

# ILSC — Operational Consistency Compiler (OCC)

## Addendum: From Demonstrator to Real Judge

### Data Anchors, Witnesses, and Robustness

Marco Antonio Isaac Alcuria

14 Feb 2026

## 0. Nota de alcance / Scope note

**ES.** Este documento es un *addendum* canónico del Documento A+ (defensa formal) y existe por una razón concreta: cerrar la brecha entre (i) “el compilador corre y está auditado” y (ii) “el compilador sirve como *juez real* en problemas físicos no-triviales”. La arquitectura (jueces, candados, auditoría dura, no-reinyección UV, separación concepto–ecuación, etc.) ya estaba formalizada; lo que se refuerza aquí es la **tracción física**: anclajes a datos reales, testigos fuertes y robustez cuantificada.

**EN.** This document is a canonical addendum to Documento A+ (formal defense). Its purpose is to close the gap between (i) “the compiler runs and is auditible” and (ii) “the compiler behaves as a *real judge* in non-trivial physics.” The architecture (judges, locks, hard audit, UV non-reinjection, concept–equation separation, etc.) already exists; what is strengthened here is **physical traction**: real-data anchors, strong witnesses, and quantified robustness.

## 1. Dónde se aplica OCC / Where OCC applies

**ES.** OCC no se propone como sustituto de creatividad teórica. Su lugar es el **último filtro operativo** antes de confrontar una propuesta con datos observacionales. En términos de flujo:

- 1) **Exploración creativa (pre-ILSC):** libertad matemática para proponer hipótesis.
- 2) **Compilación OCC (ILSC):** verificación de evaluabilidad, coherencia, dominio operacional  $\Omega_I$ , proyección auditável  $\Pi$ , no-reinyección UV.
- 3) **Juez final: el universo (datos):** likelihoods, inferencia, exclusión/confirmación empírica.

El punto (2) existe para evitar dos fallas sistemáticas:

- **Irrefutabilidad por maleabilidad UV** (parámetros UV “libres” no proyectables).
- **Ambigüedad operacional** (no declarar  $\Omega_I$ , o declarar un  $\Omega_I$  incompatible con el acto de medir).

**EN.** OCC is not a replacement for theoretical creativity. Its role is the **last operational filter** before confronting a proposal with observational data. Conceptually:

- 1) **Creative exploration (pre-ILSC):** mathematical freedom to hypothesize.
- 2) **OCC compilation (ILSC):** evaluability/coherence checks, operational domain  $\Omega_I$ , auditabile projection  $\Pi$ , UV non-reinjection.

3) **Final judge: the universe (data):** likelihoods, inference, exclusion/confirmation.

Step (2) exists to prevent two systematic failures:

- **UV-driven unfalsifiability** (free, non-projectable UV knobs).
- **Operational ambiguity** (undeclared  $\Omega_I$ , or an  $\Omega_I$  incompatible with measurement).

## 2. Clasificación de candados: Consistencia vs. Evidencia / Lock classes: Consistency vs. Evidence

**ES.** Para blindar semánticamente el veredicto, OCC distingue explícitamente dos clases:

- **Clase C (Consistencia):** candados que provienen de estructura teórica (causalidad, analiticidad, unitariedad, positividad, CPTP, etc.) dentro del  $\Omega_I$  declarado. Violarlos produce **FAIL** por inconsistencia interna o por violación de axiomas operacionales.
- **Clase E (Evidencia):** anclajes empíricos (intervalos experimentales, datasets, bounds observacionales). Se usan *después* de compilar para conectar con el juez final. Violarlos produce **FAIL(E)** como incompatibilidad con evidencia, no como inconsistencia lógica.

**EN.** To harden the semantics of the verdict, OCC explicitly distinguishes two classes:

- **Class C (Consistency):** locks derived from theoretical structure (causality, analyticity, unitarity, positivity, CPTP, etc.) inside declared  $\Omega_I$ . Violations yield **FAIL** due to internal inconsistency or operational-axiom violation.
- **Class E (Evidence):** empirical anchors (experimental intervals, datasets, observational bounds). Used *after* compilation to connect with the final judge. Violations yield **FAIL(E)** as data incompatibility, not logical inconsistency.

## 3. Caso real 1: aQGC en VBS — positividad + anclaje CMS / Real case 1: aQGC in VBS — positivity + CMS anchor

### 3.1. Definición mínima del objeto evaluado / Minimal definition of the evaluated object

**ES.** En EFT de dimensión 8 para acoplos cuárticos anómalos (aQGC), una parametrización estándar es

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_i \frac{f_{T_i}}{\Lambda^4} \mathcal{O}_{T_i} + \dots, \quad (1)$$

donde  $f_{T_i}/\Lambda^4$  tiene unidades de  $\text{TeV}^{-4}$  en la convención experimental habitual.

