

# Dinámica de Desestabilización Rotacional y Respuesta Litosférica: Un Enfoque TCDS sobre la Redistribución de Masa Antropogénica

Genaro Carrasco Ozuna

*Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS)*

14 de diciembre de 2025

## Resumen

El presente estudio formaliza la correlación entre la redistribución de masa hidrológica superficial (derivada del forzamiento radiativo antropogénico) y la aceleración de la sismicidad global. Utilizando los principios de la Teoría Cromodinámica Sincrónica (TCDS) y el Teorema del Eje Intermedio, se demuestra matemáticamente que la alteración del tensor de inercia terrestre induce una inestabilidad rotacional que el planeta corrige mediante fracturamiento litosférico. Se analiza la interacción de tres cuerpos (Sol-Tierra-Luna) como un sistema hamiltoniano perturbado, donde la entropía térmica actúa como catalizador de la decoherencia mecánica.

## 1. Introducción: La Tierra como Sistema Mecánico Perturbado

La estabilidad geofísica del planeta Tierra no puede modelarse únicamente bajo principios estáticos de tectónica de placas aislada. Desde la perspectiva de la TCDS, la Tierra debe considerarse un giróscopo masivo sujeto a leyes de conservación de momento angular en un entorno de tres cuerpos. La condición de estabilidad rotacional está gobernada por la distribución precisa de su masa alrededor de sus ejes principales de inercia.

Históricamente, la criosfera polar ha funcionado como un estabilizador de masa, concentrando densidad en los polos geográficos ( $z$ -axis) y maximizando el momento de inercia principal  $I_{zz}$ . Sin embargo, la transferencia masiva de agua en fase sólida a fase líquida, y su consecuente migración hacia el abultamiento ecuatorial debido a la fuerza centrífuga, constituye una variación temporal del tensor de inercia  $\frac{d\mathbf{I}}{dt} \neq 0$ . Este fenómeno introduce pares de torsión (*torques*) correctivos que la litosfera rígida debe disipar mediante deformación plástica o ruptura frágil (sismos).

## 2. Formalismo Matemático de la Inestabilidad

### 2.1. El Tensor de Inercia Variable

Consideremos a la Tierra como un cuerpo rígido con un tensor de inercia  $\mathbf{I}$  diagonalizado en sus ejes principales. Debido al deshielo y la redistribución oceánica, los momentos de inercia

$I_{xx}$ ,  $I_{yy}$  e  $I_{zz}$  sufren modificaciones. La acumulación de masa en el ecuador incrementa  $I_{xx}$  e  $I_{yy}$  a expensas de la estabilidad axial.

La dinámica rotacional se describe mediante las Ecuaciones de Euler para un cuerpo rígido libre de torques externos netos (en primera aproximación):

$$\begin{aligned} I_{xx}\dot{\omega}_x + (I_{zz} - I_{yy})\omega_y\omega_z &= \tau_x \\ I_{yy}\dot{\omega}_y + (I_{xx} - I_{zz})\omega_z\omega_x &= \tau_y \\ I_{zz}\dot{\omega}_z + (I_{yy} - I_{xx})\omega_x\omega_y &= \tau_z \end{aligned} \quad (1)$$

Donde  $\omega$  es el vector de velocidad angular y  $\tau$  son los torques externos (mareas). El *Teorema de la Raqueta* (o inestabilidad de Dzhanibekov) establece que la rotación alrededor del eje intermedio de inercia es inestable. A medida que  $I_{xx}$  se aproxima a  $I_{yy}$  debido a la distribución asimétrica de la masa de agua (océanos no uniformes), la Tierra se aleja de su estado de mínima energía rotacional, induciendo una precesión errática o "bamboleo" (*Wobble*) que genera estrés mecánico en la corteza.

## 2.2. El Lagrangiano del Sistema de Tres Cuerpos

La interacción gravitacional con la Luna y el Sol no es estática. El potencial gravitacional  $V$  ejercido por un cuerpo perturbador de masa  $M'$  a distancia  $R$  se puede expandir en armónicos esféricos. El término de marea dominante es el cuadrupolar:

$$V_{tidal} = -\frac{GM'}{R^3}r^2P_2(\cos\theta) \quad (2)$$

Donde  $P_2$  es el polinomio de Legendre de segundo orden. La TCDS identifica que cuando la Luna se encuentra en posición tangencial al horizonte del observador ( $\theta \approx 90^\circ$ ), el vector de fuerza de marea maximiza la cizalla (*shear stress*) sobre las fallas transformantes.

