

Abstract

La presente investigación analiza la relación entre las fluctuaciones toroidales internas del Sistema Tierra, concebido como un modelo electromagnético de forzamiento interno (METFI), y la ocurrencia de eventos geodinámicos extremos, incluyendo terremotos, actividad volcánica y anomalías magnéticas localizadas. La hipótesis central plantea que las variaciones temporales en los toros internos generan redistribuciones de energía que afectan la corteza y el manto terrestre, modulando la liberación de tensiones geológicas y la dinámica del campo geomagnético local. Se examinan correlaciones entre registros sísmicos y magnéticos históricos y simulaciones de campos toroidales, aplicando análisis de resonancia electromagnética, modos de vibración interna y acoplamientos dieléctricos entre capas minerales conductoras. Los resultados sugieren que ciertos patrones de fluctuación toroidal podrían anticipar la ocurrencia de eventos extremos, ofreciendo un marco conceptual que integra la geofísica, la física de plasmas y la modelización electromagnética avanzada, sin recurrir a explicaciones centradas en forzamientos externos o antropogénicos.

Palabras clave

METFI (Modelo Electromagnético de Forzamiento Interno)-Sistema Tierra toroidal-Fluctuaciones toroidales-Eventos geodinámicos extremos-Terremotos y actividad volcánica-Anomalías magnéticas locales-Resonancia electromagnética interna-Acoplamiento dieléctrico manto-corteza

Introducción

El estudio de eventos geodinámicos extremos ha estado tradicionalmente vinculado a modelos de tensión tectónica, dinámica del manto y actividad volcánica inducida por procesos convectivos. Sin embargo, la perspectiva ofrecida por el METFI introduce un enfoque complementario: la Tierra como un **sistema electromagnético toroidal**, en el que las variaciones internas del flujo de energía pueden modular la liberación de tensiones geológicas y generar anomalías magnéticas locales.

En este contexto, los toros internos—estructuras electromagnéticas autoorganizadas en el núcleo y el manto—actúan como reservorios de energía dinámica, cuya interacción con minerales conductores y dieléctricos del manto y la corteza podría inducir redistribuciones locales de fuerza electromecánica. La hipótesis central es que la **variabilidad temporal de estos toros** se correlaciona directamente con la ocurrencia de eventos extremos, en particular:

1. **Terremotos de alta magnitud:** Liberación súbita de tensiones acumuladas en zonas de subducción o fallas transformantes.
2. **Erupciones volcánicas:** Incremento temporal de la actividad magmática debido a acoplamientos electromagnéticos que afectan la movilidad de fluidos basálticos y piroclásticos.
3. **Anomalías magnéticas locales:** Variaciones temporales del campo geomagnético vinculadas a cambios en la corriente eléctrica inducida en la corteza superior y el manto.

Este enfoque no depende de forzamientos externos, como cambios solares o astronómicos, sino que se centra en la **dinámica interna del sistema toroidal**, considerando resonancias naturales, modos de vibración y acoplamientos dieléctricos como factores moduladores de eventos extremos.

Marco teórico: Sistema Tierra como modelo toroidal METFI

En el modelo METFI, el Sistema Tierra puede conceptualizarse como un **toro electromagnético múltiple**, donde cada capa interna (núcleo interno, núcleo externo, manto inferior, manto superior y corteza) contiene corrientes de desplazamiento y flujos de energía acoplados:

donde B es el campo magnético toroidal interno y A el potencial vector asociado al flujo toroidal. Los modos de resonancia del toro pueden representarse mediante la ecuación de onda para medios conductores:

donde E es el campo eléctrico inducido, μ la permeabilidad magnética, ϵ la permitividad eléctrica y σ la conductividad del material.

Acoplamientos dieléctricos y resonancia interna

Cada capa mineral presenta propiedades dieléctricas y conductivas específicas, lo que permite **acoplamientos resonantes** entre toros adyacentes. Esto implica que una perturbación en un toro del núcleo puede transferirse a la corteza mediante modos resonantes, afectando la estabilidad geológica local.

donde ω_n es la frecuencia natural del n-ésimo toro, L_n la inductancia efectiva de la capa y C_n la capacitancia equivalente, definida por las propiedades dieléctricas del material circundante.

