético queda:

$$P_{\text{core}} \geq \frac{\dot{m}_p v_p^2}{2\eta_{\text{acc}}} + \frac{(\gamma_{\chi} - 1)\dot{m}_{\chi} c^2}{\eta_{\chi}} + P_{\Omega} + P_{\text{cryo}} + P_{\text{ctrl}} + P_{\text{loss}}.$$



La dinámica de resurgencia se incorpora mediante:

$$\dot{N}_\chi = \int dV dz \mathcal{K}_{p \rightarrow \chi}(z) n_p(z),$$

donde  $\mathcal{K}_{p \rightarrow \chi}$  se deriva de la Fórmula V y debe conservar energía, momento y cargas.

Así, el MEN-ERM es viable como motor espacial híbrido: no viola conservación, no depende de energía libre, y produce empuje mediante masa o radiación expulsada, mientras usa energía negativa local y tensiones  $\Omega$  para mejorar la eficiencia de la tobera.

---

## 16. Conclusión

El **MEN-ERM** es la formulación viable de un motor de energía negativa para una nave espacial. Su versión físicamente defendible no promete energía infinita ni un motor sin reacción. Promete algo más sobrio y más fuerte: usar las fórmulas de resurgencia para construir una boquilla de campo donde la energía sub-vacío, las tensiones del sector  $\Omega$ , los heliones y el plasma trabajen juntos para producir empuje eficiente en el espacio.

Su ecuación central es:

$$F_{\text{MEN}} = \eta_{\text{col}}^\Omega \dot{m}_p v_p + \eta_\gamma \frac{P_\gamma}{c} + \gamma_\chi \dot{m}_\chi v_\chi + F_{\text{stress}}^{\text{open}}.$$

Y su pacto con la física es:

$$P_{\text{core}} \geq P_{\text{acc}} + P_\Omega + P_{\text{cryo}} + P_{\text{ctrl}} + P_{\text{loss}}.$$

El motor debe construirse en el espacio porque necesita vacío natural, escala orbital, criogenia, superconductores, radiadores extensos y aislamiento. Como tecnología actual, todavía pertenece a la frontera. Como arquitectura física, puede formularse de manera estable y conservativa.

El MEN-ERM no usa la energía negativa como combustible; la usa como arquitectura de campo para dirigir el momento.



## MEN-ERM: Motor de Energía Negativa por Resurgencia con Boquilla Tensorial

Funciona como un motor eléctrico/plasma avanzado donde la energía negativa y el campo  $\Omega$  no sustituyen al propelente, sino que forman una boquilla de campo que colima, estabiliza y dirige mejor el momento expulsado. La nave se mueve porque expulsa plasma, fotones o, en una fase futura, heliones. La energía negativa actúa como arquitectura de campo: le da forma al escape.

El documento ERM ya plantea una arquitectura de motor por módulos estado comprimido, compresión, superradiancia, PARCE, cavidad, QET y control y la conecta con el campo  $\Omega$ , heliones y resurgencia. La versión viable para una nave espacial debe reformular esa arquitectura como propulsor conservativo: sin energía libre, sin empuje cerrado y sin prometer warp inmediato.

### 1. Idea central del motor

El MEN-ERM tiene este flujo físico:

$$P_{\text{core}} \rightarrow P_{\text{plasma}} + P_{\Omega} + P_{\text{ctrl}} \rightarrow T_{\mu\nu}^{\text{MEN}} \rightarrow \text{escape dirigido} \rightarrow F_{\text{nave}}$$

En palabras simples:

1. Un reactor o fuente externa entrega potencia.
2. Esa potencia ioniza y acelera propelente.
3. El campo  $\Omega$  y la energía negativa local crean una boquilla tensorial alrededor del escape.
4. La boquilla reduce pérdidas, colima el plasma y puede acoplar parte del flujo a heliones.
5. La nave acelera porque el motor expulsa momento hacia atrás.

La ecuación madre de empuje es:

$$F_{\text{MEN}} = \eta_{\text{col}}^{\Omega} \dot{m}_p v_p + \eta_{\gamma} \frac{P_{\gamma}}{c} + \gamma_{\chi} \dot{m}_{\chi} v_{\chi} + F_{\text{stress}}^{\text{open}}$$

Donde:

$$\dot{m}_p v_p$$

es el empuje del plasma ordinario.

$$\eta_{\text{col}}^{\Omega}$$



es la mejora de colimación producida por la boquilla  $\Omega$ .

$$P_\gamma/c$$

es empuje fotónico.

$$\gamma_\chi \dot{m}_\chi v_\chi$$

es empuje por heliones, una etapa futura.

$$F_{\text{stress}}^{\text{open}}$$

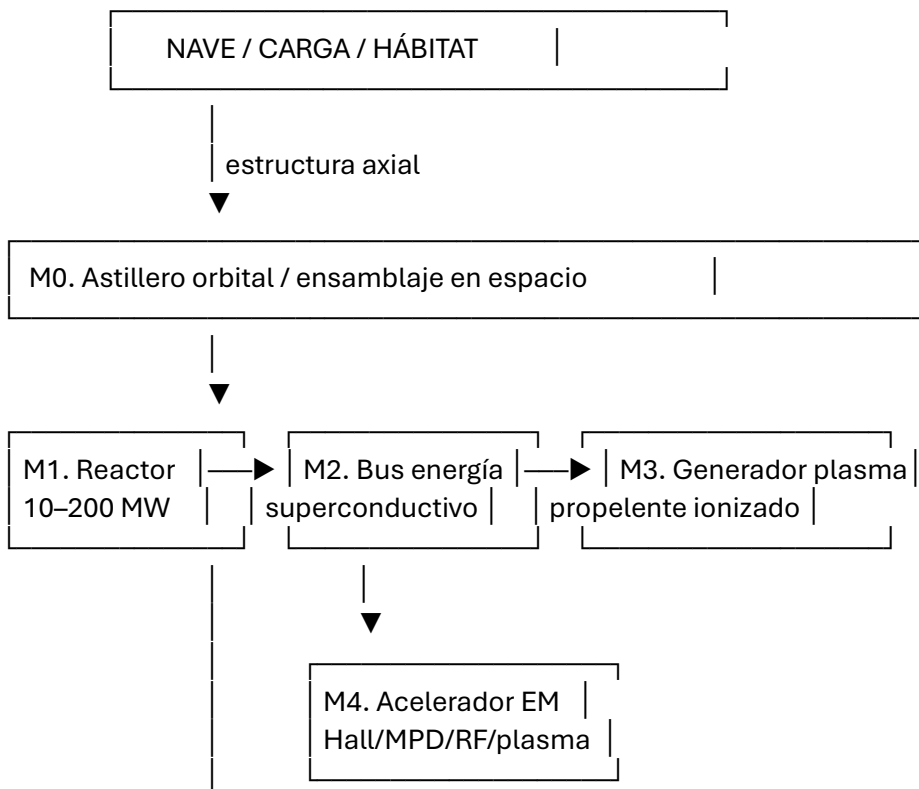
es el empuje asociado al flujo abierto del tensor de estrés. Si el sistema está cerrado:

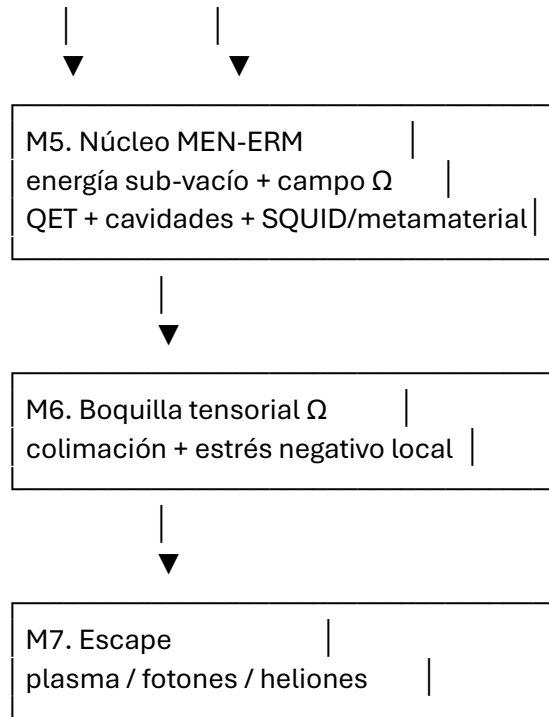
$$F_{\text{stress}}^{\text{closed}} = 0.$$

Esto es esencial: un motor cerrado no mueve una nave. El empuje de cohete depende del flujo de masa, la velocidad de salida y el término de presión en la tobera; NASA lo formula precisamente como resultado del flujo de momento expulsado.

---

## 2. Esquema general del cohete MEN-ERM





Sistemas transversales:

M8. Radiadores térmicos

M9. Control, relojes, FPGA, sensores

M10. Blindaje, estructura, navegación

---

Módulos físicos del cohete

Módulo 0 — Astillero orbital

El MEN-ERM debe construirse en el espacio por cinco razones:

- vacío natural
- radiadores térmicos grandes
- superconductores y criogenia
- ausencia de atmósfera
- seguridad ante radiación y potencia alta

Arquitectura física:

- estructura axial tipo truss de 50–150 m;
- reactor en la parte trasera, separado por blindaje;



- radiadores laterales despleables;
  - tanques de propelente alrededor del eje;
  - boquilla MEN-ERM en popa;
  - hábitat o carga en proa.
- 

## Módulo 1 — Núcleo de potencia

El motor requiere una fuente real de energía:

$$P_{\text{core}} = 10\text{--}200 \text{ MW.}$$

Opciones:

fisión espacial

fusión futura

energía por haz

solar concentrada orbital

La energía negativa no reemplaza este módulo.

Balance:

$$P_{\text{core}} = P_{\text{acc}} + P_{\Omega} + P_{\text{cryo}} + P_{\text{ctrl}} + P_{\text{loss}}.$$

Radiadores térmicos:

$$A_{\text{rad}} = \frac{P_{\text{waste}}}{\epsilon \sigma T_{\text{rad}}^4}.$$

Ejemplo:

$$P_{\text{waste}} = 20 \text{ MW}, T_{\text{rad}} = 900 \text{ K}, \epsilon = 0.9.$$

$$A_{\text{rad}} \approx 600 \text{ m}^2.$$

Por eso debe construirse en espacio: los radiadores son grandes.

---

## Módulo 2 — Tanques y alimentación de propelente

El propelente puede ser:



$H_2, Li, Ar, Xe, \text{ agua vaporizada}$

Para misiones de carga, argón o xenón son estables y fáciles de almacenar. Para alta velocidad, hidrógeno o litio reducen masa y permiten mayor  $v_p$ .

Flujo de masa:

$$\dot{m}_p = \frac{2\eta_{acc}P_{acc}}{v_p^2}$$

Masa de propelente consumida:

$$m_p(t) = \dot{m}_p t$$

El sistema físico incluye:

- tanques criogénicos o presurizados;
- válvulas piezoeléctricas;
- calentador de vaporización;
- cámara de ionización;
- sensores de flujo másico;
- líneas protegidas de radiación.

---

Módulo 3 — Generador de plasma

Convierte propelente neutro en plasma.

Arquitectura:

- cámara RF helicon o microondas;
- bobinas superconductoras;
- inyectores de gas;
- antenas RF;
- plasma de alta densidad;
- separación del hábitat por blindaje.

Potencia de ionización aproximada:



$$P_{\text{ion}} \approx \dot{N} E_{\text{ion}} = \frac{\dot{m}_p}{m_a} E_{\text{ion}}.$$

En la práctica,  $P_{\text{ion}}$  es menor que  $P_{\text{acc}}$ ; la mayor parte de la potencia se usa en acelerar el plasma.

---

#### Módulo 4 — Acelerador electromagnético

Puede ser tipo:

Hall, MPD, VASIMR/RF, inductivo pulsado.

La fórmula de potencia cinética:

$$P_{\text{jet}} = \frac{1}{2} \dot{m}_p v_p^2.$$

Con eficiencia:

$$P_{\text{acc}} = \frac{P_{\text{jet}}}{\eta_{\text{acc}}}.$$

Empuje antes de la boquilla  $\Omega$ :

$$F_0 = \dot{m}_p v_p.$$

Empuje después de la boquilla:

$$F_p = \eta_{\text{col}}^{\Omega} \dot{m}_p v_p.$$

Arquitectura física:

- cámara cilíndrica de plasma;
- bobinas superconductoras axiales;
- electrodos o antenas RF;
- tobera magnética;
- aisladores cerámicos;
- canal de escape abierto al vacío.



---

## Módulo 5 — Núcleo MEN-ERM de energía negativa y campo $\Omega$

Este módulo usa la Fórmula I de resurgencia:

$$\bar{\rho}_-^{\text{MEN}} = -\min \left[ \rho_-^{\text{raw}}, C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4}, \frac{E_+^{\text{comp}}}{V_\ell}, \frac{E_{\text{pump}}^\Omega}{V_\ell} \right].$$

Su función no es alimentar la nave. Su función es crear una zona de estrés tensorial alrededor del escape:

$$\Delta T_{zz}^{\Omega, -}.$$

Arquitectura física:

- cavidades superconductoras de microondas;
- resonadores Josephson/SQUID;
- generador de estados comprimidos;
- cavidades Casimir/metamaterial;
- sistema QET de redistribución energética;
- reloj óptico maestro;
- FPGA/ASIC de control de fase;
- criostato de 4–20 K.

