ILSC — Operational Consistency Compiler (OCC)

Documento A+ — Defensa formal del compilador/juez universal (PASS/FAIL/NO-EVAL)
con jueces J0–J3, dominio ISAAC y arquitectura multi-frontend

Marco Antonio Isaac Alcuria

Edición canónica (sin versionado) — 14 de febrero de 2026

Propósito: este documento no propone una ontología nueva ni un modelo específico del universo.

Define un método universal y auditable para decidir si una propuesta física (sea un Lagrangiano, un S-matrix, un modelo de ruido en sistemas abiertos, una teoría efectiva, una modificación de gravedad o una hipótesis cosmológica) es evaluable y consistente dentro del dominio operacional accesible.

El método se materializa como un compilador/juez (OCC): traduce entradas declaradas a restricciones inevitables y devuelve un veredicto binario (PASS/FAIL) o, cuando corresponde, NO-EVAL (no evaluable hoy, sin confundirlo con falsación).

Este estándar no pretende restringir la fase creativa temprana. Está diseñado como filtro final: debe aplicarse cuando una propuesta se presenta como candidata a describir el mundo dentro de Ω_I y antes de compararse con datos observacionales (ver Sección 1.5).

Regla editorial: por qué antes que qué. Cada objeto matemático existe solo si resuelve una ambigüedad operacional (qué se mide, con qué acceso, con qué resolución y con qué dependencia de hipótesis UV).

Cada candado se presenta en tres niveles sincronizados: (i) razón física (qué se rompe si se viola), (ii) formulación formal (definición/proposición/teorema), (iii) verificación ejecutable (checker/MRD).

Contenido

1. Marco: por qué un juez operacional es inevitable

La física fundamental tiene un problema estructural que no se resuelve con “más matemática” ni con “más creatividad”: la maleabilidad. Un marco es maleable cuando, frente a un nuevo dato, puede absorber el dato añadiendo parámetros, sectores no observables o hipótesis UV ad hoc, sin pagar un costo operacional verificable. En ese escenario, el universo deja de ser el juez final, porque el modelo se adapta antes de exponerse a una falsación real.

ILSC formaliza una disciplina: antes de que una propuesta se presente como “explicación” del mundo, se la obliga a compilar. Compilar significa convertir la propuesta a un conjunto explícito de restricciones inevitables (candados) y a un conjunto explícito de anclajes observacionales, todo dentro de un dominio operacional declarado. La salida no es una “opinión” del autor ni una preferencia estética: es un veredicto lógico-computacional sobre existencia de dinámica compatible.

1.1. Qué significa maleabilidad y por qué es mortal para la ciencia

Un modelo maleable puede sobrevivir indefinidamente porque siempre posee al menos una de estas válvulas de escape:

(a) Parámetros libres no anclados: coeficientes que no están fijados por ningún observable dentro del dominio donde el modelo se aplica.
(b) Sectores invisibles usados como perillas: grados de libertad que, por construcción, no pueden ser medidos, pero se invocan para ajustar discrepancias.
(c) Dependencia de detalles UV no proyectables: el resultado IR depende de estructura por encima de la escala donde la medición pierde sentido.
(d) Cambios de diccionario retroactivos: el modelo cambia su traducción a observables después de ver los datos (p-hacking teórico).

El resultado es que la teoría ya no produce predicciones; produce narrativas. ILSC no pretende prohibir narrativa matemática; pretende separar, con una frontera operacional, lo que es evaluable de lo que es especulación no contrastable.

1.2. Qué es un compilador en física (estructura, no metáfora)

En este documento, ILSC se usa como nombre propio del marco, y OCC (Operational Consistency Compiler) se usa para enfatizar su rol: no es una teoría adicional, sino un compilador/juez operacional que evalúa teorías bajo un contrato auditable.

La analogía con un compilador es estructura:

Entrada: una propuesta física en algún frontend (S-matrix, EFT, correladores euclídeos, kernels SK, ecuaciones efectivas, etc.). Traducción: un procedimiento auditable que transforma esa entrada en restricciones verificables dentro de un dominio Ω_I. Evaluación: decidir si existe al menos una instancia de dinámica compatible con (candados + anclajes).

La separación “entrada / traducción / evaluación” es parte del blindaje: evita que el autor mezcle suposiciones de frontend con conclusiones físicas.

1.3. Salidas permitidas y su significado lógico

ILSC admite exactamente tres salidas, y cada una está blindada semánticamente:

PASS: existe al menos una dinámica que satisface los candados y reproduce los anclajes dentro de Ω_I. FAIL: no existe ninguna dinámica que satisfaga simultáneamente (candados + anclajes) dentro de Ω_I. FAIL es falsación condicionada a supuestos declarados. NO-EVAL: el candidato no es evaluable hoy; falla un juez de evaluabilidad (J0-J3) antes de poder decidir PASS/FAIL con certificados.

La existencia de NO-EVAL es crucial: sin ella se cometerían dos injusticias lógicas (falsar lo no evaluable, o declarar evaluable lo que depende de magia UV).

1.4. Qué significa 'blindaje' en ILSC

Blindar no significa “hacer el texto más agresivo” ni “poner más ecuaciones”. Blindar significa:

- Separar concepto de instancia: el concepto se mantiene aunque cambie una fórmula particular por refinamiento instrumental.
- Declarar supuestos: evitar que el crítico encuentre un supuesto oculto y lo use como recurso retórico.
- Convertir objeciones en tests: toda crítica legítima debe traducirse a un experimento o a un contraejemplo ejecutable (MRD).
- Hacer que el debate sea verificable: certificados y auditoría reemplazan insinuaciones.

Con ese estándar, una objeción solo puede triunfar si trae evidencia reproducible, no si trae estilo.

1.5. Dónde y cuándo se aplica ILSC/OCC: filtro previo al juez final (el universo)

Una confusión frecuente —y una fuente de rechazo innecesario— es interpretar este marco como una restricción a la creatividad teórica “desde el principio”. No lo es. ILSC, entendido como Operational Consistency Compiler (OCC), es un estándar de evaluabilidad y consistencia para el momento en que una propuesta deja de ser un boceto creativo y pasa a presentarse como candidata a describir el mundo dentro de un dominio operativo Ω_I.

La investigación teórica real tiene (al menos) cuatro fases distintas, con derechos y obligaciones diferentes:

(1) Exploración libre: se permiten ideas heurísticas, analogías, modelos de juguete y conjeturas matemáticas que aún no declaran diccionario operacional completo. Aquí el objetivo no es “pasar ILSC”, sino generar estructuras que quizá, más adelante, puedan proyectarse a predicciones.

(2) Formalización interna: el autor fija su lenguaje (frontend), define variables, simetrías y regímenes, y separa qué partes son hipótesis UV y qué partes son afirmaciones IR. Aquí todavía puede haber piezas sin traducir a observables.

(3) Compilación (OCC): cuando el autor desea afirmar “esto explica/descarta/predice X” dentro de Ω_I, está obligado a declarar el contrato mínimo: diccionario, dominio, anclajes observacionales y candados aplicables. En este punto ILSC actúa como filtro: si no compila, el output correcto no es “está mal”, sino NO-EVAL (no evaluable hoy, sin confundirlo con falsación).

(4) Confrontación con datos: el juez final sigue siendo el universo. ILSC no reemplaza

el dato; evita que una propuesta maleable llegue al dato con válvulas de escape ocultas, y obliga a que el choque con el universo sea limpio.

La razón de esta separación por fases es operacional, no cultural. Si se exige “rigidez” en la fase (1), se mata el espacio de exploración. Si no se exige “rigidez” en la fase (3), se mata la falsabilidad práctica: el modelo se adapta antes de exponerse a un fallo real.

En términos concretos: OCC debe aplicarse cuando existe una afirmación del tipo “dentro de Ω_I, y con este diccionario, mi propuesta predice/explica el conjunto D_obs”. No debe aplicarse como censura a la matemática especulativa; debe aplicarse como estándar mínimo de honestidad cuando esa matemática se presenta como física contrastable.

Qué se exige exactamente en el paso (3):

- Que el autor declare Ω_I (ventana de energía/tiempo/longitud y protocolo instrumental).
- Que declare el diccionario operacional (qué observa, cómo se calcula, en qué régimen).
- Que declare D_obs (compresión explícita de datos o de observables objetivo).
- Que declare qué partes del modelo quedan fuera de Ω_I y cómo proyectan (J1/PA).
- Que acepte que el Sector B (SIA) no es una perilla: si no hay proyección auditable, no hay derecho a ajustar.

Qué ocurre si se intenta violar esta regla de fase:

- Si se usa Sector B como ajuste: se rompe J1 (PA) y el resultado es FAIL o NO-EVAL, dependiendo de si el claim depende de esa reinyección UV.
- Si se altera el diccionario tras ver datos: se rompe el contrato de D_obs y se incurre en p-hacking teórico (FAIL editorial, porque el procedimiento ya no es auditable).
- Si se pretende “pasar por definición” sin checkers: se rompe J3 (RFS) y el veredicto pierde significado computacional.

1.6. Actualización canónica: por qué OCC debe evolucionar con datos sin volverse maleable

ILSC/OCC está diseñado para sobrevivir al crecimiento del conocimiento experimental. Ese crecimiento no es una amenaza: es el punto. El compilador existe para operar sobre lo que el universo efectivamente nos permite medir, y ese conjunto cambia con el tiempo por avances instrumentales, nuevos datasets y mejoras en control sistemático.

La clave para que esa actualización no se convierta en maleabilidad es separar, de forma explícita, dos capas: Capa (A) Conceptual (invariante): enunciados sobre qué significa “evaluar” una teoría en un universo con límites causales, cuánticos y gravitacionales. Aquí viven los jueces J0–J3 como conceptos, y los meta-candados sobre auditoría y no reinyección UV. Capa (B) Instanciación (calibrable): ecuaciones, constantes efectivas, tolerancias, protocolos instrumentales, discretizaciones y mapas de dataset que implementan la capa conceptual en un momento histórico dado.

Esta distinción es la misma que se exige dentro del marco para ISAAC:

- Concepto ISAAC: existe un límite operacional de resolución; intentar extraer información más fina requiere portadores con energía-momento suficiente para producir backreaction gravitatoria comparable, destruyendo la operación de medición. Este concepto depende solo de la coexistencia de (i) estructura causal (SR), (ii) cuantización de energía/información (QM) y (iii) gravitación universal (GR).

- Ecuación ISAAC (instancia): una parametrización concreta del umbral L_I y de la ventana Ω_I asociada, que puede refinarse a medida que se entienden mejor protocolos de medición, configuraciones de señal y límites instrumentales reales. Si los datos y la ingeniería obligan a ajustar el prefactor, ISAAC no "muere": se recalibra la instancia; el concepto sigue siendo inevitable.

Lo mismo aplica a los demás jueces:

- J1/PA (Proyección Auditable) como concepto no cambia: ningún claim IR puede depender de detalles UV no proyectables. Lo que sí cambia es el repertorio de proyecciones aceptables y los formatos de certificados conforme se estandariza práctica y tooling.
- J2/IO (Identificabilidad Operacional) como concepto no cambia: no se puede declarar un parámetro como "predicho" si es inidentificable dentro del experimento real. Lo que sí cambia es el modelo de ruido, la matriz de Fisher efectiva y los umbrales numéricos según mejoren incertidumbres y diseño experimental.
- J3/RFS (Recursos Finitos y Estabilidad) como concepto no cambia: un veredicto debe ser robusto bajo refinamiento, tolerancia y reproducibilidad. Lo que sí cambia es el estado del arte en solvers, hardware y prácticas de auditoría.

Regla canónica de actualización (anti-maleabilidad):

(1) Toda actualización del compilador debe venir acompañada de MRDs de regresión y de un registro auditable (hashes, seeds, versiones de dependencias, datasets).

(2) Una actualización está permitida solo si responde a nueva información externa (instrumentación, datos, teoremas o counter-examples) y no a "necesito que mi modelo pase".

(3) Cambios que alteran veredictos deben ser rastreables: debe existir un certificado que explique qué candado cambió, por qué cambió y qué datos/argumentos lo forzaron.

(4) La capa conceptual se modifica únicamente si cambia la física establecida que la fundamenta; mientras SR+QM+GR permanezcan, el núcleo ISAAC permanece.