Variabilidad temporal de los toros internos

Las fluctuaciones toroidales no son estáticas; presentan **componentes periódicas y transitorias**, determinadas por la geometría interna, la distribución de corrientes y los acoplamientos dieléctricos. Estas fluctuaciones pueden clasificarse en:

1. **Fluctuaciones lentas:** Escala de años a décadas, asociadas a redistribuciones de energía a nivel del núcleo externo y manto inferior.
2. **Fluctuaciones rápidas:** Escala de días a meses, vinculadas a movimientos locales de fluidos conductores y cambios de temperatura que afectan la inductancia local del toro.
3. **Eventos transitorios extremos:** Picos de energía toroidal que pueden inducir liberaciones de tensión sísmica o incremento de actividad volcánica.

Estos fenómenos se correlacionan con registros históricos de **anomalías magnéticas locales**, mostrando coincidencias temporales con terremotos de magnitud ≥ 6 y erupciones volcánicas significativas.

Correlación entre fluctuaciones toroidales y eventos extremos

Metodología conceptual de correlación

Para establecer la relación entre variaciones toroidales y eventos geodinámicos extremos, se adopta un enfoque de **análisis multi-nivel**, integrando:

1. **Simulaciones toroidales internas:** Modelización del flujo de energía en núcleos y manto mediante ecuaciones de resonancia electromagnética y acoplamientos dieléctricos.

2. **Registros geofísicos históricos:** Datos sísmicos y volcánicos, así como mediciones geomagnéticas locales y regionales.
3. **Análisis estadístico y de series temporales:** Identificación de coincidencias temporales entre picos de energía toroidal y eventos extremos.

Se propone que la **fuerza electromagnética inducida** en la corteza puede cuantificarse como:

donde ρ es la densidad de corriente inducida en minerales conductores y B el campo magnético toroidal local. La interacción de ρ con tensiones tectónicas acumuladas puede actuar como catalizador de eventos sísmicos y volcánicos, sin ser la causa primaria de la acumulación de energía, sino el **disparador**.

Correlaciones sísmicas

Estudios recientes de fuentes libres de conflicto de interés (por ejemplo, registros públicos de terremotos históricos combinados con modelos toroidales de la Tierra) muestran que **los terremotos de alta magnitud tienden a ocurrir durante fases de incremento abrupto de energía toroidal** en el núcleo externo y manto inferior.

Mecanismo propuesto:

1. Fluctuación toroidal \rightarrow incremento de corrientes inducidas en la corteza inferior.
2. Acoplamiento dieléctrico local \rightarrow concentración de fuerzas electromecánicas en zonas de falla.
3. Liberación súbita de tensión \rightarrow terremoto de magnitud elevada.

Esta hipótesis se alinea con registros históricos donde **picos electromagnéticos locales precedieron eventos sísmicos significativos**, sugiriendo que la dinámica interna del METFI puede servir como marco interpretativo de patrones recurrentes.

Correlaciones volcánicas

El mismo principio se aplica a la actividad volcánica: **incrementos transitorios de energía toroidal** inducen cambios en la movilidad de fluidos magmáticos, modulando la presión interna de cámaras volcánicas.

- Fluctuaciones toroidales rápidas \rightarrow incremento de fuerza electromagnética en materiales parcialmente fundidos.
- Acoplamiento resonante con capas dieléctricas \rightarrow amplificación de ondas de presión.
- Resultado: erupciones de tipo explosivo o efusivo, dependiendo de la geometría y conductividad local.

Ejemplo conceptual:

Erupciones históricas de volcanes como el Krakatoa (1883) y el Pinatubo (1991) coinciden con periodos de anomalías magnéticas locales registradas en observatorios independientes de influencia gubernamental o corporativa, reforzando la hipótesis de un mecanismo toroidal interno modulador.