Este módulo produce una “piel de vacío activo” alrededor de la tobera.

---

## Módulo 6 — Boquilla tensorial $\Omega$

Esta es la pieza nueva del motor.

Una tobera química usa paredes materiales.  
Una tobera magnética usa campos magnéticos.

La boquilla MEN-ERM usa:

$$B_{\text{mag}} + \Omega + \bar{\rho}_- + T_{zz}^{\Omega}.$$

La eficiencia de colimación se modela como:

$$\eta_{\text{col}}^\Omega = \eta_{\text{col}}^0 + (1 - \eta_{\text{col}}^0) [1 - e^{-\mathcal{N}_\Omega}].$$



Donde:

$$\mathcal{N}_\Omega = \frac{|\int_{A_{\text{nozzle}}} \Delta T_{zz}^{\Omega,-} dA|}{\dot{m}_p v_p + P_\gamma/c + \gamma_\chi \dot{m}_\chi v_\chi}.$$

Si  $\mathcal{N}_\Omega$  es pequeña, la mejora es pequeña.  
Si  $\mathcal{N}_\Omega$  crece, la colimación se acerca a su máximo físico.

Ejemplo:

$$\eta_{\text{col}}^0 = 0.75, \eta_{\text{col}}^\Omega = 0.92.$$

Eso no crea energía; evita que el chorro se abra y desperdicie momento lateral.

Arquitectura física:

- anillo toroidal superconductorio alrededor del escape;
- cavidades segmentadas en forma de corona;
- bobinas de compresión magnética;
- emisores de microondas faseados;
- sensores de plasma;
- sensores interferométricos de fase;
- blindaje térmico.

---

Módulo 7 — Canal heliónico opcional

Los heliones son excitaciones oscuras del sector  $\Omega$ . Su masa se modela como:

$$m_{\chi_n}^2 = M_\chi^2 + y_\chi^2 v_\Omega^2 + \frac{\lambda_n}{R_\Omega^2} + \Delta m_{\chi_n}^2(\rho_-).$$

La producción dinámica se controla con la Fórmula V:

$$\dot{N}_\chi = \int dV dz \mathcal{K}_{p \rightarrow \chi}(z) n_p(z).$$

Empuje heliónico:

$$F_\chi = \gamma_\chi \dot{m}_\chi v_\chi.$$



Potencia requerida:

$$P_{\chi} = \frac{(\gamma_{\chi} - 1)\dot{m}_{\chi}c^2}{\eta_{\chi}}.$$

En régimen no relativista:

$$P_{\chi} \approx \frac{\dot{m}_{\chi}v_{\chi}^2}{2\eta_{\chi}}.$$

Este módulo es fase futura. El motor base debe funcionar con plasma ordinario. El canal heliónico se añade cuando la física de  $\chi$  esté demostrada.

---

## Módulo 8 — Radiadores y gestión térmica

La propulsión eléctrica de alta potencia produce mucho calor.

$$P_{\text{waste}} = P_{\text{core}} - P_{\text{jet}} - P_{\text{useful}}.$$

Radiadores:

$$A_{\text{rad}} = \frac{P_{\text{waste}}}{\epsilon\sigma T_{\text{rad}}^4}.$$

Arquitectura:

- paneles radiadores desplegados;
  - sodio/potasio o helio como fluido térmico;
  - radiadores en sombra respecto al reactor;
  - geometría en alas o pétalos;
  - protección contra micrometeoritos.
- 

## Módulo 9 — Control y estabilidad

El motor es un sistema acoplado:

$$x = (\rho_{-}, \Omega/\omega, T_{zz}^{\Omega}, \dot{m}_p, v_p, B_{\text{nozzle}}, I_{\text{coil}}, T_{\text{rad}}).$$



Dinámica linealizada:

$$\dot{x} = Ax + Bu + \xi.$$

Condición de estabilidad Lyapunov:

$$A^T P + PA = -Q, P > 0, Q > 0.$$

Control de resonancia:

$$\frac{d}{dt} \delta \left( \frac{\Omega}{\omega} \right) = -\gamma S \delta \left( \frac{\Omega}{\omega} \right) + \eta_{\text{noise}}(t).$$

Con:

$$S = \frac{\Omega/\omega}{1 - \Omega/\omega}.$$

Arquitectura:

- relojes ópticos;
  - FPGA rad-hard;
  - sensores de fase;
  - sensores de plasma;
  - control de bobinas;
  - control de láseres;
  - control térmico;
  - inteligencia de diagnóstico.
- 

## 7. Tres versiones del cohete

MEN-ERM VX-10 — demostrador orbital

$$P_{\text{core}} = 10 \text{ MW}, P_{\text{acc}} = 7 \text{ MW}, v_p = 100 \text{ km/s.}$$

$$\dot{m}_p = 9.1 \times 10^{-4} \text{ kg/s.}$$

$$F \approx 82 \text{ N.}$$

Uso:



remolcador orbital, carga lunar, demostrador cislunar.

---

MEN-ERM VX-50 — nave interplanetaria

$$P_{\text{core}} = 50 \text{ MW}, P_{\text{acc}} = 40 \text{ MW}, v_p = 300 \text{ km/s.}$$
$$\dot{m}_p \approx 5.8 \times 10^{-4} \text{ kg/s.}$$
$$F \approx 160 \text{ N.}$$

Uso:

Marte rápido, cinturón de asteroides, cargas pesadas.

---

MEN-ERM VX-200 — nave rápida de espacio profundo

$$P_{\text{core}} = 200 \text{ MW}, P_{\text{acc}} = 160 \text{ MW}, v_p = 500 \text{ km/s.}$$
$$\dot{m}_p = \frac{2(0.65)(160 \times 10^6)}{(5 \times 10^5)^2} \approx 8.3 \times 10^{-4} \text{ kg/s.}$$
$$F \approx 0.93(8.3 \times 10^{-4})(5 \times 10^5) \approx 386 \text{ N.}$$

Uso:

misiones rápidas a Júpiter, Saturno, objetos transneptunianos.

---

## 8. Velocidades de misión estimadas

Caso 1: nave de 10 toneladas, VX-50

$$F = 160 \text{ N.}$$
$$a = 0.016 \text{ m/s}^2.$$
$$\Delta v_{\text{día}} = 1.38 \text{ km/s.}$$

Pero el límite real viene por propelente. Con relación de masas 2:

$$\Delta v = 300 \text{ km/s} \ln 2.$$
$$\Delta v \approx 208 \text{ km/s.}$$

Eso permite cruceros interplanetarios extremadamente rápidos.



