

# Modelo TCDS para la traslación Tierra–Sol con término Yukawa- y predicción operativa 2026

Proyecto TCDS

Compilación: 14 de octubre de 2025

## Resumen ejecutable

Formulo una ecuación de movimiento para el sistema Tierra–Sol que extiende la gravitación newtoniana con un término Yukawa asociado al campo  $\Sigma$  de la TCDS. Proporciono datos de anclaje para 2026 (perihelio y afelio), un pipeline reproducible de ajuste e integración, y fijo un *momento objetivo* donde maximiza el poder de detección de una señal : el perihelio del 3 de enero de 2026. La Sección 5 documenta validación y autocrítica.

## 1. Ecuación de movimiento con corrección Yukawa-

Sea  $\mathbf{r}(t) \in \mathbb{R}^3$  el vector Tierra→Sol,  $r = \|\mathbf{r}\|$ .

$$\ddot{\mathbf{r}} = -\frac{GM_{\odot}}{r^3} \mathbf{r} + \alpha_{\Sigma} \frac{GM_{\odot}}{r^3} \left(1 + \frac{r}{\lambda_{\Sigma}}\right) e^{-r/\lambda_{\Sigma}} \mathbf{r} + \mathbf{f}_{\text{NG}}(t), \quad (1)$$

donde  $G$  es la constante de gravitación,  $M_{\odot}$  la masa solar,  $\alpha_{\Sigma}$  adimensional controla la amplitud de la corrección y  $\lambda_{\Sigma}$  su alcance.  $\mathbf{f}_{\text{NG}}(t)$  agrupa forzados no gravitatorios modelados (p. ej. presión de radiación solar residual y términos de marea muy pequeños a escala centro–centro para el baricentro Tierra–Sol).

En elementos orbitales medios,

$$\dot{M} = n + \delta n(\alpha_{\Sigma}, \lambda_{\Sigma}), \quad (2)$$

$$\dot{\omega} = \dot{\omega}_{\text{GR}} + \Delta\dot{\omega}(\alpha_{\Sigma}, \lambda_{\Sigma}), \quad (3)$$

con  $n$  el movimiento medio kepleriano,  $\dot{\omega}_{\text{GR}}$  la precesión relativista estándar y  $\Delta\dot{\omega}$  la contribución secular Yukawa-. En la práctica,  $\delta n, \Delta\dot{\omega}$  se infieren ajustando  $(\alpha_{\Sigma}, \lambda_{\Sigma})$  a residuales de efemérides.

## 2. Datos de anclaje 2026

Fechas operativas para 2026 usadas como *hitos* de validación:

Evento	Fecha–hora (UTC)	Notas
Perihelio	2026-01-03 11:15	Máximo gradiente radial; evento objetivo $t_{\star}$
Afelio	2026-07-06 12:30	Distancia máxima Sol–Tierra

Estas marcas se usan sólo para fijar ventanas de análisis y comparar contra una propagación kepleriana+GR de referencia.

### 3. Ajuste de parámetros y propagación

#### Priors físicos

Los análisis modernos de efemérides planetarias imponen priors estrictos a cualquier fuerza de rango-AU. El ajuste debe respetar dichos priors para evitar sobreajuste.

#### Pipeline reproducible

1. Inicializar estado orbital en  $t_0$  con elementos medios de una efeméride de alta precisión.
2. Integrar la Ecuación (1) con  $\alpha_\Sigma, \lambda_\Sigma$  fijos o como variables de ajuste bajo priors.
3. Minimizar residuales rango/ángulo frente a efemérides y obtener  $\hat{\alpha}_\Sigma, \hat{\lambda}_\Sigma$ .
4. Propagar hasta el entorno del perihelio  $t_\star = 2026-01-03$  11:15 UTC y computar  $\Delta r(t) = r_{\text{TCDs}}(t) - r_{\text{ref}}(t)$  y  $\Delta M(t) = M_{\text{TCDs}}(t) - M_{\text{ref}}(t)$ .
5. Validar estabilidad vs ventanas  $\pm 7$  días, controles nulos y sensibilidad numérica.

### 4. Resultado operativo: momento de futura anomalía

Defino *momento de anomalía* como el cruce  $M(t) = 0$  donde cualquier desviación de fase radial debida a  $\Sigma$  es más auditable.

$$t_\star \equiv \text{perihelio 2026} = \mathbf{2026-01-03\ 11:15\ UTC}.$$

Predicción plausible bajo priors conservadores:  $\Delta M(t_\star)$  compatible con cero dentro de la sensibilidad de efemérides modernas; si  $\Delta M \neq 0$  y es reproducible, se acota o detecta  $(\alpha_\Sigma, \lambda_\Sigma)$ .

### 5. Validación y autocrítica

**Cómo validé la conclusión.** (i) La forma Yukawa de (1) es el ansatz estándar para quintas fuerzas de rango finito aplicado al potencial central. (ii) El perihelio maximiza  $|\partial_r V|$ , lo que optimiza detección de fase. (iii) El pipeline impone priors de efemérides, evita sobreajuste y compara contra referencia kepleriana+GR.

**Límites y riesgos.** (a) A escala 1 AU, las cotas a fuerzas tipo Yukawa son muy estrictas; se espera señal pequeña. (b) Efectos sistemáticos: calendario (anómalo vs tropical), ecuación del tiempo, términos no gravitatorios mal modelados. (c) Sensibilidad numérica al integrador si no se controla el paso temporal y la tolerancia.

**Criterios de éxito/fallo.** Éxito: señal distinta de cero en  $\Delta M, \Delta r$  coherente entre ventanas y robusta a controles nulos. Fallo: no detección repetida dentro de sensibilidad cierra el espacio  $(\alpha_\Sigma, \lambda_\Sigma)$  relevante para TCDS en escala AU.

## Apéndice A: Pseudocódigo del integrador mínimo

```
given state r,v at t0, params (G, M_sun, alpha, lambda):
  for t in t0..t1 with dt:
    rnorm = ||r||
    aN = -(G*M_sun/rnorm^3) * r
    aY = alpha*(G*M_sun/rnorm^3)*(1 + rnorm/lambda)*exp(-rnorm/lambda) * r
    a = aN + aY + f_NG(t)
    v += a*dt
    r += v*dt
  output r(t), v(t), M(t), omega(t)
```

## Referencia operativa

Para efemérides de inicialización y verificación independiente, usar un servicio de precisión como *JPL Horizons*. Documentar versión, tiempo y marco de referencia en cada corrida.