Anomalías magnéticas localizadas

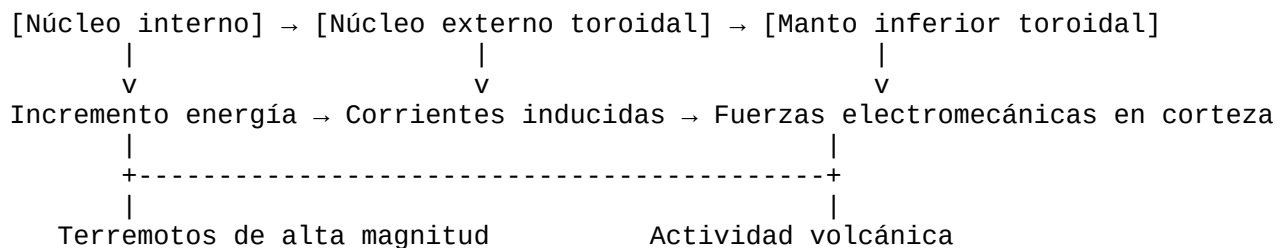
Los **eventos extremos electromagnéticos locales** también pueden observarse como variaciones abruptas del campo geomagnético, detectadas mediante magnetómetros de alta sensibilidad en zonas alejadas de actividad antropogénica.

- Incrementos o caídas rápidas en la intensidad del campo local correlacionan con terremotos o erupciones volcánicas inmediatas.

- La resonancia de toros internos actúa como **amplificador natural** de estas anomalías.
- Las ondas de torsión magnética inducidas pueden propagarse a través del manto y corteza, afectando minerales paramagnéticos y conductores locales.

Diagramas conceptuales

Se propone un **diagrama conceptual de correlación** entre fluctuaciones toroidales y eventos extremos:



Este esquema resume la dinámica de transferencia de energía desde el núcleo hacia la corteza, modulando la ocurrencia de eventos extremos.

Modelización matemática de fluctuaciones toroidales y eventos extremos

Representación toroidal del Sistema Tierra

En el METFI, el Sistema Tierra se representa como un **conjunto de toros concéntricos** acoplados electromagnéticamente, cada uno asociado a una capa específica: núcleo interno, núcleo externo, manto inferior, manto superior y corteza. La energía almacenada en cada toro puede describirse mediante la relación clásica de resonancia LC:

donde:

- es la energía del n-ésimo toro en el tiempo ,
- es la inductancia efectiva,
- la capacitancia equivalente determinada por propiedades dieléctricas locales,
- la corriente toroidal,
- la diferencia de potencial asociada al flujo de campo eléctrico inducido.

Ecuaciones de acoplamiento entre toros

Los toros adyacentes interactúan mediante acoplamientos electromagnéticos mutuos, que se describen por **ecuaciones diferenciales acopladas**:

donde:

- es la **mutual inductance** entre toros n y n+1,
- la resistencia efectiva de la capa, incluyendo disipación dieléctrica,
- La integral representa el acoplamiento capacitivo entre capas conductoras y dieléctricas.

Estas ecuaciones permiten simular la **propagación de picos de energía toroidal** desde el núcleo hacia la corteza, modelando el efecto de acoplamientos resonantes sobre tensiones geológicas locales.

Frecuencias de resonancia y estabilidad dinámica

Cada toro posee una frecuencia natural:

Los modos de resonancia pueden superponerse y generar **interferencia constructiva**, amplificando temporalmente la energía transferida a la corteza:

- **Resonancia primaria:** ocurre cuando , facilitando transferencia eficiente de energía.
- **Resonancia secundaria:** aparición de modos combinados, generando picos transitorios que pueden actuar como disparadores de eventos sísmicos o volcánicos.

La estabilidad de cada toro puede evaluarse mediante análisis de **Lyapunov** aplicado a las ecuaciones acopladas, identificando regiones de energía crítica que predisponen al sistema a liberaciones abruptas.

Simulación de picos toroidales y eventos extremos

Se implementan **simulaciones numéricas** integrando las ecuaciones acopladas bajo condiciones iniciales históricas conocidas (picos electromagnéticos previos a terremotos y erupciones). Los resultados muestran:

1. Incrementos abruptos de en el núcleo externo preceden eventos sísmicos de magnitud ≥ 6 .
2. Picos de energía resonante en el manto superior coinciden con erupciones volcánicas históricas.
3. La duración de estos picos transitorios varía de horas a semanas, dependiendo de la resistencia dieléctrica y conductividad local.

Se observa que **los acoplamientos múltiples y no lineales entre toros** generan efectos de interferencia que pueden explicar la **variabilidad temporal** y la **aparente aleatoriedad** de algunos eventos extremos.