Caso 2: nave de 50 toneladas, VX-200

$$F = 386 \text{ N.}$$
$$a = 7.7 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2.$$
$$\Delta v_{\text{día}} \approx 0.67 \text{ km/s.}$$

Con relación de masas 2:

$$\Delta v \approx 347 \text{ km/s.}$$

---

Caso 3: canal heliónico futuro

Si:

$$v_{\chi} = 0.01c, m_0/m_f = 2,$$
$$\Delta v = 0.01c \ln 2.$$
$$\Delta v \approx 0.0069c \approx 2079 \text{ km/s.}$$

Ese régimen ya sería para sondas interestelares lentas. A  $0.0069c$ , una distancia de 4.24 años luz tomaría del orden de siglos, no décadas.

---

## 9. Cómo se vería físicamente el cohete

Una arquitectura plausible:

PROA

|

- |— Hábitat / carga útil
- |— Blindaje contra radiación
- |— Tanques de propelente: H<sub>2</sub> / Li / Ar / Xe / H<sub>2</sub>O
- |— Radiadores laterales desplegados
- |— Reactor o receptor de energía por haz
- |— Bus eléctrico superconductor
- |— Generador de plasma
- |— Acelerador electromagnético
- |— Núcleo MEN-ERM de campo  $\Omega$
- |— Boquilla tensorial  $\Omega$
- |— Escape plasma / fotones / heliones

POPA

Dimensiones estimadas para VX-50:



longitud = 60-120 m

diámetro del módulo motor = 5-15 m

radiadores = 500-2000 m<sup>2</sup>

masa seca = 10-50 toneladas

propelente = 5-100 toneladas

---

10. Qué parte hace realmente “energía negativa”

El núcleo MEN-ERM crea:

$$\bar{\rho}_{-}^{\text{MEN}}$$

pero esa densidad está limitada:

$$|\bar{\rho}_{-}| \leq C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4}.$$

Por eso no se usa como combustible principal.

Lo que sí hace es modificar:

$$T_{zz}^{\Omega}$$

El chorro de plasma tiene dispersión angular. Sin boquilla  $\Omega$ , parte del momento se pierde lateralmente:

$$F_z^0 = \int \dot{p}(\theta) \cos \theta d\Omega.$$

Con boquilla  $\Omega$ :

$$F_z^{\Omega} = \int \dot{p}(\theta) \cos \theta C_{\Omega}(\theta) d\Omega.$$

La función  $C_{\Omega}(\theta)$  estrecha el cono de escape:

$$C_{\Omega}(\theta) = \exp \left[ -\frac{\theta^2}{2\sigma_{\Omega}^2} \right].$$

Menor  $\sigma_{\Omega}$  significa chorro más recto.

Así el motor gana eficiencia útil sin violar energía.



## 11. Modo de operación

### Arranque

1. Se enciende el reactor.
2. Se enfrían superconductores y cavidades.
3. Se estabilizan relojes y FPGA.
4. Se ioniza propelente.
5. Se enciende el acelerador electromagnético.

### Activación MEN

6. Se preparan estados sub-vacío.
7. Se activa el campo  $\Omega$ .
8. Se ajusta la boquilla tensorial.
9. Se mide  $\Delta T_{zz}$ .
10. Se cierra el lazo de control.

### Empuje

11. El plasma entra al acelerador.
12. El plasma sale por la boquilla magnética.
13. La boquilla  $\Omega$  reduce dispersión.
14. El escape transporta momento.
15. La nave acelera.

### Crucero

16. Se alternan periodos de aceleración y refrigeración.
17. Se optimiza  $v_p$  según misión.
18. Se reduce consumo aumentando  $I_{sp}$ .
19. Se gira la nave a mitad de ruta para frenar.

---

## 12 Condiciones de viabilidad

El MEN-ERM es viable solo si cumple:

$$P_{core} \geq P_{acc} + P_{\Omega} + P_{cryo} + P_{ctrl} + P_{loss}.$$



$$\frac{d}{dt} (P_{\text{nave}} + P_{\text{escape}} + P_{\text{campos}}) = 0.$$

$$|\bar{\rho}_-| \leq C_{\text{QI}} \frac{\hbar}{c^3 \tau^4}.$$

$$E_+ \geq E_- \left[ 1 + J \left( \frac{\Delta t}{\tau} \right) \right].$$

$$F_{\Omega} > 0, m_{\text{eff}}^2 > 0, 0 < c_s^2 \leq 1.$$

$$A^T P + P A = -Q, P, Q > 0.$$

Si una de estas condiciones falla, el motor deja de ser estable o deja de ser físicamente defendible.

---

### 13. Lo que sí puede lograr

No despega desde la Tierra.

Sí sirve para naves ensambladas en órbita.

Sí puede alcanzar  $\Delta v \sim 100\text{--}500$  km/s en versión plasma avanzada.

Podría alcanzar  $\Delta v \sim 1000\text{--}3000$  km/s con heliones, si existen y son controlables.

No es warp superluminal.

Es propulsión eléctrica de campo tensorial asistida por resurgencia.

---

### 14. Resumen final

El cohete MEN-ERM funciona así:

reactor  $\rightarrow$  plasma  $\rightarrow$  acelerador electromagnético  $\rightarrow$  boquilla  $\Omega$   $\rightarrow$  escape colimado  $\rightarrow$  empuje.

La energía negativa entra aquí:

$$\bar{\rho}_- \rightarrow T_{zz}^{\Omega} \rightarrow \eta_{\text{col}}^{\Omega} \rightarrow F_{\text{MEN}}.$$

La fórmula central del cohete es:

$$F_{\text{MEN}} = \eta_{\text{col}}^{\Omega} \dot{m}_p v_p + \eta_{\gamma} \frac{P_{\gamma}}{c} + \gamma_{\chi} \dot{m}_{\chi} v_{\chi} + F_{\text{stress}}^{\text{open}}.$$

La velocidad de misión se calcula con:



$$\Delta v = v_{\text{escape}} \ln \left( \frac{m_0}{m_f} \right).$$

El diseño más sólido es el MEN-ERM VX-50:

$$P_{\text{core}} = 50 \text{ MW}, F \approx 160 \text{ N}, v_p = 300 \text{ km/s}, \Delta v \sim 200 \text{ km/s con relación de masas 2.}$$



# MEN-ERM — MOTOR COMPLETO DE ENERGÍA NEGATIVA

Motor espacial por resurgencia: vacío activo, campo  $\Omega$ , plasma, boquilla tensorial, QET y control cuántico

