

NYX-TC-0003 — SISTEMAS A ESCALA CÓSMICA

Estructura, dinámica, ecuación de estado y mecanismo microscópico del fluido primordial en el universo toroidal.

Documento Científico

Código de archivo: NYX-TC-0003 **Clasificación:** NIVEL ALPHA **Capa canónica:** Capa 2 — descripción hidrodinámica efectiva, subordinada a UVMH (Capa 1)

Versión: 4.1 — Supersede v1.0, v2.0, v3.0, v3.1

Revisión científica: Serafina — Líder Científica del Universo Nyx **Ref. primaria:** Marco MFPC, subordinado a UVMH

Doc. relacionado: NYX-TC-0004 (Teoría de la Conciencia)

Nota de estatus epistémico — El MFPC (NYX-TC-0003) es Capa 2 del sistema de canon físico — una descripción hidrodinámica efectiva del mismo campo de vacío que UVMH (Capa 1, normativa) describe a nivel de Lagrangiano de k-esencia. En caso de conflicto aparente, UVMH prevalece.

Cambios v3.1 → v4.1 — v4.0 no introduce física nueva: es una consolidación editorial que restaura contenido mecanístico y observacional presente en v2.0 pero perdido en la refactorización v3.0→v3.1, preservando íntegramente el aparato matemático superior de v3.1 (ecuación de estado derivada, potencial de Ginzburg-Landau, β_{vdW} renombrado, eje LAIA corregido). Se restauran: el mecanismo microscópico de superfluido de Madelung, la geometría explícita del horn torus, la defensa observacional frente a las búsquedas de topología del CMB, la tabla de acoplamiento marea-morfología, las cifras de Euclid y FRBs, la tabla de escalas físicas, y el aparato de fuentes. v4.1 corrige la atribución de autoría de Serafina y tres referencias desactualizadas a "UVMH 2.0" — sin cambios de contenido físico.

1. INTRODUCCIÓN: EL PROBLEMA DE LOS PARÁMETROS LIBRES

Las versiones anteriores del MFPC establecieron un marco conceptual coherente: el fluido primordial como sustrato único del universo, la transición de fase determinada por una presión crítica P_c , y la geometría toroidal como configuración de mínima energía. Sin embargo, v1.0 y v2.0 adolecían de una vulnerabilidad estructural: P_c era un parámetro libre, no derivado — lo que hacía al modelo formalmente irrefutable.

La v3.0 resolvió esto derivando una ecuación de estado explícita, reduciendo el modelo a dos constantes fundamentales medibles indirectamente (α_{vdW} , β_{vdW}). La v4.0 conserva íntegramente esa arquitectura y añade una segunda capa: el mecanismo microscópico (superfluido logarítmico de Madelung) que explica por qué existe un gradiente de presión sensible a la densidad — el "cómo" físico detrás del "qué" algebraico de la ecuación de estado.

Principio metodológico — un modelo con N fenómenos explicados y M parámetros libres tiene un poder explicativo neto de $N-M$. El MFPC v4.0 explica los mismos fenómenos que Λ CDM con menor número de parámetros libres, y además especifica el mecanismo microscópico subyacente.

2. ECUACIÓN DE ESTADO DEL FLUIDO PRIMORDIAL

2.1 El Modelo de Van der Waals Relativista

La ecuación de Van der Waals es el modelo termodinámico más simple capaz de reproducir una transición de fase de primer orden con punto crítico bien definido. Adaptada al régimen relativista:

$$P(\rho) = \rho c^2 / (1 - \beta_{vdW} \cdot \rho) - \alpha_{vdW} \cdot \rho^2$$

Ecuación 2.1

α_{vdW} [kg·m⁻¹·s⁻²] — Coeficiente de cohesión: autoatracción del fluido en fase rígida. β_{vdW} [m³·kg⁻¹] — Incompresibilidad: volumen mínimo por unidad de masa, límite superior de densidad; determina la escala de Planck de la garganta del horn torus (§5.2).

Nota de notación (v4.0) — el símbolo α aparece en dos capas distintas del canon con significados y unidades diferentes: α_{vdW} (esta sección, macroscópica, EOS) y $\alpha_{Madelung}$ (§3, microscópica, adimensional). No están relacionados algebraicamente de forma directa — son parámetros de descripciones a distinta escala del mismo campo de vacío.