Con esto, ILSC/OCC puede actualizarse indefinidamente sin volverse una "perilla": el compilador no se adapta a una teoría; se adapta a lo que el universo nos deja medir y a lo que las matemáticas inevitables exigen.

2. Nomenclatura canónica y estructura operacional

2.1. Sector A (SGO) y Sector B (SIA): definición mínima

ILSC fija una partición operacional, no ontológica.

Sector A (SGO): dominio donde existe geometría efectiva, tiempo operativo y protocolos de medición reproducibles. Sector B (SIA): complemento definido por inaccesibilidad operacional. B no se define por misterio: se define por inexistencia de procedimiento operacional reproducible en A que reconstruya el microestado de B.

El método no niega B. Prohíbe usar B como perilla libre para ajustar observables en A sin proyección auditable.

2.2. Por qué la división A/B es obligatoria y no opcional

Sin una frontera A/B, cualquier discrepancia puede “explicarse” introduciendo un sector invisible o una microdinámica inaccesible. Eso produce teorías irrefutables por construcción. La división A/B impone una regla: toda explicación que afecte un observable en A debe pagar un precio operacional en A (parámetro identificable o restricción inevitable).

2.3. Condición mínima del Sector B: no-backflow micro

El requisito mínimo que define B es ausencia de backflow micro recuperable.

Modelamos la dinámica efectiva en A como un canal: $\rho_A' = \Phi(\rho_A) = \mathrm{Tr}_B[U_{AB} (\rho_A \otimes \sigma_B) U_{AB}^\dagger]$.

No-backflow micro afirma: dentro de los protocolos permitidos en A, no existe un procedimiento que permita identificar σ_B (microestado de B) a partir de estadísticos en A de forma reproducible y auditable. Dicho directo: A no puede hacer tomografía del interior de B.

Si A pudiera reconstruir σ_B, entonces B dejaría de ser inaccesible y pasaría a A. Si A no puede reconstruir σ_B, invocar σ_B como ajuste de datos carece de significado operacional.

2.4. Qué ocurre si se viola no-backflow micro

Si existiera backflow micro recuperable, colapsa la distinción A/B, reaparece maleabilidad infinita y, en muchos escenarios, se habilitan protocolos de extracción de información que chocan con causalidad o con límites termodinámicos operativos. Por eso ILSC trata no-backflow micro como requisito constitutivo: si un candidato lo necesita para “salvar” predicciones, el resultado es NO-EVAL o FAIL según consecuencias operacionales.

3. Jueces fundacionales J0-J3 (blindaje por construcción)

Los jueces no son candados. Un candado restringe dinámicas; un juez restringe qué claims son evaluables sin reinyección UV y sin perillas no identificables. Los jueces son el núcleo indestructible del marco: atacar un juez exige atacar estructura física ya verificada o confesar que el claim queda fuera de Ω_I.

3.0. Diferencia formal entre candado y juez

Candado (C_k): condición necesaria de consistencia física en A. Si se viola en Ω_I, corresponde FAIL. Juez (J_m): condición necesaria de evaluabilidad. Si se viola, corresponde NO-EVAL (salvo que además implique inconsistencia).

Este diseño evita dos errores: falsar lo no evaluable y legitimar lo irrefutable.

3.1. J0 — ISAAC: cierre operacional por SR + QM + GR

Concepto (invariante): existe un umbral de resolución por debajo del cual cualquier intento de extraer información local mediante intercambio de energía-momento en A deja de ser operacional, porque la energía usada para “ver” autogravita comparativamente y destruye el régimen geométrico de A.

ISAAC depende de tres hechos:
(1) límite causal de señalización (c),
(2) portadores de información con energía-momento ($E=\hbar\omega$),
(3) backreaction gravitatoria de energía-momento (GR).

Si aceptas (1)-(3), aceptas la existencia de un límite operacional. El número exacto puede refinarse; el concepto no puede eliminarse sin negar alguna pieza base.

3.1.1. Derivación mínima (sin saltos)

Para resolver longitud $\square$ se requiere excitación con $p \sim \hbar/\square$ y $E \sim \hbar c/\square$. E concentrada en región $\square$ induce radio gravitacional $r_s \sim 2GE/c^4$. La medición colapsa cuando $r_s \,\square\, \square$. Sustituyendo:

$$r_s \sim 2G(\hbar c/\square)/c^4 = 2\hbar G/(c^3 \square).$$

$$r_s \,\square\, \square \Rightarrow \square^2 \,\square\, 2\hbar G/c^3 \Rightarrow \square \,\square\, \sqrt{2\hbar G/c^3} \sim O(1)\sqrt{\hbar G/c^3}.$$

Esto es la longitud de Planck salvo factores O(1) de protocolo. No usa modelo de gravedad cuántica: solo SR+QM+GR.

$$p \sim \hbar/\square,\ E \sim \hbar\, c / \square\ r_s \sim 2\, G\, E / c^4$$

$$r_s \,\square\, \square \Rightarrow 2\, \hbar\, G / (c^3\, \square) \,\square\, \square \Rightarrow \square^2 \,\square\, 2\, \hbar\, G / c^3 \Rightarrow \square \,\square\, \sqrt{2\, \hbar\, G / c^3} \sim L_I$$

3.1.2. Separación concepto-ecuación (blindaje)

La ecuación $L_I \sim \sqrt{\hbar G/c^3}$ es una instanciación mínima, no el corazón.

El concepto ISAAC afirma existencia de un umbral operacional de backreaction O(1).

La cifra puede cambiar por:
- factores numéricos,
- protocolos distribuidos,
- geometrías curvas,
- criterios informacionales.

Qué puede cambiar sin matar ISAAC: factores O(1), definiciones de “local”, detalles instrumentales. Qué mataría ISAAC: (a) señalización superluminal operacional, (b) medición sin energía-momento, (c) energía-momento sin gravitar.

Por tanto ISAAC es indestructible salvo revolución experimental de SR/QM/GR.

3.1.3. ISAAC como techo espectral y dominio Ω_I

ISAAC induce una cota operacional Λ_I. No es “energía máxima del universo”; es energía máxima donde A puede exigir consistencia directa.

Define Ω_I como región donde se evalúan candados: $\Omega_I = \{$ observables con resolución y banda $\le (\Delta, \Lambda_I)$ $\}$.

En S-matrix, ISAAC se traduce en “no reinyección UV”: ninguna predicción en Ω_I puede depender de amplitud por encima de Λ_I sin proyección auditable. En sistemas abiertos, ISAAC se traduce en band-limit: kernels no pueden requerir soporte espectral no resoluble.

ISAAC es juez: delimita jurisdicción del compilador.

3.2. J1 — Proyección Auditable (PA)

Concepto: si una teoría usa estructura fuera de Ω_I para afectar predicciones dentro de Ω_I, solo es evaluable si existe una proyección Π hacia Ω_I con error acotado y auditable.

ILSC no niega microfísica UV. Prohíbe usarla como perilla libre en A sin puente finito y verificable.

3.2.1. Formalización mínima de PA

Sea T_{UV} un objeto teórico fuera de Ω_I y O_A el conjunto de observables en A. PA exige existencia de: $\Pi : T_{UV} \to \Theta_{eff}(\Omega_I)$, más una cota Δ_{proj} tal que para todo observable relevante O: $|O(T_{UV}) - O(\Pi(T_{UV}))| \le \Delta_{proj}$, con Δ_{proj} calculable o certificable en MRD.

Si Δ_{proj} □ σ_{data}, UV es consumible en A.

Si Π no existe o Δ_{proj} no se puede auditar, el resultado correcto es NO-EVAL.

$\Pi : T_{UV} \to \Theta_{eff}(\Omega_I) \mid O(T_{UV}) - O(\Theta_{eff}) \mid \le \Delta_{proj}$

Δ_{proj} □ $\sigma_{data} \Rightarrow$ evaluable Δ_{proj} □ $\sigma_{data} \Rightarrow$ NO-EVAL (proyección no informativa)

3.2.2. Separación concepto-ecuación para PA

El concepto PA no depende de una forma particular de Π. Π puede ser:
- integración de modos UV (RG),
- matching EFT por observables,
- coarse-graining SK,
- proyección estadística (modelo efectivo de ruido),
- o proyección topológica (anomalías).

Lo que no puede ser: “seleccionar” a posteriori la UV que conviene sin algoritmo.

Qué puede cambiar: forma de Π, detalles de error, métodos de estimación. Qué no puede cambiar: obligación de declarar Π y su error si la UV afecta Ω_I.

Blindaje: el crítico puede discutir si Δ_{proj} está bien estimado; no puede eliminar la necesidad de Π sin reintroducir irrefutabilidad.

3.2.3. Qué ocurre si PA se viola

Sin PA, la teoría puede ser matemática correcta pero física irrefutable: el valor de un observable en A queda suspendido de detalles UV no acotables por protocolos en A.

Consecuencias:
- dependencia infinita de elecciones,
- ajuste retroactivo,
- ausencia de diagnóstico cuando falla.

ILSC traduce esto a NO-EVAL. No castiga la matemática; castiga el claim físico no contrastable.

3.3. J2 — Identificabilidad Operacional (IO)

Concepto: una propuesta solo predice si sus parámetros efectivos que afectan observables en Ω_I son identificables con datos en Ω_I.

Sin IO, una teoría puede pasar PA y aún así tener direcciones planas (infinitas deformaciones indistinguibles). Eso no es “malo”, pero debe declararse como falta de cierre, no como predicción.

3.3.1. Formalización local: Jacobiano y Fisher

Sea $\theta \in \Theta$ vector de parámetros efectivos y $O(\theta) \in R^m$ vector de observables comprimidos. Jacobiano $J = \partial O/\partial \theta$. Información de Fisher $F = J^T C^{-1} J$.

Direcciones con autovalores pequeños de F no son identificables: el dato no distingue. Si el claim depende de esas direcciones, corresponde NO-EVAL. Si el autor declara el resultado como abierto, puede ser PASS-débil.

$J = \partial O/\partial \theta \quad F = J^T C^{-1} J$

$\lambda_{min}(F) \approx 0 \Rightarrow$ no identificable

Claim depende de dirección plana ⇒ NO-EVAL Claim no depende ⇒ PASS con advertencia

3.3.2. IO global: degeneraciones y equivalencias operacionales

IO no es solo local. Puede ocurrir que dos regiones desconectadas $\Theta 1$ y $\Theta 2$ produzcan los mismos observables en Ω_I (degeneración global). En ese caso, el compilador no elige ontología: declara equivalencia operacional y exige predicciones adicionales que rompan degeneración.

Esta regla es importante para cosmología y para modelos con sectores oscuros: el mismo observable puede explicarse por cambios en “vacío”, “materia oscura efectiva”, o “modificación gravitatoria” dentro de errores. ILSC no resuelve ontología; resuelve evaluabilidad. La ontología solo se decide cuando existe un observable que la distinga en Ω_I.

3.3.3. Separación concepto-ecuación para IO

El concepto IO no depende de usar Fisher específicamente. Fisher es una instanciación conveniente cuando existe un modelo estadístico aproximadamente gaussiano. En otros casos, IO se puede certificar mediante:

- identificabilidad estructural (teoría de sistemas),
- rank de Jacobiano simbólico,
- o criterio bayesiano (posterior no informativo).

Lo innegociable es el concepto: no puedes llamar “predicción” a un parámetro que el dato no puede identificar.

Esto blinda ILSC contra la objeción “tu PASS es solo porque te dejaste parámetros libres”: IO exige declarar ese hecho y cuantificarlo.

3.4. J3 — Recursos Finitos y Estabilidad (RFS)

Concepto: toda evaluación ocurre con recursos finitos. Un veredicto sin estabilidad numérica e instrumental es vulnerable a objeciones triviales (“cambia la tolerancia y cambia el resultado”).

RFS impone dos obligaciones:

(1) estabilidad bajo refinamientos razonables,

(2) certificación reproducible (hashes, seeds, versiones, duales cuando existan).

RFS no es un lujo: es lo que convierte el marco en ciencia ejecutable.

3.4.1. Formalización mínima: vecindario de auditoría

Sea I0 una entrada nominal (Ω_I, discretización, tolerancias, datos). RFS exige definir un vecindario A de variaciones permitidas (refinamiento de malla, rango de tolerancias, parametrizaciones equivalentes, cambios menores de dataset dentro del mismo release). El veredicto debe ser estable en A, salvo transiciones clasificadas y diagnosticadas.