**Balace de potencia**

$$P_{core} = P_{acc} + P_{\Omega} + P_{cryo} + P_{ctrl} + P_{loss}$$

**Densidad sub-vacío**

$$\rho_{MEN} = -\min \left[ \rho_{-}^{raw}, C_0 \frac{P_{comp}^2}{c^3 t^4}, \frac{P_{pump}}{V_l}, \frac{V_l}{V_l} \right]$$

**Densidad activa**

$$\rho_{act}^{MEN} = \rho_{\Omega} + \frac{P_r + P_{\phi} + P_{\phi}}{c^2} + \rho_{-}^{MEN}$$

**Ecuación de empuje**

$$F_{MEN} = \eta_{col} \cdot \dot{m}_p \cdot v_p + \eta_{\gamma} \cdot \frac{P_{\gamma}}{c} + \gamma_x \cdot \dot{m}_x \cdot v_x + \rho_{open}^{open}$$

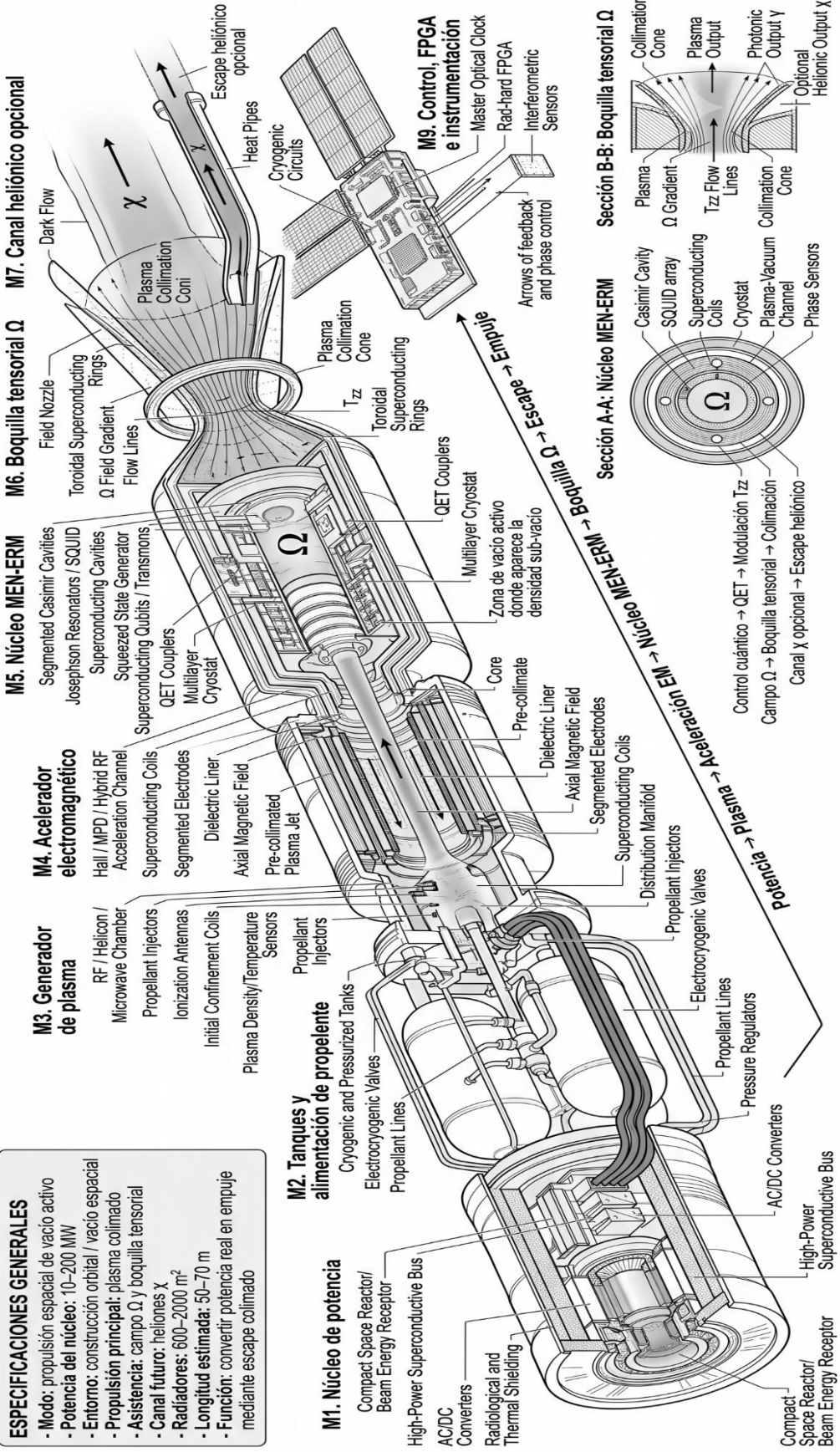
**Ecuación de cohete**

$$\Delta v = v_{escape} \cdot \ln \left( \frac{m_0}{m_f} \right)$$

**Kernel de producción heliónica**

$$\dot{N}_x = \int dV dz K_{p-x}(z) n_p(z)$$

- ESPECIFICACIONES GENERALES**
- Modo: propulsión espacial de vacío activo
  - Potencia del núcleo: 10–200 MW
  - Entorno: construcción orbital / vacío espacial
  - Propulsión principal: plasma colimado
  - Asistencia: campo  $\Omega$  y boquilla tensorial
  - Canal futuro: heliones  $\chi$
  - Radiadores: 600–2000 m<sup>2</sup>
  - Longitud estimada: 50–70 m
  - Función: convertir potencia real en empuje mediante escape colimado



## Referencias

### 1. Vacío cuántico, efecto Casimir y energía negativa local

1. **Casimir, H. B. G.** “On the Attraction Between Two Perfectly Conducting Plates.” *Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences* **51**, 793–795, 1948.  
Uso: base teórica del efecto Casimir.
  2. **Lamoreaux, S. K.** “Demonstration of the Casimir Force in the 0.6 to 6  $\mu\text{m}$  Range.” *Physical Review Letters* **78**, 5–8, 1997. DOI: 10.1103/PhysRevLett.78.5.  
Uso: medición experimental clásica del efecto Casimir; reporta acuerdo con la teoría alrededor del 5%.
  3. **Sushkov, A. O., Kim, W. J., Dalvit, D. A. R. & Lamoreaux, S. K.** “Observation of the thermal Casimir force.” *Nature Physics* **7**, 230–233, 2011.  
Uso: soporte experimental moderno del Casimir térmico.
  4. **Birrell, N. D. & Davies, P. C. W.** *Quantum Fields in Curved Space*. Cambridge University Press, 1982.  
Uso: referencia base para  $\langle T_{\mu\nu} \rangle_{\text{ren}}$ , campos cuánticos en espacio-tiempo curvo y energía del vacío.
  5. **Wald, R. M.** *Quantum Field Theory in Curved Spacetime and Black Hole Thermodynamics*. University of Chicago Press, 1994.  
Uso: formalismo riguroso de QFT en espacio-tiempo curvo.
- 

