

Objetivos del proyecto

- Diseñar, construir y calibrar antenas resonantes adaptadas a bandas específicas (ELF, VLF, ULF).
- Medir la intensidad y variabilidad de campos electromagnéticos locales en entornos urbanos y rurales.
- Correlacionar los datos medidos con eventos atmosféricos, comportamientos biológicos anómalos o patrones de poda urbana.
- Evaluar la hipótesis METFI desde una óptica empírica mediante instrumentación asequible y reproducible.

Justificación científica

La hipótesis METFI propone que existen estructuras electromagnéticas toroidales de forzamiento interno que inducen fenómenos atmosféricos, geodinámicos y biológicos. Un paso fundamental para validar o refutar esta propuesta es disponer de **instrumentación capaz de detectar y caracterizar la actividad electromagnética local**, especialmente en bandas no cubiertas por los sistemas de seguimiento convencionales (ELF/VLF).

Fases del proyecto

Fase 1: Diseño teórico

- Revisión bibliográfica de antenas resonantes tipo loop, Marconi, ferrita, y fractales.
- Selección de bandas de interés: ELF (3–30 Hz), VLF (3–30 kHz), y ULF (0.1–10 Hz).
- Simulación de estructuras resonantes (software: NEC2, CST Studio, LTSpice).

Fase 2: Prototipo y pruebas

- Fabricación de antenas pasivas y activas con materiales accesibles.
- Integración con sensores de campo magnético (Hall, fluxgate) y voltaje.
- Pruebas de laboratorio: entorno controlado con generadores de señal.

Fase 3: Campañas de medición

- Medición de intensidad de campo en ubicaciones seleccionadas:
 - Parques urbanos con podas recientes.
 - Áreas rurales alejadas de infraestructura eléctrica.
 - Cercanías de antenas 5G, subestaciones y líneas de alta tensión.
- Registro horario, correlación con variables atmosféricas y datos solares (apoyos: NOAA, SOHO, GOES).

Fase 4: Análisis e interpretación

- Procesamiento de datos en Python/R: espectrogramas, FFT, análisis multivariado.

- Comparación con patrones teóricos METFI: presencia de nodos, simetrías, pulsos.
- Informe técnico: mapas de distribución de intensidad, correlaciones y anomalías.

Equipamiento propuesto

- Arduino/Raspberry Pi + ADC de alta resolución.
- Antenas resonantes de bobina toroidal y loop magnético.
- Sensores de campo magnético (HMC5883L, MPU9250, etc).
- Shield de adquisición y sistema de almacenamiento SD/local.
- Batería externa + GPS para georreferenciación.

Resultados esperados

- Catálogo de configuraciones de antenas resonantes con mayor sensibilidad por banda.
- Mapas locales de distribución de campos anómalos.
- Identificación de nodos electromagnéticos persistentes o móviles.
- Propuesta de indicadores predictivos ante nieblas, lluvias localizadas o síntomas fisiológicos observados en fauna y personas.

Aplicaciones futuras

- Red colaborativa de estaciones de medición METFI (tipo Weather Underground, pero EM).
- Diseño de sistemas de alerta precoz ante nieblas electromagnéticas o tormentas secas.
- Programas de educación STEM en física ambiental, biocampo, ingeniería electromagnética.

Posibles extensiones

- Medición en cavidades o estructuras subterráneas (mina, sótano, túnel).
- Acoplamiento con sensores biológicos (frecuencia cardíaca, HRV) para biofeedback.
- Sincronización con cámaras infrarrojas o espectrales para detección de nieblas invisibles.

Interfaz gráfica (opcional)

Una app/web que muestre en tiempo real:

- Campo EM por banda.

- Alertas por umbral.
- Geolocalización del usuario y sugerencia de “zonas neutras”.

Fase 1: Diseño Teórico

Revisión bibliográfica de topologías resonantes

El diseño de sistemas de detección pasiva y activa de campos electromagnéticos de baja frecuencia requiere una cuidadosa selección de topologías resonantes que presenten una respuesta optimizada para bandas específicas. La literatura especializada ofrece diversas configuraciones con propiedades físicas y eléctricas adaptadas a condiciones particulares del entorno o del fenómeno a observar. En el presente proyecto se consideraron cuatro clases principales:

- **Antenas tipo Loop magnético:** Utilizadas tradicionalmente para la detección de componentes magnéticas del campo en frecuencias ELF/VLF, estas antenas operan mediante la inducción de corrientes en una bobina cerrada. Según los trabajos de Wait (1955) y Poljak et al. (2010), el diseño con núcleo de ferrita mejora sustancialmente la sensibilidad en entornos con ruido de fondo elevado. Su implementación compacta y robusta permite mediciones en campo y condiciones urbanas sin distorsiones significativas.
- **Antenas tipo Marconi vertical:** De estructura monopolar, presentan buena captación del componente eléctrico del campo y son frecuentemente utilizadas en estaciones de VLF. Su simplicidad constructiva es ventajosa, aunque su rendimiento disminuye sensiblemente en bandas por debajo de 3 kHz. Tal como describen Wright y Osman (1992), su comportamiento es fuertemente dependiente de las condiciones de tierra y de las dimensiones físicas del elemento vertical.
- **Antenas de ferrita encapsulada:** Estas antenas presentan elevada inductancia por volumen reducido, lo cual resulta ideal para bandas ELF/ULF. La encapsulación con materiales dieléctricos adecuados atenúa microfonía y vibraciones, lo que las hace óptimas para aplicaciones de laboratorio o instrumentación portátil. Estudios como los de Janasek et al. (2008) demuestran su eficacia en entornos con altas fluctuaciones térmicas o de humedad.
- **Antenas fractales de cobre:** Inspiradas en estructuras geométricas autosimilares (Sierpiński, Koch), poseen la capacidad de operar en múltiples bandas resonantes simultáneamente. Como evidencian Werner & Ganguly (2003), su geometría modular permite un compromiso eficiente entre tamaño físico, rendimiento electromagnético y cobertura espectral. Para fines METFI, su naturaleza multibanda permite explorar la coexistencia de patrones armónicos en regiones espectrales dispares.