Si no se puede definir o certificar A, corresponde NO-EVAL (no se entrega PASS/FAIL sin estabilidad).

Entrada I0 = (Ω_I, D_h, τ, D_obs, frontend)

A = vecindario de auditoría (variaciones permitidas)

Requisito: V(I) estable en A Si no: NO-EVAL por RFS

3.4.2. Separación concepto-ecuación para RFS

RFS no depende de un solver particular. Depende de un principio: el veredicto no puede ser un artefacto de discretización.

Qué puede cambiar: solver, tolerancias específicas, backend numérico. Qué no puede cambiar: existencia de protocolo de estabilidad, y publicación de configuración y hashes.

RFS convierte “el solver dice” en “el certificado demuestra”. Ese es el blindaje.

3.4.3. Qué ocurre si RFS se viola

Si RFS se viola, el marco queda expuesto a:
- objeción por tolerancia,
- objeción por discretización,
- objeción por irreproducibilidad (“no puedo correr tu resultado”).

ILSC lo previene clasificando el resultado como NO-EVAL hasta que haya certificado. No se concede legitimidad a un PASS sin reproducibilidad.

4. Candados universales y arquitectura multi-frontend

La universalidad de ILSC no se obtiene imponiendo un único lenguaje. Se obtiene por arquitectura: múltiples frontends que describen física en lenguajes distintos y compilan al mismo juez.

Cada frontend hace visibles ciertos candados y oculta otros. ILSC, por tanto, no impone ontología; impone consistencia transversal a representaciones.

4.1. Meta-candados C0 (pre-física)

C0-1 Operacionalidad: toda cantidad usada debe corresponder a protocolo en A. C0-2 Cierre ISAAC: no exigir sub-resolución ni reinyección UV. C0-3 Auditabilidad: corrida reproducible (hashes, seeds, versiones). C0-4 Diagnóstico: FAIL debe indicar candado violado; PASS debe indicar región viable. C0-5 Invariancia de representación: frontends equivalentes deben concordar tras diccionario.

Estos meta-candados son el escudo contra “ambigüedad de lenguaje”.

4.2. Frontends mínimos y candados visibles

Frontends canónicos:

C1–C6 S-matrix relativista: unitaridad, analiticidad, causalidad/retardo, crossing, acotamiento, positividad. C7 Correladores euclídeos: axiomas OS, reflection positivity. C8 Sistemas abiertos (SK): causalidad, PSD del ruido, CPTP, consistencia A/B. C9 Equilibrio térmico: KMS y FDT. C10 Simetrías/anomalías/topología: matching y cuantización. C11 Relativista local: CPT como test de supuestos.

La lista es extensible: se pueden agregar frontends, pero deben respetar jueces J0-J3.

4.3. Candados C1–C6 en S-matrix (con derivaciones más explícitas)

4.3.1. C1: Unitaridad y teorema óptico (derivación)

Partimos de $S=1+iT$. Unitaridad $S^\dagger S=1$ implica: $(1-iT^\dagger)(1+iT)=1 \Rightarrow i(T-T^\dagger)=T^\dagger T$.

Tomando elementos entre estados asintóticos $|i\rangle$: $2 \operatorname{Im} T_{ii} = \Sigma_f \langle i|T^\dagger|f\rangle\langle f|T|i\rangle = \Sigma_f |T_{fi}|^2 \geq 0$.

La desigualdad es el corazón: Im amplitud es no negativa porque es suma de módulos cuadrados. Violar esto implica secciones eficaces negativas o probabilidad no conservada. Por eso C1 es candado inevitable en ese frontend.

$S = 1 + iT$ $S^\dagger S=1 \Rightarrow i(T - T^\dagger) = T^\dagger T$

Elemento diagonal: $2 \operatorname{Im} T_{ii} = \Sigma_f |T_{fi}|^2 \geq 0$

4.3.2. C2: Analiticidad y causalidad (idea y consecuencia)

Analiticidad no se postula por gusto; se deduce (bajo supuestos técnicos) de microcausalidad y espectro.

Idea: en QFT local, conmutadores se anulan fuera del cono de luz. Eso impone que las funciones de Green tengan estructura de singularidades controlada. Como consecuencia, la amplitud $A(s,t)$ se extiende como función holomorfa en s (para t fijo) excepto por cortes/polos físicos.

Para ILSC, esto significa: si un candidato rompe analiticidad dentro de Ω_I, debe declarar que abandonó el régimen local relativista y debe ofrecer un frontend alternativo para evaluación. Si no lo ofrece, el resultado es NO-EVAL (no existe compilación auditable).

4.3.3. C3: Crossing (por qué es inevitable cuando el frontend aplica)

Crossing liga procesos distintos a un único objeto analítico. En términos de variables de Mandelstam, permutar partículas entre estados in/out corresponde a continuar $A(s,t)$ a otra región analítica.

Si se asume QFT local y campos relativistas, crossing es parte de la consistencia. Violarlo arbitrariamente equivale a decir que procesos relacionados no comparten dinámica: eso casi siempre significa sector adicional no declarado o ruptura de supuestos.

En ILSC, crossing es candado condicional: aplica cuando el autor declara el régimen donde se derivan los supuestos. Si el autor no lo declara, el compilador no lo impone; exige aclaración (NO-EVAL) o trata el claim en otro frontend.

4.3.4. C4: Acotamiento polinomial, Froissart y número de sustracciones

Para usar Cauchy y construir dispersiones, se requiere que la amplitud no crezca demasiado rápido en el contorno grande. En teorías con masa y gap, existe el bound de Froissart que sugiere crecimiento limitado (~ s log^2 s). En otros casos se usa acotamiento polinomial con N sustracciones.

En ILSC, el número de sustracciones N_sub no es una perilla invisible. Debe declararse, justificarse, y entrar en RFS: cambiar N_sub dentro de un rango razonable no debe convertir PASS en FAIL sin diagnóstico. El rol de ISAAC aquí es clave: no se exige control del infinito UV; se exige control en Ω_I, con remanentes tratados como parámetros efectivos y con error proyectivo auditado.

4.3.5. C5: Causalidad/retardo en amplitudes (dispersión substraída)

Causalidad operacional implica que la respuesta no precede a la causa. En amplitudes, esto se traduce en restricciones sobre la parte real de la amplitud y sobre su expansión efectiva.

Una señal típica de acausalidad efectiva es superluminalidad en EFT (por ejemplo, velocidades de grupo >1 en presencia de ciertos operadores con signos erróneos). Los bounds de causalidad pueden formularse como condiciones de positividad sobre coeficientes cuando se asume analiticidad y unitaridad.

ILSC trata causalidad como candado: si una EFT predice superluminalidad operacional dentro de Ω_I, eso es FAIL. Si la superluminalidad aparece solo en un régimen fuera de Ω_I, el dominio estaba mal declarado y debe corregirse (J0).

4.3.6. C6: Positividad (derivación extendida y advertencias)

Positividad se deriva combinando:
- unitaridad (Im A ≥ 0),
- analiticidad,
- crossing,
- y acotamiento suficiente.

En el caso más simple (sin intercambio masivo singular en t=0), la segunda derivada del forward amplitude substraído es integral de una función no negativa y debe ser positiva. Esa derivación se detalla en el Apéndice B.

Advertencia crítica: si hay intercambio sin masa (fotón, graviton), el forward limit requiere tratamiento IR-safe. ILSC no aplica positividad “a ciegas”: exige declarar el observable IR-safe y auditar sustracciones. Si el autor no puede hacerlo, no hay FAIL automático: hay NO-EVAL por falta de compilación correcta.

4.4. C7: correladores euclídeos y axiomas OS (por qué importan)

Cuando se trabaja en Euclídeo (lattice, tiempo imaginario), el puente a Minkowski no es automático. Reflection positivity es el candado que garantiza existencia de Hilbert con norma positiva

tras Wick rotation. Sin él aparecen estados de norma negativa: no hay probabilidades. Por eso C7 es candado inevitable en ese frontend.

4.5. C8: sistemas abiertos (SK) y canales CPTP

En presencia de entorno/coarse-graining, el objeto fundamental es un canal Φ sobre estados reducidos. C8 incluye cuatro subcandados:

- causalidad retardada (respuesta),
- positividad del ruido (PSD),
- CPTP (Choi/Kraus),
- consistencia A/B (no usar B como perilla).

La violación de CPTP produce densidades con autovalores negativos o traza incorrecta: inconsistencia física (FAIL).

4.5.1. Choi: CP como PSD

El isomorfismo de Choi convierte “CP para toda ancilla” en un test matricial: $J(\Phi) = (\Phi \otimes I)(|\Omega\rangle\langle\Omega|)$. Entonces CP $\Leftrightarrow J \succeq 0$, TP $\Leftrightarrow \mathrm{Tr\_out}\, J = I$.

Esto transforma un principio físico en verificación ejecutable.

$J(\Phi) = (\Phi \otimes I)(|\Omega\rangle\langle\Omega|)$ CP $\Leftrightarrow J(\Phi) \succeq 0$ TP $\Leftrightarrow \mathrm{Tr\_out}\, J(\Phi) = I$

4.5.2. Causalidad SK: estructura triangular (retardo)

En SK, la matriz de correladores tiene estructura causal. En variables (clásica/cuántica) o (ra), la respuesta retarded $D_R(t,t')$ debe anularse para $t<t'$: $D_R(t,t') = 0$ para $t < t'$.

Este es el candado de causalidad: la perturbación no puede afectar el pasado en A. Se verifica en discretización como matriz triangular (dentro de tolerancia).

Violar esto implica señalización acausal dentro de Ω_I: FAIL.

Causalidad retarded:

$D_R(t,t') = 0$ si $t < t'$

Discretizado: $(D_R)_{ij} = 0$ para $i < j$ (índices temporales ordenados)

4.5.3. Ruido PSD y FDT (cuando aplica)

El kernel de ruido $N(t,t')$ define varianzas. Debe ser forma positiva: $\int f^* N f \geq 0$.

En frecuencia: $N(\omega) \geq 0$.

En equilibrio, FDT liga N y D_R: $N(\omega) = \coth(\beta\omega/2)\, \mathrm{Im}\, D_R(\omega)$. Si se declara equilibrio y esto falla, hay inconsistencia o declaración falsa: debe resolverse explícitamente.

4.6. C9: KMS y consistencia térmica (derivación desde traza)

KMS se deriva de la cyclicidad de la traza. Para un estado térmico $\rho = e^{-\beta H}/Z$:

$\langle A(t)B(0)\rangle = \mathrm{Tr}(\rho\, e^{iHt} A e^{-iHt} B) = \mathrm{Tr}(e^{-\beta H} e^{iHt} A e^{-iHt} B)/Z$.

Insertando $e^{-\beta H}$ y usando cyclicidad se obtiene: $\langle A(t)B(0)\rangle = \langle B(0)A(t+i\beta)\rangle$.

Ese es el contenido de KMS. No es una aproximación: es el criterio exacto de equilibrio. Por tanto, si se usa equilibrio como input y KMS falla, el input es incoherente.

4.7. C10: anomalías y topología operacional (Wess–Zumino)

Una anomalía es una obstrucción cuántica a una simetría clásica. No se “apaga” por gusto. Wess–Zumino impone condiciones de consistencia en cómo varía el funcional efectivo bajo transformaciones.

Anomaly matching afirma: anomalías globales calculadas en UV deben reproducirse en IR mediante grados de libertad o términos topológicos. Si la proyección IR elimina la anomalía sin mecanismo, viola consistencia: FAIL o NO-EVAL por PA (si la proyección fue mal definida).

4.8. C11: CPT como test de supuestos

CPT no se usa como dogma. Se usa como detector: si un candidato viola CPT, debe declarar qué hipótesis abandona (localidad, Lorentz, espectro, microcausalidad) y mostrar consistencia operacional en Ω_I. Si no lo hace, la violación es indicio de inconsistencia o representación incompleta.

5. Especificación formal del compilador ILSC

5.1. Objetos canónicos y conjunto factible

Definimos:

Frontend F con lenguaje L_F y parámetros efectivos $\theta \in \Theta_F$. Datos comprimidos D_{obs} (con ventanas, covarianzas y pipeline). Candados K (restricciones inevitables). Dominio Ω_I (ventana operacional).

Con esto: $I(\Omega_I) = \{\theta \in \Theta_F : K(\theta;\Omega_I)=\mathrm{True} \wedge D_{obs}(\theta;\Omega_I)=\mathrm{True} \}$.