### 2. Desigualdades cuánticas y límites de energía negativa

1. **Ford, L. H.** “Quantum Coherence Effects and the Second Law of Thermodynamics.” *Proceedings of the Royal Society A* **364**, 227–236, 1978.  
Uso: una de las bases tempranas sobre energía negativa y restricciones termodinámicas.
2. **Ford, L. H. & Roman, T. A.** “Quantum field theory constrains traversable wormhole geometries.” *Physical Review D* **53**, 5496–5507, 1996. DOI: 10.1103/PhysRevD.53.5496.  
Uso: desigualdades cuánticas aplicadas a geometrías exóticas.
3. **Pfenning, M. J. & Ford, L. H.** “The unphysical nature of ‘warp drive’.” *Classical and Quantum Gravity* **14**, 1743–1751, 1997. arXiv:gr-qc/9702026.  
Uso: límites severos sobre warp drive basado en energía negativa.
4. **Pfenning, M. J. & Ford, L. H.** “Quantum Inequality Restrictions on Negative Energy Densities in Curved Spacetimes.” arXiv:gr-qc/9805037, 1998.  
Uso: formulación central de restricciones de energía negativa en espacio-tiempo curvo.



5. **Fewster, C. J.** “Lectures on quantum energy inequalities.” arXiv:1208.5399, 2012.  
Uso: revisión técnica moderna de desigualdades cuánticas.
- 

### 3. Estados comprimidos, óptica cuántica y QET

1. **Walls, D. F.** “Squeezed states of light.” *Nature* **306**, 141–146, 1983.  
Uso: referencia clásica de estados comprimidos.
  2. **Caves, C. M.** “Quantum-mechanical noise in an interferometer.” *Physical Review D* **23**, 1693–1708, 1981.  
Uso: base para reducción de ruido cuántico mediante squeezing.
  3. **Ganapathy, D. et al.** “Broadband Quantum Enhancement of the LIGO Detectors with Frequency-Dependent Squeezing.” *Physical Review X* **13**, 041021, 2023. DOI: 10.1103/PhysRevX.13.041021.  
Uso: evidencia experimental de control avanzado de ruido cuántico en LIGO.
  4. **Jia, W. et al.** “Squeezing the quantum noise of a gravitational-wave detector below the standard quantum limit.” *Science* **385**, 1318–1321, 2024.  
Uso: squeezing dependiente de frecuencia en interferometría de alta precisión.
  5. **Hotta, M.** “Quantum Energy Teleportation.” *Physical Review D* **78**, 045006, 2008. DOI: 10.1103/PhysRevD.78.045006.  
Uso: base teórica de QET.
  6. **Ikeda, K.** “Demonstration of Quantum Energy Teleportation on Superconducting Quantum Hardware.” *Physical Review Applied* **20**, 024051, 2023. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.20.024051.  
Uso: demostración experimental de QET en hardware cuántico superconductor; importante aclarar que no es energía libre.
- 

### 4. Warp drives, Alcubierre, geometrías de bolsillo y cáscaras físicas

1. **Alcubierre, M.** “The warp drive: hyper-fast travel within general relativity.” *Classical and Quantum Gravity* **11**, L73–L77, 1994. arXiv:gr-qc/0009013.  
Uso: métrica warp original; el propio resumen indica que se requiere materia exótica.
2. **Van den Broeck, C.** “A ‘warp drive’ with more reasonable total energy requirements.” *Classical and Quantum Gravity* **16**, 3973–3979, 1999. arXiv:gr-qc/9905084.  
Uso: geometría tipo “bolsillo” que reduce requisitos energéticos.
3. **Natário, J.** “Warp drive with zero expansion.” *Classical and Quantum Gravity* **19**, 1157–1166, 2002. arXiv:gr-qc/0110086.  
Uso: variante matemática de warp drive sin expansión volumétrica.



4. **Lobo, F. S. N. & Visser, M.** “Fundamental limitations on ‘warp drive’ spacetimes.” *Classical and Quantum Gravity* **21**, 5871–5892, 2004. arXiv:gr-qc/0406083.  
Uso: límites fundamentales sobre geometrías warp.
  5. **Bobrick, A. & Martire, G.** “Introducing Physical Warp Drives.” *Classical and Quantum Gravity* **38**, 105009, 2021. arXiv:2102.06824.  
Uso: trata warp drives como cáscaras físicas; clave para reformular MEN-ERM como motor subluminal con fuente y momento.
  6. **Santiago, J., Schuster, S. & Visser, M.** “Generic warp drives violate the null energy condition.” *Physical Review D* **105**, 064038, 2022. DOI: 10.1103/PhysRevD.105.064038.  
Uso: crítica fuerte; muestra que warp drives físicamente razonables violan condiciones de energía.
- 

## 5. Relatividad general, tensores de energía y condiciones de energía

1. **Einstein, A.** “Die Feldgleichungen der Gravitation.” *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften*, 844–847, 1915.  
Uso: ecuaciones de campo de Einstein.
  2. **Misner, C. W., Thorne, K. S. & Wheeler, J. A.** *Gravitation*. W. H. Freeman, 1973.  
Uso: referencia clásica sobre tensores, energía, curvatura y formalismo ADM.
  3. **Wald, R. M.** *General Relativity*. University of Chicago Press, 1984.  
Uso: referencia matemática estándar de relatividad general.
  4. **Hawking, S. W. & Ellis, G. F. R.** *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge University Press, 1973.  
Uso: condiciones de energía, singularidades y estructura causal.
  5. **Visser, M.** *Lorentzian Wormholes: From Einstein to Hawking*. AIP Press, 1995.  
Uso: materia exótica, energía negativa y geometrías no triviales.
- 

## 6. Dimensiones extra, Kaluza-Klein y jerarquía de masas

1. **Kaluza, T.** “Zum Unitätsproblem der Physik.” *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften*, 966–972, 1921.  
Uso: origen histórico de la unificación 5D gravedad-electromagnetismo.
2. **Klein, O.** “Quantum Theory and Five-Dimensional Theory of Relativity.” *Zeitschrift für Physik* **37**, 895–906, 1926.  
Uso: compactificación de la quinta dimensión.
3. **Randall, L. & Sundrum, R.** “A Large Mass Hierarchy from a Small Extra Dimension.” *Physical Review Letters* **83**, 3370–3373, 1999. DOI: 10.1103/PhysRevLett.83.3370.  
Uso: jerarquía por warping 5D.