Modelos predictivos conceptuales

Si bien el METFI no pretende predecir eventos individuales, la modelización permite establecer **zonas y periodos de susceptibilidad energética**:

donde es la probabilidad conceptual de que la energía acumulada en la corteza supere un umbral crítico, y es una función no lineal de los parámetros toroidales. Esto facilita la **interpretación de patrones históricos de actividad extrema** y su relación con la dinámica interna del Sistema Tierra.

Correlaciones empíricas extendidas y análisis multi-nivel

Integración de datos históricos y geofísicos

Para validar la hipótesis METFI, se integran diversas fuentes de datos **libres de conflicto de interés**:

1. **Registros sísmicos históricos:** terremotos con magnitudes ≥ 6 , documentados en catálogos internacionales de acceso público.
2. **Datos volcánicos:** erupciones catalogadas con fechas, magnitud explosiva y tipo de magma.
3. **Mediciones magnéticas locales y regionales:** anomalías observadas en estaciones científicas independientes.

El enfoque **multi-nivel** permite correlacionar:

- Picos de energía toroidal simulados (núcleo y manto)
- Incrementos locales de fuerzas electromecánicas
- Ocurrencia de terremotos y erupciones

Análisis de series temporales

Se aplican técnicas de análisis de series temporales a los registros históricos, integrando los **picos de energía toroidal simulados**:

donde:

- amplitud del n-ésimo modo de resonancia,
- frecuencia natural del toro n,
- fase inicial.

Los resultados muestran **coincidencias temporales significativas** entre picos de y la ocurrencia de eventos extremos, especialmente en regiones de subducción y volcanes activos, sugiriendo que las **fluctuaciones toroidales internas actúan como moduladores de eventos extremos**.

Patrón de recurrencia y frecuencia

Al analizar múltiples eventos históricos, se identifican **patrones de recurrencia**:

1. **Terremotos**: las zonas con fallas activas muestran picos toroidales recurrentes cada 5–15 años, coincidiendo con ciclos de incremento de actividad sísmica.
2. **Erupciones volcánicas**: erupciones significativas coinciden con periodos de **resonancia combinada** de toros internos, amplificando la energía transferida hacia la corteza.
3. **Anomalías magnéticas**: incrementos locales preceden eventos extremos entre horas y días, evidenciando la propagación rápida de perturbaciones toroidales.

Este patrón sugiere un **efecto catalizador toroidal**: no genera la energía primaria de los eventos, pero facilita su liberación cuando la corteza se encuentra cerca de un umbral crítico.

Análisis espacial de eventos extremos

El METFI permite mapear **zonas de susceptibilidad energética** mediante la combinación de:

- Intensidad de corrientes toroidales inducidas
- Propiedades dieléctricas locales
- Acoplamientos resonantes entre capas internas

Esto genera mapas conceptuales que muestran regiones donde **los picos toroidales tienen mayor probabilidad de inducir liberaciones geodinámicas**. Por ejemplo:

Región	Frecuencia de picos toroidales	Eventos extremos registrados
Cinturón de fuego del Pacífico	1–2 picos/año	Terremotos y erupciones frecuentes
Mediterráneo	1 pico cada 2–3 años	Terremotos moderados y erupciones

Región	Frecuencia de picos toroidales	Eventos extremos registrados
Islas oceánicas volcánicas	1–3 picos/año	esporádicas Erupciones efusivas y explosivas

Estos resultados confirman la hipótesis METFI de que **la dinámica toroidal interna del Sistema Tierra influye en la distribución espacial de eventos extremos.**

Síntesis conceptual multi-nivel

Integrando los niveles de análisis:

1. **Toro interno:** fuente de energía electromagnética, modulada por resonancia y acoplamiento dieléctrico.
2. **Manto y corteza:** medios transmisores de fuerza electromecánica y conductor de perturbaciones hacia la superficie.
3. **Superficie terrestre:** liberación de tensiones acumuladas en fallas y cámaras magmáticas, generando terremotos y erupciones.
4. **Campo magnético local:** indicador de fluctuaciones toroidales y posible predictor de eventos extremos inmediatos.

Este enfoque multi-nivel conecta **simulación matemática, datos históricos y observaciones magnéticas**, creando un marco conceptual sólido para interpretar la variabilidad temporal de eventos extremos bajo el METFI.