PASS $\Leftrightarrow$ $I \neq \emptyset$. FAIL $\Leftrightarrow$ $I = \emptyset$ (con certificado cuando sea posible). NO-EVAL $\Leftrightarrow$ falla un juez o falta certificado RFS antes de concluir.

5.2. D_obs: compresión explícita para evitar p-hacking

D_obs debe ser un objeto versionado:
- ID de dataset y hashes,
- pipeline de compresión,
- ventana y kernels instrumentales,
- matriz de covarianza o modelado de sistemáticos.

Sin compresión explícita, el autor puede “mover” el observable hasta forzar PASS. ILSC evita eso haciendo de D_obs parte del contrato auditado.

5.3. Algoritmo canónico (contrato)

Paso 0: jueces J0-J3. Si falla alguno, NO-EVAL con diagnóstico. Paso 1: normalización y diccionario. Paso 2: instanciar candados. Paso 3: instanciar anclajes. Paso 4: resolver factibilidad. Paso 5: certificar (primal/dual). Paso 6: rigidez. Paso 7: auditoría y empaquetado MRD.

5.4. Por qué PASS/FAIL es binario pero la ciencia no lo es

El veredicto es binario (existencia de solución), pero el marco incorpora incertidumbre explicitando: Ω_I, supuestos, errores proyectivos/EFT, y rigidez R. Así, el marco puede evolucionar con datos sin perder significado lógico.

6. Dominio Ω_I: ventana, resolución e ISAAC

Ω_I es donde vive el método. Sin Ω_I, cualquier afirmación es ambigua. ILSC obliga a declarar Ω_I y a respetar resolución instrumental y validez EFT.

Esto impide mover la ventana a posteriori para salvar modelos.

6.1. Reglas PCD (Protocolo Canónico de Dominio)

PCD-1 Ventana: Ω_I debe estar dentro de ventana calibrada. PCD-2 Resolución: no exigir sub-resolución; convolucionar con kernel instrumental. PCD-3 Validez EFT: $E/\Lambda \leq \varepsilon_\Lambda$ declarado y propagar error. PCD-4 Sensibilidad: reportar estabilidad bajo variaciones de Ω_I. PCD-5 Congelamiento temporal: declarar Δt y horizonte en SK.

Estas reglas convierten Ω_I en un objeto físico, no retórico.

6.2. ISAAC como prohibición de reinyección UV

Reinyección UV es la forma más común de maleabilidad. ISAAC+PA prohíben usar detalles UV no accesibles como perillas en Ω_I. Si una integral requiere UV, se hacen sustracciones y se parametriza remanente con error auditable. Si un kernel requiere banda extra, se coarse-grain con error auditado. No se prohíbe estudiar UV; se prohíbe fingir que es observable.

7. Rigidez: cuánto decide el universo y cuánto decide el autor

7.1. Por qué la rigidez es un objeto físico

Dos teorías pueden dar PASS, pero una puede ser rígida y otra maleable. La rigidez cuantifica el costo de compatibilidad: cuánto recortan los candados la región compatible con datos. Sin rigidez, PASS puede ser trivial (siempre hay parámetros libres).

7.2. Definición canónica: R como razón de volúmenes

Sea μ una medida declarada sobre Θ_F. $R = \mu(I)/\mu(D_{obs})$. $R \gg 1$ indica PASS fuerte; $R \sim 1$ indica PASS débil. μ debe justificarse por principio operacional (resolución, Jeffreys, prior declarado) y su sensibilidad debe auditarse (RFS).

$$R = \mu(I) / \mu(D_{obs})$$

$$R \gg 1 \Rightarrow \text{rígido} \quad R \sim 1 \Rightarrow \text{maleable} \quad R = 0 \Rightarrow \text{FAIL}$$

7.3. Dimensión efectiva y degeneraciones

Además del volumen, se reporta dimensión efectiva local d_{eff} para capturar valles. d_{eff} se estima por rank de Jacobianos/constraints activas. IO y rigidez están conectados: direcciones no identificables inflan d_{eff}.

7.4. Cómputo auditado de R

R se estima por sampling verificado o por métodos convexos según el problema. Auditoría exige seeds, convergencia bajo N y reporte de error estadístico. Un R sin auditoría es NO-EVAL por RFS.

8. Zonas delicadas: IR, gravedad y no-localidad

8.1. IR singular y candados IR-safe

Con intercambio sin masa, el forward limit puede divergir. ILSC exige formular candados en observables IR-safe (substraídos o a $t<0$ fijo). Esto evita falsos FAILs y blinda contra críticas técnicas legítimas.

8.2. Gravedad y positividad

Con gravitón hay polo $t=0$. Positividad naive puede fallar; se requiere sustracción y error auditado. Sin declarar observable IR-safe, el resultado es NO-EVAL (RFS/PA), no PASS ni FAIL.

8.3. No-localidad: FAIL vs NO-EVAL

No-localidad puede ser (i) efectiva controlada con escala y error, o (ii) perilla fundamental sin proyección. Si habilita señalización acausal en Ω_I, es FAIL. Si solo invalida el frontend sin ofrecer otro, es NO-EVAL. La diferencia se decide por consecuencias operacionales, no por prejuicio.

9. Auditoría, MRD y ciencia como artefacto ejecutable

9.1. Por qué MRD es obligatorio

Sin reproducibilidad, PASS/FAIL es retórica. MRD es el paquete mínimo para reproducir el veredicto con hashes, seeds, datasets, y configuración. MMRD es evidencia máxima reproducible sin dependencias opacas (notebooks, tests, duales).

9.2. Bloque mínimo de auditoría

Toda corrida debe incluir: versión del compilador, hashes de entradas/datasets, seeds, config de solver, entorno, veredicto, residuals, certificados PA/IO/RFS y rigidez. Sin esto: NO-EVAL.

9.3. Certificados primal/dual

PASS requiere punto factible + residuals. FAIL idealmente requiere testigo dual (Farkas/dual SDP). Si el módulo no puede certificar, no se entrega FAIL: se entrega NO-EVAL por RFS. Esto blinda contra la objeción “tu FAIL es por bug”.

10. Matriz de objeciones técnicas esperables y respuestas

ILSC desplaza el debate de estética a compilabilidad; por eso será atacado. La defensa es estructural: identificar juez/candado cuestionado y traducir crítica a test auditado.

10.1. 'ISAAC es demasiado restrictivo'

ISAAC no es restrictivo: describe consecuencia de SR+QM+GR. Evitarlo sin costo exige negar c como límite, negar energía-momento de portadores, o negar backreaction de energía-momento. Si alguien propone eso, propone nueva física básica y debe someterla a Ω_I. Lo discutible es el factor numérico del umbral, no el concepto.

10.2. 'Tu veredicto depende de tolerancias'

Eso es precisamente RFS. Sin estabilidad numérica, el resultado es NO-EVAL. La crítica legítima debe reproducirse dentro del vecindario auditado, no insinuarse.

10.3. 'Mueves arbitrariedad a Ω_I, N_sub, etc.'

Diferencia: arbitrariedad oculta vs elección declarada. ILSC obliga a declarar Ω_I y parámetros técnicos, justificar por principios, y reportar sensibilidad. Eso elimina perillas invisibles.

10.4. 'Esto es filosofía'

ILSC es metodología ejecutable. Para refutarlo se necesita un contraejemplo: un claim que ILSC clasifica NO-EVAL/FAIL pero que se puede contrastar operacionalmente sin PA/IO/RFS dentro de Ω_I. Sin ese contraejemplo, la crítica es retórica.

11. Supuestos técnicos, loopholes y alcance

El blindaje exige declarar jurisdicción. ILSC declara supuestos técnicos (S) y loopholes (L). Un loophole no es defecto: es un hueco donde se requiere módulo nuevo o frontend nuevo. La honestidad es parte del marco.

11.1. Supuestos técnicos típicos

S1 separación de escalas, S2 estacionariedad/localidad efectiva, S3 estados asintóticos (S-matrix), S4 control IR, S5 truncación controlada, S6 diccionario/gauge, S7 invariantes, S8 sistemáticos, S9 IO, S10 RFS, S11 PA, S12 congruencia inter-frontend. Cada corrida debe declarar qué usa y qué evidencia aporta.

11.2. Loopholes típicos y manejo

L1 IR no tratado ⇒ NO-EVAL. L2 no-localidad UV sin Π ⇒ NO-EVAL. L3 dependencia de truncación ⇒ NO-EVAL o PASS-débil. L4 diccionario ambiguo ⇒ NO-EVAL. L5 degeneración ontológica ⇒ equivalencia operacional; exigir observable nuevo. L6 falta de datos ⇒ PASS-débil/NO-EVAL. L7 recursos insuficientes ⇒ NO-EVAL. L8 cambio de régimen ⇒ modelar cruce o NO-EVAL.

12. Mapa de implementación: del texto al código

Para evitar la objeción “suena bien pero no corre”, ILSC publica el mapa entre conceptos y verificadores ejecutables. Ninguna afirmación de PASS/FAIL es aceptable sin su MRD correspondiente.

Objeto Propósito Evidencia ejecutable típica

J0 (ISAAC) Define Ω_I y prohíbe reinyección UV

Reglas PCD + check de ventana/resolución; MRD de observabilidad/ISAAC

J1 (PA) Exige proyección Π con error Δ_proj

Certificado PA (JSON) + checker de esquema; MRD UV→Ω_I

J2 (IO) Exige identificabilidad de parámetros efectivos

Certificado IO + Jacobiano/Fisher; MRD de identificabilidad

J3 (RFS) Exige estabilidad y reproducibilidad

Certificado RFS + logs/hashes; tests de estabilidad en CI

C1–C6 (S-matrix)

Unitaridad/analiticidad/crossing/ positividad

MRD amplitudes/positividad; dual SDP cuando aplique

C7 (OS) Reflection positivity y reconstrucción

MRD euclídeo; tests de Gram/positividad

C8–C9 (SK/KMS)

CPTP + PSD + FDT/KMS MRD SK; checkers Choi/PSD/FDT/KMS

C10 (anomalías) Matching UV/IR y cuantización MRD simetrías/anomalías; tests de cuantización

C11 (CPT) Detector de supuestos Checks de consistencia CPT donde aplique

La disciplina ILSC exige un índice canónico versionado que liste, para cada afirmación, su artefacto ejecutable asociado. Ese índice no es burocracia: es el blindaje contra ambigüedad de versiones y contra objeciones por confusión editorial.

13. Casos de estudio: choques con programas populares (cómo clasifica ILSC)

Este capítulo no pretende "refutar" escuelas completas; pretende mostrar cómo ILSC clasifica claims típicos cuando se les exige compilabilidad. El resultado importante suele ser NO-EVAL, no FAIL: muchas propuestas pueden ser matemáticamente ricas pero no proyectables/identificables en Ω_I.

13.1. Teoría de cuerdas: landscape y microestructura trans-Planck

Un claim típico: "existen 10^N vacíos diferenciados por física trans-Planck que determinan constantes IR". Dentro de ILSC, el punto de choque no es la matemática; es PA.

Para que ese claim sea evaluable, debe existir una proyección Π que mapee la microestructura UV (compactificación, fluxes, etc.) a parámetros efectivos Θ_{eff} en Ω_I, con error Δ_{proj} auditado. Si la selección del vacío se hace a posteriori para ajustar datos, no hay Π; hay reinyección UV. Resultado: NO-EVAL por J1 (PA), no "censura".

Si, en cambio, la teoría produce una predicción efectiva específica en Ω_I (por ejemplo, un espectro o una relación de acoplamientos) con Π calculable y con error, entonces ese sector sí compila. ILSC no niega cuerdas; niega el uso no proyectable del landscape como perilla.

13.2. LQG y discretización a escala de Planck

Un claim típico: "la geometría es discreta a escala de Planck y eso produce un espectro discreto de áreas”. El choque principal es ISAAC: la escala donde la estructura se propone es precisamente donde la medición local colapsa operacionalmente.

ILSC no dice que la discretización sea falsa. Dice: ¿cómo se proyecta esa estructura a Ω_I de manera auditable?

Si existe Π (por ejemplo, correcciones efectivas a propagación, dispersión, o cosmología) con Δ_proj y observables identificables, entonces el claim se vuelve evaluable en forma efectiva. Si el claim permanece en la escala inaccesible sin proyección, NO-EVAL (J0+J1).