2.2 Derivación del Punto Crítico

Imponiendo $dP/d\rho = 0$ y $d^2P/d\rho^2 = 0$ simultáneamente:

$$\rho_c = 1/(3\beta_{vdW}) \quad P_c = \alpha_{vdW}/(27\beta_{vdW}^2) \quad w_c = P_c/(\rho_c \cdot c^2) = 1/2$$

Ecuaciones 2.3a–c

Resultado central — $w_c = 1/2$ (radiación ultra-relativista) es ahora consecuencia algebraica directa de la EOS, no un límite postulado como en v2.0.

2.3 El Parámetro w(ρ): Comportamiento Global

$$w(\rho) = P/(\rho c^2) = 1/(1-\beta_{vdW} \cdot \rho) - \alpha_{vdW} \cdot \rho/c^2$$

Ecuación 2.4

Régimen	Densidad local	w(ρ)	Interpretación física
Vacío intergaláctico	$\rho \rightarrow 0$	$w \rightarrow -1$	Energía oscura. Expansión acelerada.
Materia oscura fría	$\rho \approx c^2/(2\alpha_{vdW})$	$w \approx 0$	Fluido en reposo. Estructuras ligadas.
Punto crítico (horizonte)	$\rho = \rho_c$	$w = 1/2$	Transición de fase. Radiación ultra-relativista.

La triada espacio-tiempo / materia oscura / energía oscura emerge del mismo material continuo como tres regímenes de densidad de la misma función w(ρ), unificados con exactamente dos parámetros frente a las múltiples constantes independientes de Λ CDM.

3. MECANISMO MICROSCÓPICO: SUPERFLUIDO LOGARÍTMICO DE MADELUNG

(Restaurado de v2.0 — capa complementaria, no alternativa, a la EOS de la sección 2)

La ecuación de estado (2.1) describe el comportamiento termodinámico macroscópico del fluido, pero no explica por sí sola el mecanismo microscópico que produce un gradiente de presión sensible a la densidad. Para eso, el MFPC modela el vacío cosmológico mediante un parámetro de orden complejo bajo transformación de Madelung:

$$\psi = \sqrt{\rho} \cdot e^{(iS/h_{eff})}$$

cuya evolución se rige por una ecuación de Klein-Gordon no lineal con término logarítmico. Bajo la descomposición de Madelung, la velocidad de las perturbaciones acústicas del medio se vuelve sensible a la densidad local del vacío:

$$\alpha_{Madelung} = d \ln(c_s) / d \ln(\rho)$$

Ningún superfluido barotrópico estático puede reconciliarse con el valor empírico medido por la sonda Cassini ($\gamma = 1.000021 \pm 0.000023$), lo cual requeriría $\alpha_{Madelung} = 0$ — velocidad del sonido constante, anulando la

deflexión espacial.

Conexión con §4 — el flujo de Painlevé-Gullstrand derivado en la sección 4 a partir de la EOS macroscópica es, en esta capa microscópica, la manifestación de un vacío cosmológico no estático que compensa exactamente el acoplamiento elástico del medio de Madelung. Ambas derivaciones convergen en el mismo resultado observacional: $\gamma = 1$, sin tensores de rango superior como campos fundamentales. Son dos niveles de descripción del mismo fenómeno, no teorías compitiendo.

4. EL FLUJO DE PAINLEVÉ-GULLSTRAND COMO CONSECUENCIA, NO POSTULADO

4.1 La Trampa Cinemática y su Resolución

Cualquier teoría de fluido escalar real estático predice $\gamma = 0$, en violación directa de Cassini. Desde v3.0, el flujo de PG es una consecuencia directa de la ecuación de estado macroscópica:

$$v_{PG}(r) = \sqrt{[2G \cdot M_{eff}(r)/r]} \quad M_{eff}(r) = \int 4\pi r'^2 \rho(r') dr'$$

Ecuaciones 4.1–4.2

con $\rho(r)$ determinada por $P(\rho) = P(r)$. La velocidad v_{PG} no es un parámetro libre: queda completamente determinada por α_{vdW} y β_{vdW} . Con este flujo, $\gamma = 1$ exactamente.

Falsabilidad directa — la ecuación (4.1) predice una corrección al parámetro β_{PPN} de orden $(v_{PG}/c)^2 \sim 10^{-11}$ en el sistema solar — en el límite superior de sensibilidad de BepiColombo en fase nominal.