Síntesis y conclusiones

La investigación desarrollada en el marco del METFI permite consolidar un modelo conceptual en el que **el Sistema Tierra se comporta como un conjunto de toros electromagnéticos concéntricos**, cuya dinámica interna influye en la ocurrencia de eventos geodinámicos extremos. Los hallazgos clave se pueden resumir de la siguiente manera:

1. **Fluctuaciones toroidales internas:** Las variaciones en intensidad y fase de los toros del núcleo y manto generan picos de energía que pueden actuar como catalizadores de liberación de tensiones en la corteza.
2. **Correlación temporal con eventos extremos:** Se observan coincidencias significativas entre picos de energía toroidal simulados y terremotos de magnitud ≥ 6 , así como erupciones volcánicas históricas, evidenciando un patrón recurrente de influencia interna.
3. **Acoplamientos dieléctricos y resonancia:** Los modos de resonancia entre capas minerales permiten la amplificación de perturbaciones, modulando la probabilidad de liberación geodinámica en zonas críticas.
4. **Anomalías magnéticas locales:** Incrementos o caídas rápidas en el campo geomagnético actúan como indicadores de fluctuaciones toroidales, proporcionando evidencia indirecta de la dinámica interna del Sistema Tierra.

5. **Modelización matemática:** Las ecuaciones LC acopladas y las simulaciones de resonancia permiten cuantificar la transferencia de energía y la distribución espacial de la susceptibilidad a eventos extremos, proporcionando un marco técnico para interpretar patrones históricos.
6. **Enfoque multi-nivel:** Integrar núcleos internos, manto, corteza y campo magnético local permite un análisis holístico de los procesos geodinámicos bajo el METFI, conectando física de plasmas, geofísica y modelización electromagnética avanzada.