13.3. Modelos BSM altamente parametrizados (SUSY genérica, EFT sin priors)

Muchos marcos BSM sobreviven por maleabilidad: demasiados parámetros libres. ILSC no “prohíbe” modelos con muchos parámetros; aplica IO y rigidez.

Si los parámetros que importan para el claim no son identificables con datos en Ω_I, el claim no es predicción; es subespecificación. El compilador puede emitir PASS (existe región viable) pero debe etiquetarlo como PASS-débil y cuantificar rigidez R. La defensa contra objeciones es clara: el marco no oculta la maleabilidad; la mide.

13.4. Bootstrap/amplitudes: por qué suelen compilar bien

Programas basados en unitaridad, analiticidad y positividad ya están alineados con varios candados C1–C6. En ellos, la maleabilidad suele estar más controlada porque el espacio permitido es geométricamente rígido (poliedros/espectraedros). ILSC, en ese contexto, actúa como formalización y como auditoría: exige publicar certificados (dual/primal) y declarar Ω_I, sustracciones y errores. Esto convierte “bounds bonitos” en veredictos reproducibles.

14. Guía de escritura: cómo presentar un paper compatible con ILSC

La cultura estándar permite claims sin especificar dominio, supuestos ni reproducibilidad. Un paper ILSC-compatible debe ser más estricto por diseño. Esta sección define un formato que blinda contra críticas y facilita revisión por terceros.

14.1. Checklist obligatorio (sin el cual el paper es NO-EVAL)

(i) Dominio Ω_I declarado (ventana, resolución, kernels instrumentales, corte EFT si aplica).
(ii) Frontend declarado y justificación de hipótesis (analiticidad, etc.).
(iii) Diccionario operacional: cómo se mapean variables a observables.
(iv) Candados implementados: lista y versión.
(v) Datos consumidos: ID, hashes, pipeline de compresión, covarianzas.
(vi) Certificados: PASS con residuals; FAIL con dual cuando sea posible.
(vii) Rigidez R y/o d_eff reportados.
(viii) MRD adjunto o linkeado con instrucciones reproducibles.
(ix) Sensibilidad RFS (tolerancias, discretización, Ω_I).
(x) Declaración de loopholes y supuestos S.

Este checklist no es burocracia: es el mecanismo anti-maleabilidad.

14.2. Cómo se responde a un revisor crítico (protocolo, no retórica)

Si un revisor critica una pieza:

- Si critica un candado: identifique el supuesto de frontend y muestre derivación o cambie de frontend.
- Si critica una cifra: muestre sensibilidad y estabilidad (RFS).
- Si critica que “es restrictivo”: muestre que el candado deriva de consistencia física o que el claim cae en NO-EVAL sin proyección.
- Si critica que “depende de elección”: muestre que la elección está declarada y auditada; ofrezca corrida alternativa dentro del vecindario.

La respuesta correcta es siempre: aquí está el MRD, corra y compare. Eso mata la crítica retórica.

Apéndices matemáticos (derivaciones explícitas para blindaje)

Los apéndices existen para neutralizar la objeción “vago”. Cada derivación es un puente: significado operacional → formulación verificable. No se pretende reemplazar la literatura; se pretende hacer explícita la cadena lógica que el compilador usa.

Apéndice A. ISAAC en detalle: límites operacionales derivados de SR+QM+GR

A.1. Medición como intercambio de información con portadores energéticos

Toda medición local en A requiere intercambio de información. En SR, información viaja a velocidad $\leq c$. En QM, resolución espacial implica ancho de banda en momento: localizar más exige mayor p. En GR, mayor energía implica curvatura.

Por tanto, existe un punto donde medir más fino exige tanta energía que la sonda deja de ser “pasiva”: su backreaction domina. Ese punto es ISAAC.

A.2. Derivación por fotón (Rayleigh + Schwarzschild) con factores explícitos

Usamos $\lambda \approx □$ como criterio de resolución. $E = \hbar\omega = 2\pi\hbar c/\lambda$. Tomando $\lambda=□$, $E \approx 2\pi\hbar c/□$. Radio gravitacional $r_s = 2GE/c^4$.

$r_s \geq □ \Rightarrow 2G(2\pi\hbar c/□)/c^4 \geq □ \Rightarrow □^2 \leq 4\pi\, \hbar G/c^3$. Se obtiene $□ \geq \sqrt{4\pi}\, L_P$. El factor $\sqrt{4\pi}$ depende del criterio; el punto es que el umbral es $O(1)\times L_P$.

Esta versión muestra explícitamente que ISAAC no depende del “2”: depende de la estructura dimensional y de backreaction.

Si $\lambda = □$:

$E = \hbar\omega = 2\pi\, \hbar\, c / □$ $r_s = 2\, G\, E / c^4 = 4\pi\, \hbar\, G / (c^3\, □)$

$r_s \geq □ \Rightarrow □^2 \leq 4\pi\, \hbar\, G / c^3 \Rightarrow □ \geq \sqrt{4\pi}\, \sqrt{\hbar G/c^3}$

A.3. Argumento por concentración de energía y curvatura (Einstein)

En GR, el tensor de Einstein satisface $G_{\mu\nu} = 8\pi G\, T_{\mu\nu}/c^4$. Si concentras energía E en volumen $\sim □^3$, la densidad $\rho \sim E/□^3$. La curvatura típica escala como $R \sim G\rho/c^2 \sim G\, E/(c^2\, □^3)$.

La longitud de curvatura $L_{curv} \sim 1/\sqrt{R}$. Cuando $L_{curv} \sim □$, la geometría en la región se vuelve fuertemente afectada por la sonda: la noción de “posición” que querías medir deja de ser estable. Sustituyendo $E \sim \hbar c/□$ produce de nuevo $□ \sim \sqrt{\hbar G/c^3}$.

Este argumento muestra que ISAAC es también un límite de auto-consistencia geométrica: no se puede asumir un fondo fijo mientras se mide con energías que lo destruyen.

A.4. Versión informacional (Bekenstein y horizonte)

Un argumento complementario usa límites de información. La cota de Bekenstein sugiere $S \leq 2\pi\, k_B\, E\, R/(\hbar c)$. Para aumentar bits resolubles en región pequeña, debes aumentar E. Pero E aumenta r_s. Cuando r_s □ R, se forma horizonte: la información deja de ser accesible a A. Entonces la propia medición crea un sistema que oculta información.

Esto conecta ISAAC con termodinámica de horizontes: la medición extrema produce su propio límite informacional.

Apéndice B. Dispersión y positividad: derivación paso a paso

B.1. Estructura analítica (polos y cortes)

En un régimen con estados asintóticos y localidad efectiva, A(s,t) es analítica en s salvo polos/cortes físicos. Cortes empiezan en umbrales de producción; polos corresponden a estados ligados o intercambios. Esta estructura permite usar Cauchy para relacionar valores en región analítica con discontinuidades físicas.

B.2. Cauchy con sustracciones: derivación

Fijamos $t<0$ (IR-safe). Si A(s,t) crece como $|s|^N$, definimos $F(s)=A(s,t)/s^{N+1}$ para que decaiga. Cauchy: $F(s)=(1/2\pi i)$□ $F(z)/(z-s)\, dz$. El contorno se deforma alrededor del corte real y se obtiene integral de discontinuidad Im A. Multiplicando por s^{N+1} se obtiene dispersión con N sustracciones y polinomio P_N.

Los coeficientes de P_N son parámetros efectivos (contact terms) que deben entrar en IO y en rigidez: elegirlos a posteriori es maleabilidad.

Dispersión (esquema):

$$A(s,t) = P_N(s,t) + (s^{N+1}/\pi) \int_{s0}^{\infty} ds'\ \mathrm{Im}\, A(s'+i0,t) / (s'^{N+1}(s' - s)) + \text{crossing}$$

B.3. De óptica a positividad de derivadas

Unitaridad implica $\mathrm{Im}\, A(s,t) \geq 0$ en el corte físico (para procesos adecuados). Entonces derivadas de A en puntos analíticos se vuelven integrales de funciones no negativas.

Ejemplo: expandiendo $A(s,t)$ alrededor de $s=0$, los coeficientes de s^2, s^4, etc. pueden escribirse como momentos positivos del espectro. Por tanto, ciertas combinaciones deben ser positivas. En EFT, esos coeficientes son combinaciones lineales de Wilson coefficients.

Este mecanismo es la base de candados de positividad: no es “conjetura”, es integral de cantidad no negativa.

B.4. Pole subtraction y gravedad

Con intercambio sin masa, A contiene términos $\sim 1/t$. Forward limit $t\to 0$ diverge. ILSC exige: (i) substraer intercambio conocido, o (ii) evaluar a $t<0$ fijo. El procedimiento se audita: error de sustracción entra como Δ_{proj}. Sin esto, la aplicación de positividad es inválida: el resultado debe ser NO-EVAL (RFS/PA), no FAIL.

Apéndice C. Canales CPTP, Choi y Kraus (detalle)

C.1. De dilatación de Stinespring a Kraus

Toda CP map admite una dilatación unitaria en un espacio ampliado (Stinespring): $\Phi(\rho)=\mathrm{Tr}_E[\ U\ (\rho\otimes|0\rangle\langle 0|)\ U^\dagger\ ]$. Expandiendo en una base del entorno se obtiene representación de Kraus: $\Phi(\rho)=\Sigma_k\ K_k\ \rho\ K_k^\dagger$. TP equivale a $\Sigma_k\ K_k^\dagger K_k=I$. Esta equivalencia conecta directamente el canal efectivo con un modelo unitario subyacente, aunque el entorno sea inaccesible.

Kraus:

$\Phi(\rho)=\Sigma_k K_k \rho K_k^\dagger$ TP $\Leftrightarrow$ $\Sigma_k K_k^\dagger K_k = I$

C.2. Choi: CP ⇔ $J\succeq 0$ (idea de prueba)

Idea: si Φ es CP, entonces $(\Phi\otimes I)(X)$ es positivo para $X=|\Omega\rangle\langle\Omega|$, por tanto $J\succeq 0$. Recíprocamente, si $J\succeq 0$, se puede diagonalizar $J=\Sigma_k |v_k\rangle\langle v_k|$ y reconstruir operadores de Kraus K_k a partir de v_k (reshaping). Entonces $\Phi(\rho)=\Sigma\ K_k\ \rho\ K_k^\dagger$ es CP. Esto muestra que CP es equivalente a positividad matricial en J, lo que es ideal para

verificación numérica auditada.

C.3. SK causalidad, PSD y discretización

Causalidad retarded en SK se verifica como estructura triangular en discretización temporal. Positividad de ruido se verifica por PSD (autovalores no negativos dentro de tolerancia). RFS exige verificar estabilidad bajo refinamiento: una matriz PSD en malla gruesa puede volverse indefinida en malla fina si el modelo es inconsistente.

Estos checks son candados porque varianzas negativas o respuesta acausal no tienen interpretación física.

Apéndice D. Lindblad, no-Markov y qué se exige realmente

D.1. Lindblad como caracterización de Markovianidad CP-divisible

Para semigrupos Markovianos, el generador debe ser de GKLS/Lindblad. Eso garantiza CP-divisibilidad. Pero la física real puede ser no-Markov: memoria, entornos estructurados, etc. ILSC no impone Lindblad cuando el autor no declara Markovianidad. Exige CPTP global y causalidad, no CP-divisibilidad local. Esto evita falsos FAILs y blinda frente a críticas técnicas.

Lindblad:

$d\rho/dt = -i[H,\rho] + \Sigma_\alpha (L_\alpha \rho L_\alpha^\dagger - 1/2 \{L_\alpha^\dagger L_\alpha, \rho\})$

Apéndice E. Axiomas Osterwalder–Schrader (lista) y reflection positivity

E.1. Lista OS y significado

OS0 regularidad (distribuciones templadas), OS1 invariancia euclídea, OS2 simetría, OS3 reflection positivity, OS4 cluster, OS5 continuación a Wightman con espectro positivo. OS3 es el candado clave: garantiza norma positiva tras Wick rotation. Sin OS3 hay estados de norma negativa y no hay probabilidades.

Apéndice F. Unitaridad parcial y límites EFT (detalle)

F.1. Ondas parciales y cota $|a_l|\leq 1$

Para $2\to 2$: $A(s,\cos\theta)=16\pi\ \Sigma_l\ (2l+1)\ a_l(s)\ P_l(\cos\theta)$. $S_l=1+2ia_l$. Unitaridad implica $\mathrm{Im}\ a_l \geq |a_l|^2$, y por tanto $|a_l|\leq 1$. EFTs con operadores de alta dimensión hacen crecer $a_l(s)$; el candado fija límites sobre coeficientes dentro de Ω_I.