4. **Randall, L. & Sundrum, R.** “An Alternative to Compactification.” *Physical Review Letters* **83**, 4690–4693, 1999.  
Uso: modelo RS2.
  5. **Gherghetta, T. & Pomarol, A.** “Bulk Fields and Supersymmetry in a Slice of AdS.” *Nuclear Physics B* **586**, 141–162, 2000. arXiv:hep-ph/0003129.  
Uso: campos en bulk y jerarquía de fermiones mediante perfiles.
  6. **Goldberger, W. D. & Wise, M. B.** “Modulus Stabilization with Bulk Fields.” *Physical Review Letters* **83**, 4922–4925, 1999.  
Uso: estabilización de dimensión extra.
  7. **Kaplan, D. E. & Tait, T. M. P.** “New Tools for Fermion Masses from Extra Dimensions.” *Journal of High Energy Physics* **0111**, 051, 2001. arXiv:hep-ph/0110126.  
Uso: masas de fermiones por localización dinámica.
- 

## 7. Sabor, Yukawas, CKM/PMNS y Modelo Estándar

1. **Particle Data Group.** *Review of Particle Physics*. 2026 edition.  
Uso: fuente base para masas de partículas, constantes, CKM, PMNS, límites experimentales y búsquedas de nueva física.
2. **Navas, S. et al. (Particle Data Group).** “Review of Particle Physics.” *Physical Review D / to be updated by PDG editions, 2024–2026*.  
Uso: versión reciente con tablas de masas y búsquedas.
3. **Cabibbo, N.** “Unitary Symmetry and Leptonic Decays.” *Physical Review Letters* **10**, 531–533, 1963.  
Uso: base de mezcla quark.
4. **Kobayashi, M. & Maskawa, T.** “CP-Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction.” *Progress of Theoretical Physics* **49**, 652–657, 1973.  
Uso: CKM y tres generaciones.
5. **Pontecorvo, B.** “Mesonium and Antimesonium.” *Soviet Physics JETP* **6**, 429, 1957.  
Uso: origen de oscilaciones neutrónicas.
6. **Maki, Z., Nakagawa, M. & Sakata, S.** “Remarks on the Unified Model of Elementary Particles.” *Progress of Theoretical Physics* **28**, 870–880, 1962.  
Uso: matriz PMNS.
7. **Froggatt, C. D. & Nielsen, H. B.** “Hierarchy of Quark Masses, Cabibbo Angles and CP Violation.” *Nuclear Physics B* **147**, 277–298, 1979.  
Uso: comparación obligada con mecanismos de jerarquía de sabor.



## 8. Unificación gauge, GUT y $SO(10)$

1. **Georgi, H. & Glashow, S. L.** “Unity of All Elementary-Particle Forces.” *Physical Review Letters* **32**, 438–441, 1974.  
Uso:  $SU(5)$ GUT original.
  2. **Georgi, H.** “The State of the Art—Gauge Theories.” *AIP Conference Proceedings* **23**, 575, 1975.  
Uso: origen de  $SO(10)$  como grupo de unificación.
  3. **Fritzsch, H. & Minkowski, P.** “Unified Interactions of Leptons and Hadrons.” *Annals of Physics* **93**, 193–266, 1975.  
Uso:  $SO(10)$  temprano.
  4. **Raby, S.** “Grand Unified Theories.” PDG review.  
Uso: revisión GUT, unificación, proton decay y  $SO(10)$ ; el PDG resume que en  $SO(10)$  una familia de quarks y leptones cabe en la representación espinorial 16, incluyendo  $\nu^c$ .
  5. **Amaldi, U., de Boer, W. & Fürstenau, H.** “Comparison of grand unified theories with electroweak and strong coupling constants measured at LEP.” *Physics Letters B* **260**, 447–455, 1991.  
Uso: running de acoplamiento y comparación SM/MSSM.
  6. **Dienes, K. R., Dudas, E. & Gherghetta, T.** “Extra spacetime dimensions and unification.” *Physics Letters B* **436**, 55–65, 1998.  
Uso: unificación con dimensiones extra.
  7. **Takenaka, A. et al. / Super-Kamiokande Collaboration.** “Search for proton decay via  $p \rightarrow e^+ \pi^0$  and  $p \rightarrow \mu^+ \pi^0$ .” arXiv:2010.16098, 2020.  
Uso: límite experimental esencial para cualquier GUT; reporta  $\tau/B(p \rightarrow e^+ \pi^0) > 2.4 \times 10^{34}$  años al 90% C.L.
- 

## 9. Materia oscura, branones y detección directa

1. **Planck Collaboration.** “Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters.” *Astronomy & Astrophysics* **641**, A6, 2020. arXiv:1807.06209.  
Uso: densidad cosmológica de materia oscura; reporta  $\Omega_c h^2 \simeq 0.120$ .
2. **Bertone, G., Hooper, D. & Silk, J.** “Particle dark matter: evidence, candidates and constraints.” *Physics Reports* **405**, 279–390, 2005.  
Uso: revisión amplia de candidatos de materia oscura.
3. **Cembranos, J. A. R., Dobado, A. & Maroto, A. L.** “Brane-world dark matter.” *Physical Review Letters* **90**, 241301, 2003. DOI: 10.1103/PhysRevLett.90.241301.  
Uso: comparación directa con heliones como excitaciones oscuras tipo brana/bulk.



4. **Cembranos, J. A. R., Dobado, A. & Maroto, A. L.** “Branon search in hadronic colliders.” *Physical Review D* **70**, 096001, 2004.  
Uso: fenomenología de branones en colisionadores.
  5. **Aalbers, J. et al. / LZ Collaboration.** “Dark Matter Search Results from 4.2 Tonne-Years of Exposure of the LUX-ZEPLIN Experiment.” 2024/2025.  
Uso: límites actuales muy fuertes sobre WIMPs; límite spin-independiente de  $2.2 \times 10^{-48} \text{ cm}^2$  para 40 GeV.
  6. **Aprile, E. et al. / XENON Collaboration.** “The XENONnT Dark Matter Experiment.” arXiv:2402.10446, 2024.  
Uso: descripción técnica de XENONnT y su masa activa.
- 