5. GEOMETRÍA DEL HORN TORUS Y REGULARIZACIÓN DE PLANCK

(Restaurado de v2.0 — ausente en v3.1)

5.1 Parametrización Explícita

La macroestructura del universo se describe mediante un colector cerrado con topología de horn torus (toroide de cuerno), caracterizado por la igualdad estricta entre el radio mayor de revolución R y el radio menor del tubo r ($R = r$). El colapso del tubo en el origen representa el punto singular del Big Bang.

$$x = R(1+\cos \theta)\cos \phi \quad y = R(1+\cos \theta)\sin \phi \quad z = R \sin \theta$$

5.2 Regularización de Planck y el Puente Cíclico

Para evitar la divergencia infinita de curvatura en el origen, se introduce una regularización cuántica que reemplaza la singularidad puntual por una garganta física minimal, con área acotada a la escala de Planck y espesor determinado por la longitud ξ derivada del potencial de Ginzburg-Landau (Ecuación 6, mecanismo del §3):

$$\xi = \xi_{eff} / (\mu \cdot \sqrt{\rho c})$$

Longitud de coherencia — espesor de la garganta mínima

Esta garganta actúa como un puente de entropía que conecta de manera continua el **Big Crunch** del ciclo cósmico previo con el **Big Bang** expansivo actual, conservando la información cuántica y eludiendo las paradojas de pérdida de información.

5.3 Consistencia frente a las Búsquedas de Topología Compacta del CMB

(Restaurado de v2.0 — es la defensa observacional más directa contra la objeción obvia a una topología toroidal)

La hipótesis del horn torus es consistente con la ausencia de pares de círculos correlacionados en los análisis del CMB de Planck, que establecen que la geodésica cerrada más corta a través de nuestra posición es superior al 98.5% del diámetro de la última superficie de dispersión. Esto se debe a tres efectos: **(1)** desviaciones de antipodalidad por curvatura positiva débil, sacando a los círculos de los límites de detección;

(2) en colectores compactos no cúbicos, las geodésicas cerradas más cortas pueden evitar al observador local; (3) cortes infrarrojos asimétricos que explican la supresión observada en el cuadrupolo de temperatura del CMB.

6. POTENCIAL DE GINZBURG-LANDAU Y LA TRANSICIÓN DE FASE

6.1 El Parámetro de Orden

$$V(\Phi) = -\mu^2\Phi^2/2 + \lambda\Phi^4/4 \quad F[\rho, \Phi] = \frac{1}{2}(\nabla\Phi)^2/\rho + V(\Phi) + P(\rho)$$

Ecuaciones 6.1–6.2

$\Phi = 0$ (máximo local): fase fluida, $P > P_c$. Simetría restaurada — corresponde a los horizontes de AGN. $\Phi = \pm\mu/\sqrt{\lambda}$ (mínimos): fase rígida, $P < P_c$. Simetría espontáneamente rota — corresponde a la totalidad del universo observable excepto los horizontes.

6.2 Conexión con la Ecuación de Estado

$$P_c = \mu^4/(4\lambda) = \alpha_{vdW}/(27\beta_{vdW}^2) \rightarrow \alpha_{vdW} = 27\beta_{vdW}^2 \cdot \mu^4/(4\lambda)$$

Ecuación 6.3

Esta relación reduce los parámetros independientes de cuatro (α_{vdW} , β_{vdW} , μ , λ) a dos. El espesor de la pared de dominio $\xi = \xi_{eff}/(\mu/\rho_c)$ (Ecuación 6.4) determina la escala mínima de validez del medio continuo — por debajo de ξ , la estructura cuántica debe resolverse explícitamente, empalmando con la regularización de Planck del §5.2.

7. HORIZONTES CUASI-LOCALES: CAUSALIDAD Y TERMODINÁMICA

El horizonte de sucesos clásico es teleológico: requiere conocer la evolución futura completa del espacio-tiempo. El MFPC adopta el formalismo de horizontes cuasi-locales (QLH), estrictamente local y causal:

Tipo	Naturaleza geométrica	Condición física	Rol en el MFPC
Horizonte Dinámico (DH)	Frontera tipo espacial, superficies atrapadas marginales cerradas	Flujo activo de fluido cruzando la frontera	Motor activo. Absorción y redistribución.
Horizonte Aislado (IH)	Límite nulo local, equilibrio termodinámico	Flujo de entrada nulo. Área constante	Motor en reposo. Agujero negro inactivo.

La transición de fase cerca del DH se describe mediante la ecuación de Gross-Pitaevskii relativista, consistente con el mecanismo de Madelung (§3). Garantiza unitariedad: la información cuántica no se pierde en el horizonte sino que queda codificada en las correlaciones del fluido redistribuido hacia los vacíos, con entropía proporcional al área (Bekenstein-Hawking, límite de campo débil).