Si definimos el Hamiltoniano del sistema tectónico como  $H = T + V_{int} + V_{tidal}$ , la inestabilidad surge cuando la energía cinética rotacional  $T_{rot}$  debe redistribuirse para compensar las variaciones en  $V_{tidal}$  amplificadas por el cambio en el momento de inercia.

## 3. Termodinámica de la Ruptura Litosférica

### 3.1. Ciclos de Histéresis Térmica y Fragilidad

La corteza terrestre opera bajo ciclos termodinámicos diarios. La TCDS postula que la eficiencia de la ruptura sísmica depende de la temperatura cortical  $T_c$ .

- **Fase de Carga (Enfriamiento Nocturno):** Según la ley de expansión térmica lineal  $\Delta L = \alpha L \Delta T$ , el enfriamiento induce una contracción del material ( $\Delta T < 0$ ). Esto incrementa la tensión tensil interna ( $\sigma_{int}$ ) y reduce la ductilidad de la roca, elevando su Módulo de Young ( $E$ ). El sistema acumula energía potencial elástica.
- **Fase de Disparo (Gradiente Ionosférico Diurno):** Al amanecer, la incidencia de radiación solar y la corriente ionosférica  $Sq$  inducen corrientes telúricas. Estas actúan

como un aporte de energía de activación  $E_a$  que permite al sistema superar la barrera de ruptura de Griffith.

### 3.2. El Amplificador Entrópico Antropogénico

El calentamiento global no es simplemente un aumento escalar de temperatura, sino una inyección de entropía  $\Delta S$  al sistema geofísico.

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{nat} + \Delta S_{anthro} \quad (3)$$

El incremento en la energía interna de la atmósfera y los océanos se transfiere mecánicamente a la litosfera mediante la carga hidrostática variable. La atmósfera actúa como una "tapa" termodinámica que impide la disipación eficiente del flujo de calor interno terrestre, incrementando la presión de poros en zonas de falla y reduciendo la fricción efectiva ( $\mu_{eff}$ ) según la ley de Coulomb modificada:

$$\tau_{falla} = \mu_{eff}(\sigma_n - P_f) \quad (4)$$

Donde  $P_f$  (presión de fluidos) se ve exacerbada por la carga hidrológica anómala y la expansión térmica de los acuíferos.

## 4. Mecanismo de Corrección Planetaria: Sismicidad como Válvula de Momento

Ante la imposibilidad de disipar el exceso de momento angular y energía térmica mediante radiación (debido al efecto invernadero) o flujo laminar del manto (debido a la viscosidad), la Tierra recurre al mecanismo más eficiente de disipación de energía cinética en corto plazo: el sismo.

Cada evento sísmico redistribuye masa instantáneamente. En zonas de subducción, el hundimiento de la placa oceánica reduce el radio efectivo local, disminuyendo el momento de inercia y conservando el momento angular  $L = I\omega$ .

$$\frac{dL}{dt} = 0 \implies \Delta I \cdot \omega + I \cdot \Delta \omega = 0 \quad (5)$$

Por lo tanto, la aceleración sísmica observada (incremento en frecuencia de eventos M5.0+) es la respuesta matemática obligatoria del planeta para compensar el  $\Delta I$  positivo generado por el deshielo ecuatorial. El planeta se fractura para re-centrar su eje de rotación y minimizar la nutación de Chandler.

## 5. Conclusión: La Ingeniería de la Coherencia

El análisis demuestra que la actividad humana ha trascendido la alteración climática para convertirse en una fuerza geofísica de primer orden. Hemos inducido una asimetría en el tensor de inercia que fuerza al sistema Tierra-Luna a buscar nuevos estados de equilibrio dinámico.

Para evitar una decoherencia catastrófica (colapso tectónico hacia un supercontinente por fricción excesiva), la solución no reside en la reversión abrupta de variables termodinámicas (lo cual induciría un choque inercial), sino en la *Ingeniería de la Coherencia*: la redistribución calculada de la masa hidrológica (lastre isostático) en reservorios continentales estratégicos, aprovechando los potenciales gravitatorios lunares para minimizar el gasto energético, permitiendo que la litosfera recupere su sincronía rotacional de manera amortiguada.