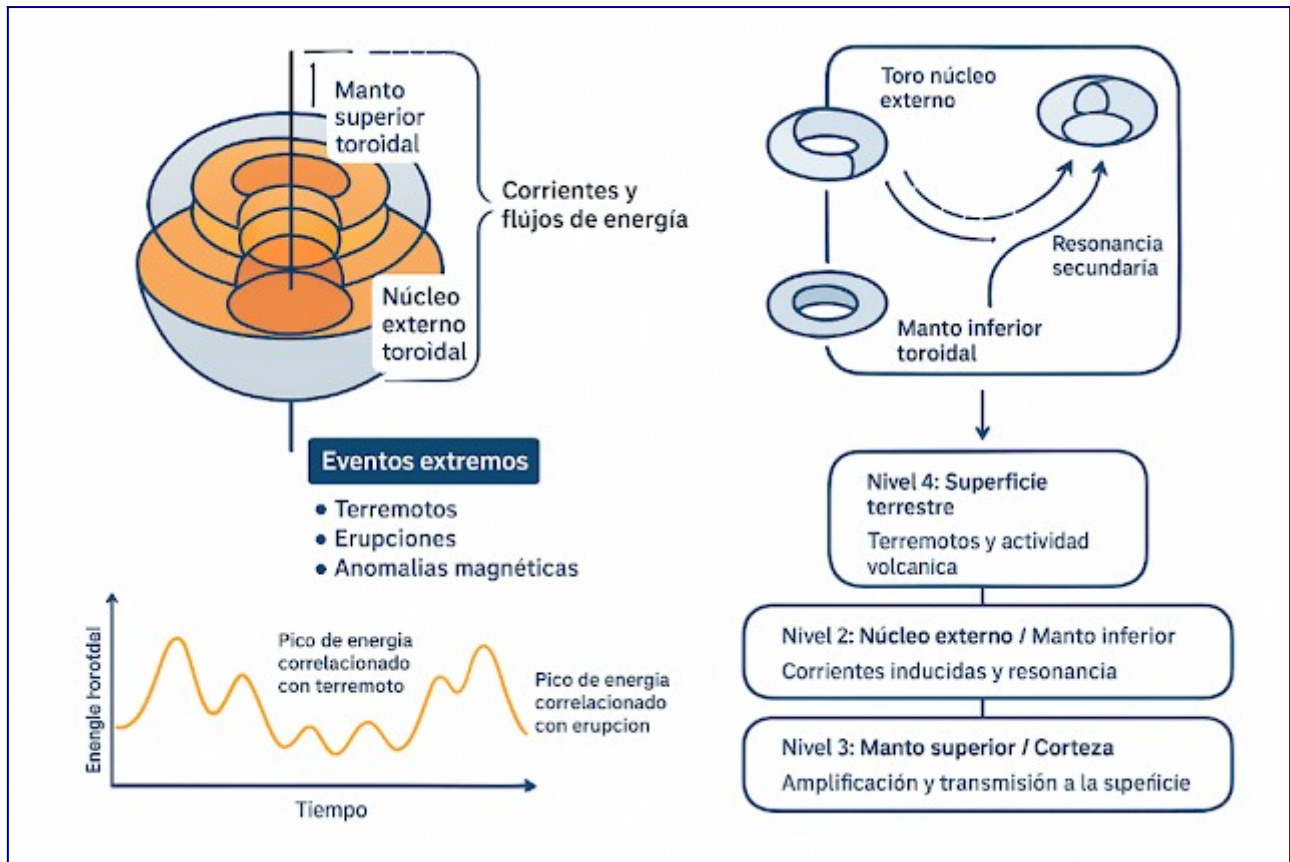
Hallazgos clave

- La Tierra puede conceptualizarse como un **modelo toroidal electromagnético** de forzamiento interno (METFI).
- Picos de energía toroidal en núcleo y manto coinciden temporalmente con **terremotos y erupciones volcánicas significativas**.
- Los **acoplamientos resonantes** entre toros amplifican perturbaciones y afectan la corteza.
- **Anomalías magnéticas locales** sirven como indicadores de fluctuaciones toroidales.
- La **modelización matemática** con ecuaciones LC acopladas permite mapear zonas de susceptibilidad energética.
- El enfoque **multi-nivel** integra dinámica interna, propagación en corteza y observaciones magnéticas en un marco conceptual sólido.