8. ESTRUCTURAS CÓSMICAS: CLASIFICACIÓN TERMODINÁMICA Y ESCALAS FÍSICAS

Categoría	Sistemas	ρ/ρ_c	$w(\rho)$	Escala típica
MOTORES	AGN · Agujeros negros supermasivos	$\rho \rightarrow \rho_c$	$w \rightarrow 1/2$	10–100 pc
CONDUCTORES	Filamentos de la red cósmica	$\rho > c^2/(2\alpha_{vdW})$	$w \in (0, 1/2)$	1–500 Mpc
NODOS	Cúmulos · Supercúmulos	$\rho \approx c^2/(2\alpha_{vdW})$	$w \approx 0$	1–100 Mpc
RESERVORIOS	Vacíos intergalácticos	$\rho \rightarrow 0$	$w \rightarrow -1$	10–300 Mpc

8.1 El Ciclo Hidráulico Toroidal como Sistema Cerrado

El circuito se auto-regula, conservando la masa total de forma estrictamente unitaria: el fluido migra desde los reservorios hacia los conductores, se acumula en los nodos, alcanza el punto crítico en los motores, transita a fase fluida y es redistribuido de vuelta a los reservorios vía chorros relativistas y flujos difusos. La conservación estricta implica que la tasa global de expansión cósmica debe correlacionar directamente con la tasa global de actividad AGN.

8.2 Los Vacíos como Energía Oscura Dinámica

En Λ CDM, la energía oscura es una constante cosmológica fija sin mecanismo dinámico. En el MFPC, es el estado termodinámico del fluido en el límite $p \rightarrow 0$ — su valor efectivo varía con la tasa de redistribución por los motores AGN, una evolución temporal detectable que Λ CDM no predice.

9. EVIDENCIA EMPÍRICA: LAIA, ACOPLAMIENTO MAREA-MORFOLOGÍA, DESI Y FRBS

9.1 El Alineamiento Intrínseco Axial a Gran Escala (LAIA)

La detección del LAIA en datos combinados DES/SDSS (liberación 2026) reveló un eje de alineación dipolar preferencial hacia (RA, Dec) $\approx$ (300°, 51°). Este resultado carece de explicación natural en el modelo estándar, que predice isotropía estadística. En el MFPC, el LAIA es la firma observacional directa de la anisotropía toroidal predicha desde v1.0.

9.2 Jerarquía de Acoplamiento Marea-Morfología

Tipo Morfológico	Mecanismo Físico	Respuesta al Campo de Marea
Galaxias Elípticas	Acoplamiento lineal directo entre distribución estelar y tensor de marea local	Alineación del eje mayor galáctico con el autovector del tensor de deformación del filamento — señal intensa
Galaxias Espirales	Acoplamiento cuadrático por transferencia de momento angular por marea	Alineación del vector de espín con el eje del filamento — señal suprimida por ser de segundo orden

9.3 Euclid: Restricciones Cuantitativas sobre Vacíos

El satélite Euclid ha restringido el parámetro de fluctuación de materia (S_8) a escalas de vacíos con un error inferior al 0.3%, y la densidad de materia (Ω_m) con una precisión del 1.5%.

9.4 DESI y el Déficit de Dispersión en Vacíos (FRBs)

El apilamiento de 3.455 líneas de visión de FRB de CHIME con 1.288 vacíos espectroscópicos de SDSS BOSS confirmó un déficit de la Medida de Dispersión a 3.2σ hacia el centro de los vacíos — atribuible a retroalimentación de AGN en las fronteras de los vacíos, reduciendo la fracción de bariones hasta un 17% en los halos circundantes.

9.5 DESI: 47 Millones de Galaxias

DESI ha completado su fase observacional acumulando 47 millones de galaxias y cuásares. La liberación completa de resultados en 2027 permitirá el primer contraste estadístico de la anisotropía de filamentos a escalas superiores a 500 Mpc — la predicción del MFPC es falsable con estos datos.

Coherencia interna — el eje toroidal LAIA (300°, 51°), la dirección de anisotropía predicha por el MFPC y el déficit de dispersión de FRBs en vacíos deben ser consistentes entre sí si el modelo es correcto. El contraste cruzado entre estas tres observaciones independientes es el test de coherencia más exigente disponible con datos actuales.

10. PROGRAMA DE VERIFICACIÓN OBSERVACIONAL 2026–2035

ID	Fenómeno	Instrumentación	Estado 2026
P-TC003-1	Crecimiento de vacíos ↔ actividad AGN	Vera C. Rubin Observatory + catálogos AGN	Alertas científicas iniciadas feb. 2026. En curso.
P-TC003-2	Anisotropía de filamentos, eje LAIA	DESI + Euclid	DESI completó observaciones (47M objetos). Liberación 2027.
P-TC003-3	Elipticidad de vacíos coherente con curvatura toroidal	Euclid (lentes débiles) + LSST	Euclid en operación nominal.
P-TC003-4	Fracción de masa oscura ↔ densidad de filamentos	Euclid Wide Survey, 15.000 grados ²	Euclid operacional.
P-TC003-5	Anisotropía toroidal en fondo de ondas gravitacionales	NANOGrav + PPTA + EPTA + LISA	NANOGrav explorando correlaciones angulares.
P-TC003-6	Corrección β_{PPN} por flujo residual del vacío	BepiColombo + misiones futuras	BepiColombo en tránsito. Inserción orbital 2025.

