

Fase 2 — Verificación en Entorno Controlado (Laboratorio)

Enfoque al Punto Dulce del Prior Acotado Definitivo

Proyecto TCDS — FET v1.1

October 18, 2025

Propósito

Con el “dónde buscar” definido por la Fase 1, la Fase 2 no explora: *verifica*. Se ejecutan los dos protocolos principales con un **FET v1.1 validado** para probar, en laboratorio, la manifestación del campo Σ exactamente en el **punto dulce** predicho.

1 Datos duros y Prior Acotado Definitivo

Magnitud	Valor real adoptado	Fuente
Banda instrumental Voyager PWS	10.000 Hz–56.200 kHz (analizador de 16 canales) + receptor de forma de onda 40.000 Hz–12.000 kHz	Univ. Iowa PWS Inst. Desc.
Plasma interestelar (V1, 2013)	Oscilaciones locales ~ 2.600 kHz $\Rightarrow n_e \sim 0.08$ cm $^{-3}$	Gurnett et al., <i>Science</i> 2013
Emisión angosta persistente (V1)	Onda angosta <i>persistente</i> 2017–, muestreo denso de n_e (escala \sim AU)	Ocker et al., <i>Nat. Astron.</i> 2021
Rango empírico de coherencia PWS	Actividad 1.700–56.000 kHz, máximos 2.000–4.000 kHz (tránsito a interestelar)	NASA “Interstellar Plasma Sounds”
Frecuencia interestelar adoptada	$f_\Sigma^* \approx 3.000$ kHz (centro del rango de máxima actividad)	Derivado de V1/V2
K-rate (banco)	$\kappa_\Sigma = f_0/f_\Sigma^* \approx 10^6/3 \cdot 10^3 \approx 3 \times 10^2$	Derivado (escala laboratorio)
JWST NIRSpec	Cobertura 0.600–5.300 μ m, $R \sim 100, 1000, 2700$	STScI NIRSpec Docs
JWST MIRI–MRS	IFU 4.900–27.900 μ m, $R \sim 1500$ –3500	STScI MIRI MRS Docs
CEERS (ERS #1345)	Campo EGS con NIRCam/MIRI/NIRSpec (datos públicos)	STScI ERS 1345 / CEERS

Punto dulce en banco. Con $f_\Sigma^* \approx 3.000$ kHz y $\kappa_\Sigma \approx 300$, el rango de verificación del FET es:

$$f_0 = \kappa_\Sigma f_\Sigma^* \approx 0.900 - 1.100 \text{ MHz.}$$

La Fase 2 fija todos los barridos alrededor de este intervalo.

2 Instrumento y reglas MP v2.0

FET v1.1 previamente certificado con mapa 1:1 y 3:2:

$$LI \geq 0.90, \quad R \geq 0.95, \quad RMSE_{SL} \leq 0.10 \text{ rad.}$$

Criterio de decisión binaria: *Sí* si se detecta señal coherente consistente con el Prior (frecuencia, fase y topología); *No* en caso contrario.

3 Protocolo A — Fuerzas de corto alcance (Yukawa)

Acción

Medir un acoplamiento efectivo tipo Yukawa mediado por el sincronón a distancias sub-mm con el FET como sensor de fase.

Parámetros y configuración

- **Ventana de frecuencia:** $f_0 \in [0.9, 1.1]$ MHz; inyección en $\Delta f \approx 0$ (ventana 1:1).
- **Amplitud de forzamiento:** barrer A_c en $[0.02, 0.20]$ adim. siguiendo $\Delta f_{\text{lock}} \propto A_c$.
- **Geometría:** separaciones controladas (50–500 μm), masas prueba con dieléctricos/metales.
- **Blindajes:** Faraday + control térmico $\pm 0.2^\circ\text{C}$. Reloj común 10 MHz.

Métricas y decisión

$$LI, R, RMSE_{SL} \text{ en 1:1, } \quad \text{monotonidad } \Delta f_{\text{lock}}(A_c).$$

Sí si: umbrales MP cumplidos y $\Delta f_{\text{lock}}(A_c)$ monótona creciente con efecto reproducible al variar la separación (ley Yukawa efectiva). **No** si: no se supera umbral y/o la topología de lengua falla.