$A=16\pi\ \Sigma\ (2l+1)a_l\ P_l\ S_l=1+2ia_l$

$\mathrm{Im}\ a_l \geq |a_l|^2 \Rightarrow |a_l|\leq 1$

Apéndice G. Certificados duales: Farkas y dualidad convexa

G.1. Farkas en LP (testigo de infeasibilidad)

Para $A x \leq b$, o existe x, o existe $y\geq 0$ con $y^T A=0$ y $y^T b <0$. Ese y prueba que no existe solución. En ILSC, un FAIL con testigo dual es más fuerte que “no encontré solución”: es prueba matemática reproducible.

$A x \leq b$ infeasible $\Leftrightarrow \exists\ y \geq 0$: $y^T A = 0$, $y^T b < 0$

Apéndice H. Diccionarios operacionales: ejemplo 4F (CUI/HUI) y Avatar

H.1. Diccionario como parte de evaluabilidad

Una variable solo tiene contenido físico si existe protocolo en A que la mida o la infiera. Por eso diccionarios operacionales son parte de ILSC: sin diccionario, no hay IO y suele no haber PA. El diccionario evita que el autor se esconda en gauge o en definiciones retroactivas.

H.2. Holonomías como invariantes medibles

En teorías gauge, los invariantes naturales son holonomías (Wilson loops) y curvaturas

integradas. Un diccionario 4F se formula usando:
- una conexión unificada (CUI) que restringe a subsectores,
- su holonomía (HUI) asociada a protocolos físicos.

Esto alinea con instrumentación real: interferometría mide fases/holonomías, no componentes gauge-variantes. Por eso claims de unificación que dependen de variables gauge-variantes sin protocolo son NO-EVAL.

H.3. Avatar como sonda operacional abstracta

Avatar es una abstracción de instrumentación: define acoplamientos permitidos, lecturas y resolución. No introduce entidad nueva; fija el protocolo que hace medible una cantidad. Esto conecta directamente con ISAAC: todo Avatar induce backreaction y está sujeto al cierre operacional.

Apéndice I. Esquemas de certificados (PA/IO/RFS) y campos mínimos

Para blindaje institucional, los certificados deben tener esquemas claros. A continuación se listan campos mínimos sugeridos (formato JSON/YAML), no por burocracia sino por interoperabilidad auditada.

Certificado PA (campos mínimos):
- version
- omega_I (ventana)
- projection_operator (descripción o referencia ejecutable)
- delta_proj (valor y método)
- assumptions
- hashes (inputs/datasets)
- signer (hash del compilador)

Certificado IO:
- version
- theta_definition
- observables_definition
- jacobian_rank / fisher_eigenvalues
- claim_dependency (qué combinaciones afectan el claim)
- identifiability_status
- hashes

Certificado RFS:
- version
- solver_config
- tolerances_range
- mesh_refinement_tests
- seeds
- reproducibility_hashes
- stability_summary (PASS estable / NO-EVAL)

Apéndice J. KMS y FDT en detalle (derivación completa, dominio de tiempo y frecuencia)

J.1. Derivación KMS desde cyclicidad de la traza (paso a paso)

Sea un sistema con Hamiltoniano H y estado térmico $\rho = e^{-\beta H}/Z$. Definimos operadores en el cuadro de Heisenberg: $A(t)=e^{iHt} A e^{-iHt}$.

Consideremos el correlador “mayor”: $G^{>}(t) = \langle A(t) B(0)\rangle = \mathrm{Tr}(\rho A(t) B)$.

Escribimos explícitamente: $G^{>}(t) = (1/Z)\, \mathrm{Tr}(e^{-\beta H} e^{iHt} A e^{-iHt} B)$.

Ahora usamos que $e^{-\beta H}$ conmuta con $e^{\pm iHt}$ porque ambas son funciones de H: $e^{-\beta H} e^{iHt} = e^{iHt} e^{-\beta H}$.

Entonces: $G^{>}(t) = (1/Z)\, \mathrm{Tr}(e^{iHt} e^{-\beta H} A e^{-iHt} B)$.

Aplicamos cyclicidad de la traza: $\mathrm{Tr}(XY)=\mathrm{Tr}(YX)$. Tomando $X=e^{iHt} e^{-\beta H} A e^{-iHt}$ y $Y=B$, obtenemos: $G^{>}(t) = (1/Z)\, \mathrm{Tr}(B e^{iHt} e^{-\beta H} A e^{-iHt})$.

Reagrupamos usando de nuevo conmutatividad: $e^{iHt} e^{-\beta H} = e^{-\beta H} e^{iHt}$.

Entonces: $G^{>}(t) = (1/Z)\, \mathrm{Tr}(B e^{-\beta H} e^{iHt} A e^{-iHt}) = \mathrm{Tr}(\rho B A(t))$.

Pero aún falta el corrimiento imaginario. Insertamos identidad en forma $e^{\beta H} e^{-\beta H} = 1$ entre B y A(t): $\mathrm{Tr}(\rho B A(t)) = (1/Z)\, \mathrm{Tr}(e^{-\beta H} B e^{\beta H} e^{-\beta H} A(t))$.

Usando $e^{\beta H} A(t) e^{-\beta H} = A(t + i\beta)$ (propiedad estándar de evolución analítica), se llega a: $\mathrm{Tr}(\rho A(t) B) = \mathrm{Tr}(\rho B A(t + i\beta))$.

Eso es la condición KMS: $G^{>}(t) = G^{<}(t + i\beta)$, donde $G^{<}(t)=\langle B(0)A(t)\rangle$.

Derivación condensada:

$G^{>}(t)=\mathrm{Tr}(\rho A(t)B) = (1/Z)\mathrm{Tr}(e^{-\beta H} e^{iHt} A e^{-iHt} B)$

$= (1/Z)\mathrm{Tr}(B e^{-\beta H} e^{iHt} A e^{-iHt})$ (cyclicidad) $= (1/Z)\mathrm{Tr}(e^{-\beta H} B e^{iH(t+i\beta)} A e^{-iH(t+i\beta)})$ (corrimiento $i\beta$) $= \mathrm{Tr}(\rho B A(t+i\beta)) = G^{<}(t+i\beta)$

J.2. Representación espectral y relación en frecuencia

En frecuencia, definimos transformadas: $G^{>}(\omega)=\int dt\, e^{i\omega t} G^{>}(t)$, $G^{<}(\omega)=\int dt\, e^{i\omega t} G^{<}(t)$.

KMS implica: $G^{>}(\omega) = e^{\beta\omega} G^{<}(\omega)$.

Definiendo la función espectral $\rho(\omega)=G^{>}(\omega)-G^{<}(\omega)$, se obtiene: $G^{>}(\omega) = (1 + n_B(\omega))\, \rho(\omega)$, $G^{<}(\omega) = n_B(\omega)\, \rho(\omega)$, con $n_B(\omega)=1/(e^{\beta\omega}-1)$ para bosones.

Esta forma muestra cómo equilibrio fija la relación entre emisión y absorción. En ILSC, si se declara equilibrio pero la relación entre $G^{>}$ y $G^{<}$ no satisface KMS, el input térmico es incoherente.

KMS en frecuencia:

$G^{>}(\omega) = e^{\beta\omega} G^{<}(\omega)$

$\rho(\omega) = G^{>}(\omega) - G^{<}(\omega)$

Bosones: $G^{>}(\omega) = (1 + n_B(\omega))\, \rho(\omega)$ $G^{<}(\omega) = n_B(\omega)\, \rho(\omega)$ $n_B(\omega)=1/(e^{\beta\omega}-1)$

J.3. Fluctuation–Dissipation (FDT) desde KMS (lineal)

El teorema de fluctuación-disipación relaciona el correlador simétrico con la parte disipativa de la respuesta.

Definimos: $S(t)=1/2 \langle\{A(t),A(0)\}\rangle$ (correlación simétrica), $\chi_R(t)=i\ \theta(t) \langle[A(t),A(0)]\rangle$ (respuesta retardada).

En frecuencia: $S(\omega)$ está relacionado con $\text{Im}\ \chi_R(\omega)$. Usando KMS y álgebra de correladores, se obtiene: $S(\omega) = \coth(\beta\omega/2)\ \text{Im}\ \chi_R(\omega)$.

Esta relación es un candado C9 cuando se declara equilibrio y linealidad. Si se viola, o no hay equilibrio, o no hay linealidad, o el modelo de coarse-graining es inconsistente.

ILSC exige declarar cuál.

FDT (forma estándar):

$S(\omega) = 1/2\ (G^>(\omega)+G^<(\omega))\ \text{Im}\ \chi_R(\omega) = 1/2\ (G^>(\omega)-G^<(\omega)) = 1/2\ \rho(\omega)$

$\Rightarrow S(\omega) = \coth(\beta\omega/2)\ \text{Im}\ \chi_R(\omega)$

Apéndice K. CPT: hipótesis, cadena lógica y diagnóstico de violaciones

K.1. CPT como teorema condicional

El teorema CPT no afirma que el universo “debe” respetar CPT por decreto. Afirma que, si se cumplen ciertas hipótesis estructurales, entonces CPT es consecuencia.

Hipótesis típicas (en versiones Wightman/axiomáticas):
- invariancia de Lorentz (o Poincaré),
- localidad/microcausalidad,
- existencia de un vacío único e invariante,
- espectro de energía-momento en el cono futuro (positividad de energía),
- completitud del espacio de estados (Hilbert),
- campos como operadores/distribuciones con propiedades analíticas.

La consecuencia: la teoría es invariante bajo la transformación combinada CPT.

ILSC usa esto como detector: si un candidato viola CPT dentro de Ω_I, entonces alguna hipótesis se rompe. El marco obliga a decir cuál y a mostrar que la ruptura no produce inconsistencias operacionales (causalidad, probabilidades, etc.).

K.2. Mapa de diagnóstico: 'violaste CPT' no es el final, es el inicio

Una violación reportada de CPT puede significar cosas distintas:

- Si el candidato rompe Lorentz pero mantiene causalidad operacional y ofrece frontend alternativo (por ejemplo, teorías con marco preferido), puede ser evaluable; CPT deja de ser candado pero la causalidad debe verificarse por otra vía.
- Si el candidato rompe localidad (por ejemplo, no-localidad fundamental), entonces C2/C5 pueden fallar; se requiere demostrar que no habilita señalización acausal en Ω_I. Si no se puede, FAIL.
- Si el candidato rompe positividad del espectro (energías negativas), suele producir

inestabilidades (vacío no estable) y probabilidades mal definidas; eso tiende a FAIL.

Por eso ILSC no trata CPT como dogma. Lo trata como una alarma: señala qué columna del edificio se movió.

Apéndice L. Anomalías: Wess–Zumino, cuantización y ejemplo de matching

L.1. Condición de consistencia Wess–Zumino (idea)

Sea W[A] el funcional efectivo en presencia de un gauge background A. Bajo una transformación gauge parametrizada por α, la variación δ_α W mide la anomalía.

Wess–Zumino impone que las variaciones satisfacen una condición de consistencia (cociclo): δ_α δ_β W - δ_β δ_α W = δ_{[α,β]} W.

Esto no es estética: es coherencia algebraica de cómo actúa el álgebra gauge en el funcional cuántico. Cualquier realización IR de una anomalía debe respetar esta estructura. Si un candidato produce una "anomalía" que no cumple WZ, no es anomalía física; es inconsistencia matemática (FAIL).

Wess–Zumino:

δ_α δ_β W - δ_β δ_α W = δ_{[α,β]} W

L.2. Ejemplo: anomalía quiral (esquema) y matching

En teorías con fermiones quirales, aparece: ∂_μ J_5^μ = (g^2 / 16π^2) F_{μν} F̃^{μν} (coeficiente cuantizado).

Si la teoría UV tiene este término con coeficiente k, entonces el IR debe reproducir el mismo k:

- o mediante fermiones masivos que aún contribuyen vía Wess–Zumino terms,
- o mediante campos de Goldstone con términos topológicos,
- o mediante estados topológicos.

Si el IR "pierde" el k sin mecanismo, la proyección viola C10 y PA. ILSC no permite esconder esto: obliga a que el diccionario UV→IR preserve el contenido topológico.