**EN.** In a dimension-8 EFT for anomalous quartic gauge couplings (aQGC), a standard parametrization is

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \sum_i \frac{f_{T_i}}{\Lambda^4} \mathcal{O}_{T_i} + \dots, \quad (2)$$

where  $f_{T_i}/\Lambda^4$  carries units  $\text{TeV}^{-4}$  in common experimental conventions.

### 3.2. Candado C: positividad (sign constraints) / Consistency lock: positivity

**ES.** Bajo supuestos estándar de analiticidad, unitariedad y causalidad (dispersión + forward limit), se obtienen desigualdades de positividad sobre combinaciones de coeficientes EFT. En particular, una familia representativa de bounds impone restricciones de signo para ciertos operadores aQGC:

$$\frac{f_{T0}}{\Lambda^4} \geq 0, \quad \frac{f_{T1}}{\Lambda^4} \geq 0, \quad \frac{f_{T2}}{\Lambda^4} \geq 0, \quad \frac{f_{T8}}{\Lambda^4} \geq 0, \quad \frac{f_{T9}}{\Lambda^4} \geq 0. \quad (3)$$

En OCC esto se codifica como el candado `AMP5_AQGC_POSITIVITY_TABLE4` (clase C) con testigo (witness) explícito:

$$\text{witness} = \{\text{op}, f/\Lambda^4, \text{regla, margen}\}.$$

**EN.** Under standard assumptions (analyticity, unitarity, causality; dispersion relations + forward limit), one obtains positivity inequalities on EFT coefficients. A representative family of bounds implies sign constraints for certain aQGC operators:

$$\frac{f_{T0}}{\Lambda^4} \geq 0, \quad \frac{f_{T1}}{\Lambda^4} \geq 0, \quad \frac{f_{T2}}{\Lambda^4} \geq 0, \quad \frac{f_{T8}}{\Lambda^4} \geq 0, \quad \frac{f_{T9}}{\Lambda^4} \geq 0. \quad (4)$$

In OCC this is encoded as `AMP5_AQGC_POSITIVITY_TABLE4` (Class C) with an explicit witness:

$$\text{witness} = \{\text{op}, f/\Lambda^4, \text{rule, margin}\}.$$

### 3.3. Candado E: anclaje CMS 95% CL / Evidence lock: CMS 95% CL anchor

**ES.** Para conectar la compilación con datos reales sin colapsar el significado de consistencia, OCC agrega un anclaje empírico separado: `AMP6_AQGC_DATA_95CL_ANCHOR` (clase E). Se usa un intervalo observado (95% CL) publicado para  $ZZjj$  VBS en  $\sqrt{s} = 13$  TeV con  $35.9 \text{ fb}^{-1}$ :

Operador	Límite inferior	Límite superior
$f_{T0}/\Lambda^4$	-0.46	0.44
$f_{T1}/\Lambda^4$	-0.61	0.61
$f_{T2}/\Lambda^4$	-1.20	1.20
$f_{T8}/\Lambda^4$	-0.84	0.84
$f_{T9}/\Lambda^4$	-1.80	1.80

**EN.** To connect compilation to real data without collapsing the meaning of consistency, OCC adds a separate empirical anchor: `AMP6_AQGC_DATA_95CL_ANCHOR` (Class E). We use published observed 95% CL intervals for  $ZZjj$  VBS at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with  $35.9 \text{ fb}^{-1}$  (units:  $\text{TeV}^{-4}$ ):

Operator	Lower bound	Upper bound
$f_{T0}/\Lambda^4$	-0.46	0.44
$f_{T1}/\Lambda^4$	-0.61	0.61
$f_{T2}/\Lambda^4$	-1.20	1.20
$f_{T8}/\Lambda^4$	-0.84	0.84
$f_{T9}/\Lambda^4$	-1.80	1.80

### 3.4. Testigo fuerte: conflicto de signo / Strong witness: sign conflict

**ES.** Un *testigo fuerte* es un objeto compacto que no depende de “perillas ocultas”. Aquí, si un modelo propone (por ejemplo)  $f_{T0}/\Lambda^4 < 0$ , la compilación produce

$$\text{FAIL(AMP5)} \quad \text{con witness: } \{f_{T0}/\Lambda^4, \text{ regla } \geq 0, \text{ margen} < 0\}.$$

Este FAIL no depende de ajustes estadísticos, priors, ni de detalles UV no proyectables.

**EN.** A *strong witness* is a compact object that does not depend on hidden knobs. Here, if a model proposes (e.g.)  $f_{T0}/\Lambda^4 < 0$ , compilation returns

$$\text{FAIL(AMP5)} \quad \text{with witness: } \{f_{T0}/\Lambda^4, \text{ rule } \geq 0, \text{ margin} < 0\}.$$

This FAIL does not depend on statistical tuning, priors, or non-projectable UV details.