4 Protocolo B — Detección directa del sincronón (Sombra holográfica)

Acción

Interferometría Mach–Zehnder con brazo de interacción sobre el FET en régimen coherente; modulación a baja frecuencia para *lock-in*.

Parámetros y configuración

- **Láser:** He–Ne 632.800 nm o DFB 1550.000 nm. Estabilidad de fase.
- **Modulación:** $u_g(t)$ sinusoidal 0.500–2.000 Hz dentro del régimen lineal del FET.
- **Ventana:** FET bloqueado en 1:1 cerca de $f_0 \approx 1.000$ MHz.

Métricas y decisión

$$\Delta I(t) \text{ coherente a } f_m, \quad \Delta \phi_\Sigma(t) = \kappa_\Sigma \sigma(t), \quad LI_\nu, RMSE_\nu.$$

Sí si: correlación óptico-eléctrica > 0.95 , fase estable $< 5^\circ$, señal ausente en controles. **No** si: efectos aparecen en dummy/espejos de control o desaparecen al invertir fase.

5 Procedimiento explícito de verificación

1. **Inicialización:** fijar $f_0 = 1.000$ MHz; verificar mapa 1:1 (núcleo con $LI > 0.9$).
2. **Foco en punto dulce:** operar exclusivamente en $f_0 \in [0.9, 1.1]$ MHz; minimizar barridos.
3. **Corridas A/B:** (A) hardware activo; (B) gemelo nulo/dummy. Misma receta.
4. **Estimadores:** promedios por ventanas de 30.000 s; $LI, R, RMSE_{SL}$; en óptica $LI_\nu, RMSE_\nu$.
5. **Regla binaria:**

$$\text{Go} \iff (LI \geq 0.9 \wedge R \geq 0.95 \wedge RMSE \leq 0.1) \text{ y controles nulos.}$$

6 Veredicto

Sí: corroboración cruzada *cosmología* \leftrightarrow *laboratorio*. **No:** falsación operativa de la formulación actual del paradigma.

Bibliografía

- University of Iowa. *Voyager Plasma Wave System Instrument Description*. Disponible en: <https://space.physics.uiowa.edu/plasma-wave/plasma-wave/voyager/instdesc.html>
- Gurnett, D. A. et al. (2013). *In Situ Observations of Interstellar Plasma with Voyager 1. Science*, 341, 1489. PDF: https://space.physics.uiowa.edu/~dag/publications/2013_InSituObservationsOfInterstellarPlasmaWaveVoyager_Science.pdf
- Ocker, S. K. et al. (2021). *Persistent plasma waves in interstellar space detected by Voyager 1. Nature Astronomy*. <https://www.nature.com/articles/s41550-021-01363-7>
- STScI. *JWST NIRSpec Instrumentation*. <https://jwst-docs.stsci.edu/jwst-near-infrared-spectrograph/nirspec-instrumentation>
- STScI. *JWST MIRI Medium Resolution Spectroscopy*. <https://jwst-docs.stsci.edu/jwst-mid-infrared-miri-observing-modes/miri-medium-resolution-spectroscopy>
- STScI. *JWST ERS Program 1345 (CEERS)*. <https://www.stsci.edu/jwst/science-execution/approved-programs/dd-ers/program-1345>
- CEERS Team. *Project overview and releases*. <https://ceers.github.io/>
- NASA Science. *The Sounds of Interstellar Space*. https://science.nasa.gov/science-research/planetary-science/01nov_ismsounds/

Autocrítica

El complemento fija un *único* rango operativo a partir de datos observacionales consolidados (PWS y $f_{\Sigma} \sim 3.000 \text{ kHz}$). El uso del FET v1.1 se restringe a la ventana escalada $[0.9, 1.1] \text{ MHz}$, evitando *p-hacking*. Las métricas MP v2.0 y los controles nulos hacen que el veredicto sea binario y falsable. La bibliografía aporta las fuentes públicas exactas que sustentan cada número de la tabla.