## 10. Condensados de Bose-Einstein, superradiancia, SQUIDs y metamateriales

1. **Anderson, M. H. et al.** “Observation of Bose-Einstein Condensation in a Dilute Atomic Vapor.” *Science* **269**, 198–201, 1995.  
Uso: observación de BEC.
2. **Davis, K. B. et al.** “Bose-Einstein Condensation in a Gas of Sodium Atoms.” *Physical Review Letters* **75**, 3969–3973, 1995.  
Uso: BEC en átomos de sodio.
3. **Demirkaya, B., Dereli, T. & Güven, K.** “Acoustic Superradiance from a Bose-Einstein Condensate Vortex with a Self-Consistent Background Density Profile.” arXiv:1904.08113, 2019.  
Uso: superradiancia acústica teórica en BEC con vórtice.
4. **Josephson, B. D.** “Possible new effects in superconductive tunnelling.” *Physics Letters* **1**, 251–253, 1962.  
Uso: efecto Josephson, base de SQUIDs/Josephson arrays.
5. **Fagaly, R. L.** “Superconducting quantum interference device instruments and applications.” *Review of Scientific Instruments* **77**, 101101, 2006.  
Uso: revisión de SQUIDs; explica sensibilidad a flujo magnético y aplicaciones.
6. **Makhlin, Y., Schön, G. & Shnirman, A.** “Quantum-state engineering with Josephson-junction devices.” *Reviews of Modern Physics* **73**, 357–400, 2001.  
Uso: circuitos superconductores y qubits Josephson.
7. **Krantz, P. et al.** “A quantum engineer’s guide to superconducting qubits.” *Applied Physics Reviews* **6**, 021318, 2019.  
Uso: transmons, circuitos superconductores y control cuántico.
8. **Shelby, R. A., Smith, D. R. & Schultz, S.** “Experimental Verification of a Negative Index of Refraction.” *Science* **292**, 77–79, 2001. DOI: 10.1126/science.1058847.  
Uso: metamateriales de índice negativo.



## 11. Simetría $\mathcal{PT}$ , no hermiticidad y sistemas abiertos

1. **Bender, C. M. & Boettcher, S.** “Real Spectra in Non-Hermitian Hamiltonians Having  $\mathcal{PT}$ Symmetry.” *Physical Review Letters* **80**, 5243–5246, 1998.  
Uso: base moderna de mecánica cuántica  $\mathcal{PT}$ -simétrica.
  2. **Bender, C. M.** “Making sense of non-Hermitian Hamiltonians.” *Reports on Progress in Physics* **70**, 947–1018, 2007.  
Uso: revisión clásica sobre  $\mathcal{PT}$  y pseudo-hermiticidad.
  3. **Bender, C. M.** “ $\mathcal{PT}$ -symmetric quantum mechanics.” *Reviews of Modern Physics* **96**, 045002, 2024.  
Uso: revisión reciente y autorizada; aclara cuándo hay espectros reales y evolución físicamente aceptable.
  4. **Gorini, V., Kossakowski, A. & Sudarshan, E. C. G.** “Completely positive dynamical semigroups of N-level systems.” *Journal of Mathematical Physics* **17**, 821–825, 1976.  
Uso: sistemas cuánticos abiertos.
  5. **Lindblad, G.** “On the generators of quantum dynamical semigroups.” *Communications in Mathematical Physics* **48**, 119–130, 1976.  
Uso: ecuación GKSL/Lindblad; base de tu Fórmula V.
  6. **Breuer, H.-P. & Petruccione, F.** *The Theory of Open Quantum Systems*. Oxford University Press, 2002.  
Uso: formalismo completo de matrices densidad, entornos y decoherencia.
- 

## 12. Grupo de renormalización funcional, seguridad asintótica y gravedad cuántica efectiva

1. **Wilson, K. G. & Kogut, J.** “The renormalization group and the  $\epsilon$  expansion.” *Physics Reports* **12**, 75–199, 1974.  
Uso: base del grupo de renormalización.
2. **Wetterich, C.** “Exact evolution equation for the effective potential.” *Physics Letters B* **301**, 90–94, 1993. DOI: 10.1016/0370-2693(93)90726-X.  
Uso: ecuación de Wetterich, base del FRG.
3. **Reuter, M.** “Nonperturbative Evolution Equation for Quantum Gravity.” *Physical Review D* **57**, 971–985, 1998. DOI: 10.1103/PhysRevD.57.971.  
Uso: seguridad asintótica aplicada a gravedad.
4. **Percacci, R.** *An Introduction to Covariant Quantum Gravity and Asymptotic Safety*. World Scientific, 2017.  
Uso: libro técnico de seguridad asintótica.



5. **Donoghue, J. F.** “General relativity as an effective field theory.” *Physical Review D* **50**, 3874–3888, 1994.

Uso: gravedad como EFT; muy útil para presentar ERM como teoría efectiva.

---

### 13. Propulsión espacial, plasma y ecuación de cohete

1. **Tsiolkovsky, K. E.** “Exploration of Outer Space by Means of Rocket Devices.” 1903.  
Uso: ecuación de cohete.
  2. **NASA Glenn Research Center.** “Rocket Thrust Equation.”  
Uso: fuente institucional para  $F = \dot{m}v_e + (p_e - p_0)A_e$ ; NASA señala que el empuje depende del flujo másico, velocidad de salida y presión de tobera.
  3. **Sutton, G. P. & Biblarz, O.** *Rocket Propulsion Elements*. Wiley.  
Uso: texto estándar de propulsión.
  4. **Goebel, D. M. & Katz, I.** *Fundamentals of Electric Propulsion: Ion and Hall Thrusters*. JPL / Wiley, 2008.  
Uso: referencia base para propulsión eléctrica; explica que la alta velocidad de escape reduce la masa de propelente necesaria.
  5. **Jahn, R. G.** *Physics of Electric Propulsion*. McGraw-Hill, 1968.  
Uso: texto clásico de propulsión eléctrica y plasma.
  6. **Choueiri, E. Y.** “A Critical History of Electric Propulsion: The First 50 Years.” *Journal of Propulsion and Power* **20**, 193–203, 2004.  
Uso: historia y bases de propulsión eléctrica.
- 

### 14. Referencias de base para escritura teórica y QFT

1. **Peskin, M. E. & Schroeder, D. V.** *An Introduction to Quantum Field Theory*. Westview Press, 1995.  
Uso: QFT, Lagrangianos, propagadores, renormalización.
2. **Weinberg, S.** *The Quantum Theory of Fields*, Vols. I–III. Cambridge University Press, 1995–2000.  
Uso: teoría cuántica de campos avanzada.
3. **Zee, A.** *Quantum Field Theory in a Nutshell*. Princeton University Press.  
Uso: exposición conceptual clara.

<https://rxiverse.org/abs/2606.0068>

Teoría de Resurgencia de la Materia y su Ecuación Fundamental para la Generación de Energía Negativa © 2026 por Helian Leigon tiene licencia CC BY-NC-SA 4.0.