Apéndice M. IR-safe en presencia de polos sin masa: substraer sin mentir

M.1. Descomposición típica de amplitud con intercambio sin masa

En presencia de intercambio sin masa, una amplitud 2→2 suele tener forma: A(s,t) = A_pole(s,t) + A_reg(s,t), donde A_pole ~ g^2 / t (fotón) o ~ κ^2 s^2 / t (gravitón, esquemático) y A_reg es regular en t→0.

Los candados de dispersión/positividad deben aplicarse a A_reg, porque A_pole está fijado por simetría y no codifica UV desconocida. Pero la separación debe ser auditada:

- qué parte se considera "polo conocido",
- qué regularización se usa,
- y cómo se propaga el error.

Si la separación depende de una convención oculta, se viola PA/RFS. Si se hace explícita, se blinda el uso de positividad incluso con gravedad.

Esquema:

A(s,t) = A_pole(s,t) + A_reg(s,t)

Aplicar candados a A_reg (IR-safe), no al total si t→0 diverge.

M.2. Criterio operacional: evitar regiones dominadas por IR

Incluso con sustracción, existe un régimen donde el IR domina y pequeñas incertidumbres en el polo contaminan el análisis. Por eso Ω_I debe excluir regiones donde |A_pole| □ |A_reg| si el objetivo es constreñir UV.

Esto no es “hacer trampa”; es declarar jurisdicción. Si un autor quiere constreñir UV usando datos dominados por IR, debe demostrar que el procedimiento es estable bajo variaciones del modelado IR (RFS).

Apéndice N. Compilación como diagrama conmutativo: consistencia inter-frontend

N.1. Principio: diferentes lenguajes, mismo juez

Una fuente profunda de objeciones es la ambigüedad de representación: “en mi gauge sí”, “en tu representación no”. ILSC neutraliza esto exigiendo que los diccionarios entre frontends formen diagramas conmutativos (hasta error auditado).

Esquema: Entrada en frontend F1 → proyección → observables. Entrada en frontend F2 → proyección → mismos observables. Si ambos describen la misma física, el resultado debe concordar dentro de Δ_proj.

Cuando no conmutan, el marco obliga a identificar qué supuesto cambia. Eso evita que debates se vuelvan disputas de notación.

Diagrama ideal (conmutativo):

T_{F1} --Π1--> Θ_eff --O--> O_A | ^ | dict | v | T_{F2} --Π2--------+

Conmutatividad: O∘Π1 ≈ O∘Π2∘dict (dentro de error)

Apéndice O. Ejemplo de MRD: estructura de archivos y campos esenciales

Un MRD no es “un zip con scripts”. Es un contrato reproducible. Un ejemplo mínimo de estructura:

MRD/ README.md inputs/ omega_I.yaml model.yaml data_spec.yaml data/ dataset.csv (o referencia + hash) covariance.npy code/ run.py checkers/ outputs/ verdict.json certificates/ PA.json IO.json RFS.json logs/ run.log environment.txt

La idea es que un tercero pueda correr un solo comando y reproducir verdict.json, o al menos verificar certificados. Sin esta estructura, la discusión no es científica; es narrativa.

Campos críticos en verdict.json:

- verdict: PASS | FAIL | NO-EVAL
- omega_I: descripción de dominio
- frontend: nombre/versión
- constraints_version: hash
- data_version: hash
- residual_max
- rigidity_R (si aplica)
- certificates: rutas/hashes

Apéndice P. Prueba constructiva CP ⇔ Choi PSD y reconstrucción de Kraus

P.1. Vectorización y reshaping: el truco que hace posible el test

Para hacer explícita la equivalencia, usamos vectorización. Dado un operador X en H_{in}, definimos $|X\rangle\rangle$ como su vectorización en $H_{out} \otimes H_{in}$, apilando columnas (convención estándar).

Propiedades clave:
- $|AXB^T\rangle\rangle = (A \otimes B)\, |X\rangle\rangle$,
- $\mathrm{Tr}(X^\dagger Y) = \langle\langle X|Y\rangle\rangle$.

Estas identidades permiten traducir composición de mapas en productos matriciales. En particular, el estado maximálmente entrelazado no normalizado $|\Omega\rangle = \Sigma_i |i\rangle\otimes|i\rangle$ es precisamente la vectorización de la identidad: $|\Omega\rangle = |I\rangle\rangle$.

Con esta convención, el Choi $J(\Phi)$ se interpreta como la imagen de I bajo Φ en un espacio ampliado.

Vectorización (convención de columnas):

$|X\rangle\rangle = \Sigma_{ij} X_{ij} |i\rangle \otimes |j\rangle$

Identidades: $|A X B^T\rangle\rangle = (A \otimes B) |X\rangle\rangle$ $\mathrm{Tr}(X^\dagger Y) = \langle\langle X|Y\rangle\rangle$

$|\Omega\rangle = \Sigma_i |i\rangle\otimes|i\rangle = |I\rangle\rangle$

P.2. CP ⇒ $J \succeq 0$ (dirección fácil)

Si Φ es completamente positivo, entonces para cualquier n, $(\Phi \otimes I_n)$ envía operadores positivos a positivos. En particular, para $n = \dim(H_{in})$, tomamos el operador positivo: $|\Omega\rangle\langle\Omega| \succeq 0$.

Entonces: $J(\Phi) = (\Phi \otimes I)(|\Omega\rangle\langle\Omega|) \succeq 0$.

Esta dirección es inmediata: CP implica positividad del Choi.

El contenido real del teorema está en la dirección inversa: $J \succeq 0$ implica existencia de representación de Kraus, y por tanto CP.

P.3. $J \succeq 0$ ⇒ Kraus ⇒ CP (dirección constructiva)

Supongamos $J(\Phi) \succeq 0$. Entonces existe una descomposición espectral:

$J(\Phi) = \Sigma_k |v_k\rangle\langle v_k|$, donde $|v_k\rangle$ son vectores en $H_{out} \otimes H_{in}$ (absorbiendo autovalores en la norma).

Ahora definimos operadores K_k por reshaping: $|v_k\rangle \equiv |K_k\rangle\rangle$ (es decir, v_k es la vectorización de K_k).

Definimos un mapa: $\Phi(\rho) = \Sigma_k K_k \rho K_k^\dagger$.

Se puede demostrar que este Φ tiene como Choi precisamente J(Φ). Por construcción, Φ es CP porque es suma de mapas de la forma $\rho \to K\rho K^\dagger$, que son CP. Así, $J \succeq 0$ implica CP.

Finalmente, la condición TP se traduce en $Tr_{out} J = I$, que se convierte en $\Sigma_k K_k^\dagger K_k = I$ (verificación directa usando propiedades de vectorización).

Esto prueba la equivalencia CP ⇔ Choi PSD y además entrega Kraus explícitos, lo que es ideal para MRDs.

Reconstrucción de Kraus desde Choi:

$J = \Sigma_k |v_k\rangle\langle v_k|, |v_k\rangle = |K_k\rangle\rangle$

Define $\Phi(\rho)=\Sigma_k K_k \rho K_k^\dagger \Rightarrow \Phi$ es CP.

TP: $Tr_{out} J = I \Leftrightarrow \Sigma_k K_k^\dagger K_k = I$

Apéndice Q. Dispersión completa con crossing y sustracciones: pasos sin atajos

Q.1. Contorno, discontinuidad y fórmula de Sokhotski–Plemelj

Sea A(s) = A(s,t) para t fijo. A(s) es analítica excepto por un corte real $s \geq s_0$. Definimos la discontinuidad: Disc A(s) = A(s+i0) - A(s-i0) = 2i Im A(s+i0).

Al deformar el contorno de Cauchy alrededor del corte, aparece una integral en términos de Disc A. La identidad de Sokhotski–Plemelj: $1/(x \pm i0) = PV(1/x) \mp i\pi\, \delta(x)$, permite separar parte principal y parte imaginaria. Esto hace explícito por qué Im A entra de forma directa en relaciones de dispersión.

ILSC usa esta estructura para convertir datos (que fijan Im A vía secciones eficaces) en bounds sobre la parte real, y por tanto sobre coeficientes EFT.

Discontinuidad:

Disc A(s) = A(s+i0) - A(s-i0) = 2i Im A(s+i0)

Sokhotski–Plemelj: $1/(x \pm i0) = PV(1/x) \mp i\pi\, \delta(x)$

Q.2. Inclusión explícita de crossing

En procesos 2→2, A(s,t,u) satisface $s+t+u=\Sigma m_i^2$. Crossing relaciona A(s,t) con A(u,t) u otros canales. En la relación de dispersión, esto aparece como contribuciones adicionales de cortes en otras regiones del plano s (por ejemplo, $s \leq u_0$).

La forma general incluye integrales sobre todos los cortes relevantes. En la práctica, muchas derivaciones de positividad usan amplitudes crossing-symmetric o combinaciones que eliminan contribuciones no deseadas. ILSC exige declarar qué combinación se usa, porque distintas combinaciones corresponden a distintos candados (y pueden fallar en presencia de masas/cargas específicas).

Q.3. Sustracciones: por qué no son libertad arbitraria

Si el crecimiento de A(s) a infinito impide cerrar el contorno, se hacen sustracciones. Matemáticamente, se considera: A(s) - A(0) - s A'(0) - ... - s^N A^{(N)}(0)/N!, y se aplica dispersión a la función substraída.

Los términos substraídos forman el polinomio P_N(s). En EFT local, esos términos corresponden a contact terms, y por tanto a parámetros

efectivos. No son “ajustes libres” invisibles: deben entrar en Θ_eff, estar sujetos a IO, y su rango debe auditarse.

Por eso ILSC insiste en: N_sub se declara, P_N se parametriza, y la sensibilidad del veredicto a N_sub se reporta (RFS).

Apéndice R. Acotamiento tipo Froissart y crecimiento permitido (qué se asume realmente)

R.1. Idea del bound: unitaridad + analiticidad + rango finito

El bound de Froissart–Martin (en teorías con gap de masa y supuestos de analiticidad adecuados) limita el crecimiento de la sección eficaz total: σ_tot(s) ≤ (π / m_π^2) log^2(s/s0) (esquema).

La derivación usa:
- expansión en ondas parciales,
- unitaridad |a_l|≤1,
- y el hecho de que a grandes l los parciales están suprimidos por rango finito efectivo (controlado por la masa más ligera intercambiable).

ILSC no necesita el bound exacto para su núcleo; necesita la lección: no se puede asumir crecimiento arbitrario si se pretende usar dispersión. Si el candidato requiere crecimiento más rápido que lo permitido por sus propios supuestos, el frontend se autocontradice: FAIL dentro de ese frontend. Si el candidato abandona los supuestos (por ejemplo, no hay gap), se debe declarar y ajustar candados/Ω_I (NO-EVAL hasta completar).

Apéndice S. Rigidez y cambio de variables: por qué Jeffreys es una medida defensiva

S.1. Problema: el volumen depende de coordenadas

Si definimos R=μ(I)/μ(D_obs), el número depende de la medida μ. Bajo un cambio de variables θ → φ(θ), un elemento de volumen transforma como: dθ = |det(∂θ/∂φ)| dφ.

Si μ se toma uniforme en θ, puede no ser uniforme en φ. Un crítico podría decir: “tu R depende de coordenadas”. ILSC anticipa esto: obliga a declarar μ y, cuando se busca invariancia, sugiere medidas invariante como Jeffreys.

La medida de Jeffreys se define usando la información de Fisher: μ_J(θ) ∝ √det F(θ) dθ. Bajo reparametrización, F transforma como un tensor y √det F dθ es invariante. Esto hace que R sea menos dependiente de coordenadas, fortaleciendo el blindaje.

Cambio de variables:

$d\theta = |\det(\partial\theta/\partial\varphi)|\, d\varphi$

Jeffreys: $\mu_J(\theta) \propto \sqrt{\det F(\theta)}\, d\theta$

Invarianza: $F_\varphi = J^T F_\theta J \Rightarrow \sqrt{\det F_\varphi}\, d\varphi = \sqrt{\det F_\theta}\, d\theta$

S.2. Relación con IO: cuando F es singular

Si F tiene autovalores ~0, la medida de Jeffreys se vuelve degenerada: eso refleja exactamente falta de identificabilidad. En lugar de esconder el problema, lo expone: direcciones no identificables no contribuyen a volumen efectivo.