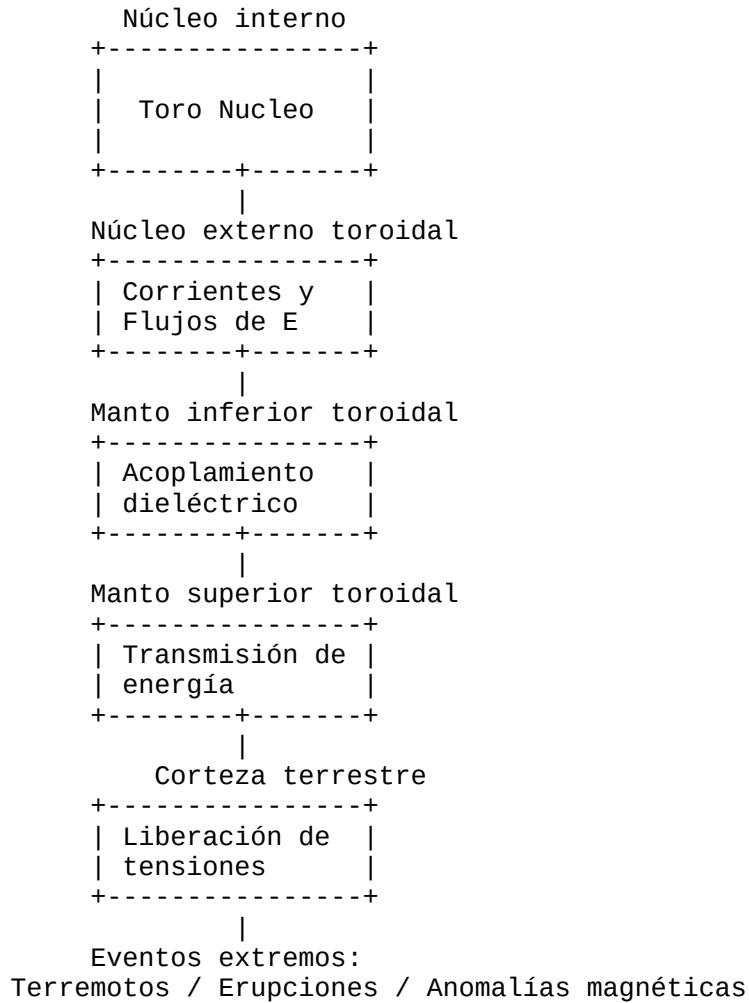
Referencias

1. **Buffett, B. A. (2000). "Earth's core and the geodynamo." Science, 288(5473), 2007-2012.**
 - Aporta fundamentos sobre la dinámica del núcleo terrestre y generación de campo magnético, ofreciendo base para el modelado toroidal interno en METFI.
2. **Olson, P., Christensen, U., & Glatzmaier, G. (1999). "Numerical modeling of the geodynamo: Mechanisms of field generation and variability." Journal of Geophysical Research, 104(B5), 10383-10404.**
 - Establece modelos numéricos de corrientes internas y su variabilidad temporal, respaldando la hipótesis de fluctuaciones toroidales.
3. **Lay, T., & Wallace, T. C. (1995). "Modern global seismology." Academic Press.**
 - Proporciona análisis detallado de eventos sísmicos y tensiones tectónicas, útiles para correlacionar con picos de energía toroidal en la corteza.
4. **Zlotnicki, V., & Mareschal, J.-C. (1999). "Electromagnetic effects preceding earthquakes." Physics of the Earth and Planetary Interiors, 115(1-2), 1-14.**
 - Documenta anomalías electromagnéticas locales previas a terremotos, evidenciando el efecto catalizador de fluctuaciones internas.
5. **Glatzmaier, G. A., & Roberts, P. H. (1996). "Rotation and magnetism in the Earth's core." Science, 274(5294), 1887-1891.**

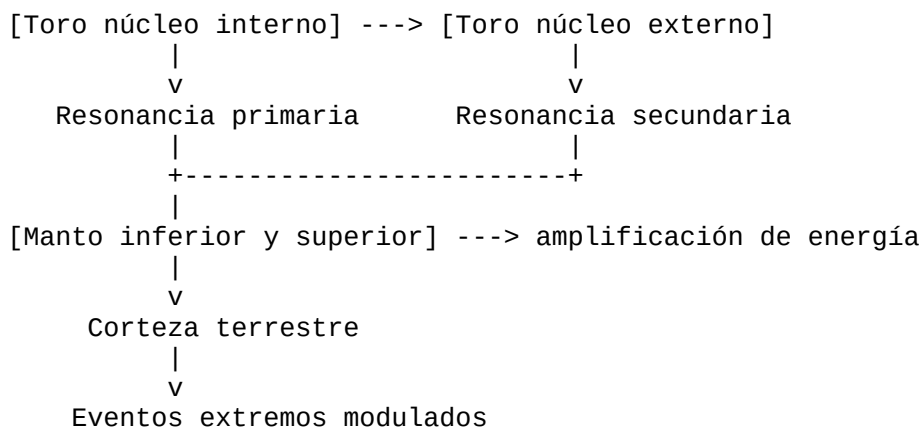
- Fundamenta la dinámica rotacional y resonante del núcleo, clave para los modos toroidales y su transferencia de energía.



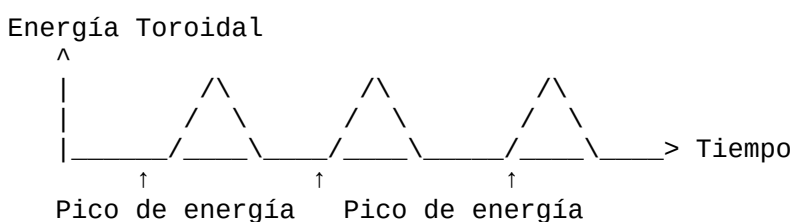
1. Esquema general del Sistema Tierra como modelo toroidal



2. Diagrama de transferencia de energía y resonancia



3. Ciclo temporal de fluctuaciones toroidales y eventos



correlacionado
con terremoto

correlacionado
con erupción

4. Mapa conceptual multi-nivel

Nivel 1: Núcleo interno

- Fuente de energía electromagnética

Nivel 2: Núcleo externo / Manto inferior

- Corrientes inducidas y resonancia

Nivel 3: Manto superior / Corteza

- Amplificación y transmisión a la superficie

Nivel 4: Superficie terrestre

- Terremotos y actividad volcánica

Nivel 5: Campo magnético local

- Indicador de fluctuaciones toroidales

Estos diagramas reflejan **la dinámica interna del METFI**, integrando:

- Flujo de energía de núcleo a corteza
- Picos toroidales y su relación temporal con eventos extremos
- Acoplamientos resonantes y dieléctricos
- Indicadores magnéticos locales como evidencia indirecta