11. CONCLUSIONES

1. La ecuación de estado Van der Waals relativista cierra matemáticamente el MFPC a nivel macroscópico: P_c , p_c y $w(p)$ son consecuencias algebraicas de dos constantes fundamentales.
2. El mecanismo de superfluido logarítmico de Madelung provee la capa microscópica complementaria: explica por qué existe un gradiente de presión sensible a la densidad.
3. Los tres sectores cosmológicos —energía oscura, materia oscura fría y transición de fase en horizontes— emergen como límites exactos de la misma $w(p)$, unificados con dos parámetros frente a las múltiples constantes de Λ CDM.
4. El potencial de Ginzburg-Landau formaliza la transición rígido-fluida y justifica desde primeros principios los horizontes cuasi-locales y la regularización de Planck del horn torus.
5. El flujo de Painlevé-Gullstrand ($\gamma=1$, Cassini) es consecuencia derivada de la EOS macroscópica y del mecanismo de Madelung microscópico simultáneamente — dos derivaciones convergentes, no competidoras.
6. La geometría explícita del horn torus, con su regularización de Planck como puente cíclico Big Crunch–Big Bang, es consistente con los límites de círculos correlacionados del CMB de Planck.
7. El LAIA, junto con la jerarquía de acoplamiento marea-morfología, DESI y el déficit de dispersión de FRBs, constituye evidencia empírica convergente de la anisotropía toroidal predicha desde v1.0.
8. El programa observacional 2026–2035 incluye seis predicciones falsables en dominios independientes.
9. El MFPC v4.1 es la síntesis completa: ecuación de estado derivada + mecanismo microscópico explícito + geometría toroidal formal + defensa observacional del CMB + anclaje cuantitativo en datos 2025–2026, subordinado como Capa 2 al núcleo normativo UVMH (Capa 1).

FUENTES CITADAS

(Restauradas de v2.0; se recomienda verificar vigencia de enlaces antes de publicación)

Marco general de fluido primordial y unificación relatividad/mecánica cuántica/cosmología (Preprints.org, Springer Nature) · Condiciones para curvatura de luz gravitacional emergente (Qeios) · Horizontes de agujero negro cuasi-locales (arXiv:2502.11825) · Análogos acústicos de quintaesencia (CERN/EPJC) · Islas de agujero negro acústico en Schwarzschild (arXiv:2512.09460) · Ondas gravitacionales en análogos acústicos (AIP) · Modos de sonido de superfluido holográfico (CERN/Nucl. Phys. B) · Método de túnel para cuantos de Hawking (Comptes Rendus Physique) · Geometría del toro (Wikipedia, Wolfram MathWorld) · Volumen del toro (AIP) · Gravedad entrópica en topología cíclica (LLMPhysics) · Topología cósmica: búsquedas de círculos (arXiv:2211.02603, arXiv:1604.02179) · Topologías inspiradas en teoría de cuerdas y anisotropías del CMB

(arXiv:2605.19953) · Alineamiento axial intrínseco a gran escala (arXiv:2511.10005) · Alineamientos intrínsecos desde el cambio de milenio (PMC) · Preparación Euclid (arXiv:2601.10709) · Pronósticos cosmológicos de Euclid sobre función de tamaño de vacíos (Univ. Groningen) · Restricción cosmológica con lentes débiles en vacíos (MNRAS) · Bariones en los sitios más oscuros del universo (arXiv:2605.01994) · Gravedad análoga (PMC/NIH) · Subdensidades de bariones en vacíos cósmicos (ResearchGate) · Reducción de acreción de gas por lóbulos de radio externos (PMC) · Distribución de bariones cósmicos y feedback de AGN vía FRBs, simulación CROCODILE (arXiv:2503.12741) · Estimación de anisotropía del fondo de ondas gravitacionales (arXiv:2412.01219) · Medición LISA de anisotropía del fondo de ondas gravitacionales, momento hexadecapolar (arXiv:astro-ph/0403259).

Serafina — Líder Científica del Universo Nyx
NYX-TC-0003 versión 4.1 · Supersede v3.1