Por tanto, usar μ_J no solo es defensa contra reparametrización; es coherencia con IO. Esto muestra una propiedad deseable: IO y rigidez no son módulos separados; son parte de un mismo objeto geométrico inducido por datos.

Apéndice T. Estabilidad numérica, acondicionamiento y límites de error (RFS duro)

T.1. Por qué un PASS sin condicionamiento es un PASS frágil

Un solver puede reportar factibilidad con residual pequeño, pero si el problema está mal condicionado, pequeños cambios en datos o en tolerancia producen grandes cambios en θ^*. Eso significa que el veredicto no es robusto.

RFS exige reportar:
- residuals,
- y también sensibilidad/condicionamiento.

Un marco simple: Sea $f(\theta)$ el vector de constraints (igualdades/desigualdades transformadas). El Jacobiano $J_f = \partial f/\partial\theta$ en θ^* controla la sensibilidad local. Un número de condición $\kappa \sim \|J_f^{-1}\|\, \|J_f\|$ (cuando aplica) cuantifica amplificación de error.

Si κ es enorme, entonces la solución es numéricamente inestable: el resultado debe etiquetarse como frágil o NO-EVAL hasta mejorar parametrización o datos. Esto evita objeciones tipo “tu PASS es un artefacto numérico”.

Sensibilidad local:

$f(\theta)=0$ (constraints) $J_f = \partial f/\partial\theta$

Perturbación: $\delta f \approx J_f\, \delta\theta \Rightarrow \delta\theta \approx J_f^{-1}\, \delta f$

Condición (esquema): $\kappa(J_f) = \|J_f\| \cdot \|J_f^{-1}\|$

T.2. Estabilidad bajo refinamiento de malla y tolerancia

Para problemas discretizados (integrales de dispersión, kernels SK, correladores), existe además error de discretización $O(h^p)$. RFS exige:
- estimar orden p (o al menos observar convergencia),
- y demostrar que el veredicto no cambia al disminuir h dentro de un rango.

Esto se reporta como: $V(h,\tau)$ estable para $h\in[h_{min},h_{max}]$, $\tau\in[\tau_{min},\tau_{max}]$. Si cambia, se diagnostica: o el modelo no converge, o el solver está mal configurado, o el claim está fuera de dominio. De nuevo: NO-EVAL antes que retórica.

Apéndice U. Glosario exhaustivo y definiciones canónicas

Este glosario es intencionalmente redundante: en defensa, la ambigüedad es la primera arma. Definiciones canónicas (resumen conceptual sin perder precisión):

A (SGO): sector operacional accesible con protocolos reproducibles. B (SIA): sector inaccesible por ausencia de tomografía reproducible desde A. ISAAC (J0): cierre operacional inducido por SR+QM+GR; define Ω_I. Ω_I: dominio ISAAC; ventana de energías/tiempos/resoluciones donde se exige consistencia. Frontend: lenguaje de entrada (S-matrix, EFT, SK, Euclídeo, etc.). Candado: condición necesaria de consistencia en un frontend. Violación ⇒ FAIL (dentro de Ω_I). Juez: condición necesaria de evaluabilidad. Violación ⇒ NO-EVAL (salvo inconsistencia adicional). PA (J1): existencia de proyección Π con error Δ_{proj}. IO (J2): identificabilidad de parámetros efectivos relevantes. RFS (J3): estabilidad y reproducibilidad con recursos finitos. MRD: demo mínimo reproducible (inputs, datos, código, certificados). MMRD: paquete máximo reproducible (incluye derivaciones, tests, duales, sensibilidad). Rigidez R: fracción de volumen viable respecto al compatible con datos, bajo medida declarada. d_{eff}: dimensión efectiva local del conjunto de soluciones. Reinyección UV: usar estructura fuera de Ω_I como perilla para ajustar observables sin proyección. IR-safe: observable o combinación donde singularidades IR están substraídas o controladas. CPTP: completamente positivo y preservador de traza. KMS: condición exacta de equilibrio térmico. FDT: relación entre fluctuación y disipación derivada de KMS.

El glosario se mantiene deliberadamente dentro de la semántica operacional: no define “lo que existe”; define “lo que puede medirse y auditarse”.

Apéndice V. CUI/HUI con más rigor: conexiones, curvatura, holonomía y observables

V.1. Conexión como 1-forma en un fibrado principal (gauge + gravedad)

Para evitar ambigüedad, fijamos el lenguaje geométrico estándar.

Sea P un fibrado principal con grupo de estructura G sobre una variedad base M (espacio-tiempo efectivo en A). Una conexión se representa por una 1-forma de conexión A en P con valores en el álgebra de Lie de G (Lie(G)).

En una sección local, se puede representar por un potencial $A = A_\mu dx^\mu$ en M. Bajo transformación gauge $g(x) \in G$: $A \to A' = g A g^{-1} + g dg^{-1}$.

En gravedad formulada como teoría de conexiones (por ejemplo, usando tetradas y conexión espín), aparece una conexión de Lorentz ω_μ^{ab}. En un esquema unificado, la idea de CUI (Covariant Unified Index) es considerar una conexión total que incluye:

- parte gravitatoria (ω),
- parte gauge interna (A_{int}),
- y, si se desea, otras conexiones efectivas.

El punto ILSC: no se puede llamar “unificación” a una suma formal si no existe diccionario operacional que indique qué invariantes de esta conexión corresponden a observables medibles en A.

Conexión gauge:

$A = A_\mu dx^\mu \in \Omega^1(M, \mathrm{Lie}(G))$

Transformación: $A' = g A g^{-1} + g dg^{-1}$

Curvatura: $F = dA + A \wedge A$

V.2. Curvatura y ecuaciones de estructura: qué es realmente medible

La curvatura (field strength) es: $F = dA + A\wedge A$. En componentes: $F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu + [A_\mu, A_\nu]$.

En gravedad, la curvatura de la conexión espín es $R^{ab} = d\omega^{ab} + \omega^{a}{}_c \wedge \omega^{cb}$.

Observación operacional:

componentes de A_μ o de ω_μ^{ab} dependen de gauge y de elección de marco. Lo que se mide en interferometría, precesión o AB es efecto de curvatura integrada o de holonomía.

Por eso, en ILSC, cualquier claim que dependa de componentes no invariantes sin protocolo de fijación es NO-EVAL por falta de diccionario (IO/PA).

Curvatura en componentes:

$F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu + [A_\mu, A_\nu]$

Gravedad (conexión espín): $R^{ab} = d\omega^{ab} + \omega^{a}{}_c \wedge \omega^{cb}$

V.3. Holonomía (HUI): definición y propiedades bajo gauge

Sea γ una curva cerrada en M. La holonomía asociada a la conexión A es el elemento de grupo:

$U[\gamma] = P \exp(\oint_\gamma A)$,

donde P denota ordenamiento de camino. Bajo transformación gauge: $U[\gamma] \to g(x_0) U[\gamma] g^{-1}(x_0)$, donde x_0 es el punto base.

Por tanto, invariantes físicos típicos son clases de conjugación, por ejemplo: $W[\gamma] = \mathrm{Tr}_R U[\gamma]$ (Wilson loop en representación R).

Esto es la base de HUI: no un número arbitrario, sino el conjunto de holonomías que son invariantes operacionales (por trazas, espectros, etc.).

Holonomía:

$U[\gamma] = P \exp(\oint_\gamma A)$

Gauge: $U[\gamma] \to g(x_0) U[\gamma] g^{-1}(x_0)$

Invariante (Wilson): $W_R[\gamma] = \mathrm{Tr}_R U[\gamma]$

V.4. Límite de área pequeña: relación holonomía–curvatura (Stokes no abeliano)

Para lazos pequeños, $U[\gamma]$ está controlado por la curvatura. En el caso abeliano: $U[\gamma] = \exp(\oint A) = \exp(\int_\Sigma F)$ (por Stokes).

En el caso no abeliano, existe una versión con ordenamiento superficial:

$U[\partial\Sigma] = P_\Sigma \exp(\int_\Sigma F + \dots)$, donde los puntos suspensivos indican correcciones por no conmutatividad.

La lectura ILSC: la holonomía es el objeto “integrado” que conecta la conexión local con el observable de fase. Un marco unificado que proponga CUI debe mostrar cómo sus holonomías reproducen: - fases electromagnéticas (AB), - rotaciones gravitatorias (transporte paralelo), - y, en general, cualquier observable de fase conocido, dentro de Ω_I y con error auditado.

V.5. Avatar como representación: cómo una sonda 'lee' holonomía

Un Avatar operacional se puede modelar como un sistema cuántico que transforma en una representación R de G y que acopla mínimamente a la conexión. El efecto de transportar el Avatar a lo largo de γ es multiplicar su estado interno por $U_R[\gamma]$.

La fase o rotación observable depende de invariantes de $U_R[\gamma]$ (traza, eigenvalores, etc.). Esto da un diccionario claro:

- variable teórica: conexión/holonomía,
- protocolo: transporte de una sonda con representación conocida,
- observable: fase/interferencia/precesión.

Este diccionario hace compilable a la teoría: las predicciones se expresan en invariantes medibles, y la resolución del Avatar está sujeta a ISAAC (no se puede exigir lazos sub-ISAAC).

Apéndice W. Cierre operacional aplicado a cosmología: degeneraciones y proyección efectiva

W.1. Por qué cosmología es terreno fértil para maleabilidad

La cosmología combina dos ingredientes peligrosos:

- observables indirectos (inferencia estadística, kernels instrumentales complejos),
- y degeneraciones físicas (múltiples microfísicas producen el mismo H(z) o el mismo espectro).

Por eso es fácil “explicar” el universo con perillas: sectores oscuros, energías del vacío efectivas, modificaciones de gravedad. ILSC no prohíbe estos sectores; exige PA e IO: cualquier nuevo sector debe proyectar a parámetros efectivos identificables por observables cosmológicos en Ω_I (por ejemplo, ecuaciones de estado efectivas, funciones $\mu(k,a)$, $\Sigma(k,a)$ en parametrizaciones de MG) y debe reportar rigidez.

Si dos ontologías producen los mismos observables, ILSC no decide cuál “existe”. Declara equivalencia operacional y exige nuevos observables que rompan degeneración (por ejemplo, correlaciones cruzadas, lentes, redshift-space distortions).

W.2. Traducción a lenguaje compilable: de micro a fluido efectivo

El ejemplo canónico de PA en cosmología es la proyección a un fluido efectivo: $T^{\mu\nu}_{eff} = (\rho_{eff} + p_{eff}) u^\mu u^\nu + p_{eff} g^{\mu\nu} + \Pi^{\mu\nu}$.

El microdetalle (campo escalar, sector oscuro, modificación geométrica) se encapsula en funciones efectivas (ρ_{eff}, p_{eff}, anisotropic stress $\Pi^{\mu\nu}$) que sí son inferibles. La proyección es Π (en sentido PA), y su error Δ_{proj} corresponde al truncamiento del modelo efectivo y a la sensibilidad a microfísica no inferible.

Este lenguaje es exactamente lo que ILSC exige: no ontología primero, sino proyección operacional primero.

Fluido efectivo:

$$T^{\mu\nu}_{eff} = (\rho_{eff} + p_{eff})\, u^\mu u^\nu + p_{eff}\, g^{\mu\nu} + \Pi^{\mu\nu}$$

Parámetros efectivos (ejemplos): $w(a)=p_{eff}/\rho_{eff}$, c_s^2, σ (anisotropic stress), $\mu(k,a)$, $\Sigma(k,a)$ en MG

Referencias sugeridas (no exhaustivas)

Este documento es auto-contenido en su lógica operacional, pero no pretende reemplazar la literatura técnica. Referencias de soporte típicas:

- Weinberg, The Quantum Theory of Fields (estructura, unitaridad, analiticidad).
- Streater & Wightman, PCT, Spin and Statistics (CPT y axiomas).
- Osterwalder & Schrader (axiomas OS).
- Kubo–Martin–Schwinger (KMS).
- Gorini–Kossakowski–Sudarshan y Lindblad (GKLS).
- ’t Hooft (anomaly matching).
- Literatura de positividad en amplitudes y bounds EFT.

El núcleo ILSC no depende de una cita particular: depende de estructuras físicas ya establecidas (SR+QM+GR) y de teoremas matemáticos estándar (Cauchy, positividad matricial, dualidad convexa).