## 4. Caso real 2: Cosmología — $H(z)$ de cronómetros cósmicos / Real case 2: Cosmology — cosmic-chronometer $H(z)$

### 4.1. Dataset real empaquetado y auditado / Real dataset packaged and audited

**ES.** El módulo `mrd_cosmo_bridge` ahora incluye un dataset real de cronómetros cósmicos  $H(z)$  (compilación pública), empaquetado como CSV con hash verificado. Cada fila contiene

$$(z_i, H_i, \sigma_i, \text{fuente}).$$

**EN.** Module `mrd_cosmo_bridge` now includes a real cosmic-chronometer  $H(z)$  dataset (public compilation), packaged as a hash-verified CSV. Each row contains

$$(z_i, H_i, \sigma_i, \text{source}).$$

### 4.2. Proyección auditabile: $H_{\text{th}}(z; \theta)$ / Auditable projection: $H_{\text{th}}(z; \theta)$

**ES.** En  $\Lambda$ CDM plano con parámetro de materia  $\Omega_m$  y  $H_0$ :

$$H_{\text{th}}(z) = H_0 \sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + (1-\Omega_m)}. \quad (5)$$

El módulo define explícitamente el estadístico:

$$\chi^2(\theta) = \sum_i \frac{(H_{\text{th}}(z_i; \theta) - H_i)^2}{\sigma_i^2}. \quad (6)$$

y reporta el *witness* numérico  $\{\chi^2, N, \chi^2/N\}$ .

**EN.** In flat  $\Lambda$ CDM with matter parameter  $\Omega_m$  and  $H_0$ :

$$H_{\text{th}}(z) = H_0 \sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + (1-\Omega_m)}. \quad (7)$$

The module explicitly defines:

$$\chi^2(\theta) = \sum_i \frac{(H_{\text{th}}(z_i; \theta) - H_i)^2}{\sigma_i^2}. \quad (8)$$

and reports the numerical witness  $\{\chi^2, N, \chi^2/N\}$ .

## 5. Caso real 3: IR en gravedad — PPN + velocidad GW / Real case 3: Gravity IR — PPN + GW speed

**ES.** El módulo `mrd_grav_ir` fue actualizado para usar cotas experimentales publicadas en:

$$|\gamma - 1| \lesssim 2.3 \times 10^{-5}, \quad |\beta - 1| \lesssim 8 \times 10^{-5},$$

y un bound multi-messenger para velocidad de ondas gravitacionales (representado aquí por una cota efectiva):

$$|c_T/c - 1| \lesssim 10^{-15} - 10^{-14}.$$

En OCC esto se traduce en candados cuantitativos IR con testigos directos.

**EN.** Module `mrd_grav_ir` was updated to use published experimental bounds such as:

$$|\gamma - 1| \lesssim 2.3 \times 10^{-5}, \quad |\beta - 1| \lesssim 8 \times 10^{-5},$$

and a multi-messenger bound on the speed of gravitational waves (represented here as an effective limit):

$$|c_T/c - 1| \lesssim 10^{-15} - 10^{-14}.$$

In OCC this becomes quantitative IR locks with direct witnesses.

## 6. Reproducibilidad: comandos mínimos / Reproducibility: minimal commands

**ES.** En el release canónico, los módulos se ejecutan de forma determinista desde sus carpetas:

```
python scripts/run_mrd_amp_pos.py inputs/mrd_amp_pos/pass_aqgc_FT0.yaml  
python scripts/run_mrd_cosmo_bridge.py inputs/mrd_cosmo_bridge/pass.yaml  
python scripts/run_mrd_grav_ir.py inputs/mrd_grav_ir/pass.yaml
```

**EN.** In the canonical release, modules run deterministically from their directories:

```
python scripts/run_mrd_amp_pos.py inputs/mrd_amp_pos/pass_aqgc_FT0.yaml  
python scripts/run_mrd_cosmo_bridge.py inputs/mrd_cosmo_bridge/pass.yaml  
python scripts/run_mrd_grav_ir.py inputs/mrd_grav_ir/pass.yaml
```

## 7. Conclusión operativa / Operational conclusion

**ES.** Con estos upgrades, OCC no es solo “compliance”. Ya existen módulos donde: (i) hay candados C reconocidos en literatura, (ii) hay anclajes E empaquetados y auditados, (iii) el FAIL produce testigos compactos, y (iv) la robustez se puede cuantificar por barridos (sweeps) sobre entradas declaradas.

**EN.** With these upgrades, OCC is not merely “compliance”. There are now modules where: (i) Class-C locks are literature-grounded, (ii) Class-E anchors are packaged and auditable, (iii) FAIL yields compact witnesses, and (iv) robustness can be quantified via sweeps over declared inputs.