Selección de bandas de interés

La hipótesis METFI plantea la existencia de estructuras electromagnéticas nodales que operan bajo principios de resonancia interna en configuraciones toroidales, modulando aspectos físicos y biológicos a través de frecuencias que no siempre son registradas por las redes convencionales de observación.

Por tanto, se seleccionaron como prioritarias las siguientes bandas:

- **ULF (0.1–10 Hz):** Asociada a pulsos telúricos, resonancias de Schumann modificadas, precursores sísmicos y dinámica tectónica subcutánea. Esta banda ha sido documentada en estudios de Gokhberg et al. (1983) como emisora de precursores eléctricos previos a terremotos y en los trabajos de Freund (2011) sobre cargas activadas por compresión en rocas.

- **ELF (3–30 Hz):** Contiene la banda fundamental de las resonancias de Schumann (~7.83 Hz), así como armónicos relacionados con oscilaciones planetarias, flujos atmosféricos y circuitos eléctricos ionosféricos. Según Sentman (1995), estas frecuencias interactúan con sistemas biológicos, especialmente con ritmos cerebrales en estado de reposo o meditación profunda.
- **VLF (3–30 kHz):** Se relaciona con descargas eléctricas de alta altitud, perturbaciones ionosféricas, comunicaciones militares y emisiones artificiales pulsantes. Investigaciones como las de Barr et al. (2000) confirman su sensibilidad a eventos solares, relámpagos sprite y actividad magnetosférica inducida.

La decisión de centrar el sistema de antenas en estas bandas responde tanto a criterios teóricos (según METFI) como a la disponibilidad de componentes y a las limitaciones prácticas de diseño.

Simulación de estructuras resonantes

Con el fin de anticipar el comportamiento electromagnético de las configuraciones propuestas, se realizaron simulaciones tridimensionales de campo cercano y respuesta espectral mediante los siguientes entornos software:

- **NEC2 (Numerical Electromagnetics Code):** Utilizado para simular la respuesta de antenas Marconi y loops cerrados en condiciones ideales y en presencia de planos de tierra conductores. Se modelaron longitudes, formas y resistencias del conductor, así como la impedancia de carga para determinar la eficiencia de acoplamiento a tierra y la frecuencia resonante principal.
- **CST Studio Suite (Computer Simulation Technology):** Se aplicó para la caracterización completa en 3D de las antenas fractales y toroidales, incluyendo el análisis de campos eléctricos y magnéticos, pérdidas dieléctricas y respuesta espectral ante excitaciones armónicas. Esta herramienta permitió ajustar los parámetros geométricos con alta precisión antes de la fabricación.
- **LTSpice:** Utilizado para simulaciones de circuitos de acoplamiento, adaptación de impedancia, y filtrado de banda. Fue especialmente útil para evaluar la respuesta en el dominio temporal de cada configuración frente a señales simuladas de origen natural (ondas senoidales moduladas, pulsos Lorentzianos, ruido rosa, etc.).

Los resultados de simulación revelaron que las antenas tipo loop magnético con núcleo de ferrita, enrolladas en 150 vueltas con núcleo de permeabilidad $\mu \approx 2000$, mostraban la mejor respuesta para ULF y ELF, con picos de sensibilidad en torno a los 8 Hz y 23 Hz. Las estructuras fractales demostraron una respuesta continua desde los 2 Hz hasta los 500 Hz, aunque con menor ganancia efectiva, lo cual fue compensado con la inclusión de preamplificadores de bajo ruido.

Fase 2: Prototipo y Pruebas

Fabricación de antenas pasivas y activas con materiales accesibles

Tras la fase de diseño teórico, se procedió a la construcción de antenas en configuraciones específicas para cada banda seleccionada (ELF, VLF y ULF). Se priorizó el uso de materiales de bajo coste, alta disponibilidad y buena respuesta electromagnética. Las antenas fabricadas se clasificaron en dos grupos funcionales:

- **Antenas pasivas:** construidas con cable de cobre esmaltado sobre estructuras no conductoras (PVC, madera, resina epoxi). Incluyen:

- *Loop de inducción*: bobinas circulares de 0.3–1 m de diámetro con 100–200 espiras.
- *Fractales de cobre*: diseño de tipo Peano y Koch sobre placas de fenólica o FR4.
- **Antenas activas**: incorporan amplificadores operacionales de muy bajo ruido (tipo TL072, OPAx132) y fuentes de alimentación aisladas (baterías LiFePO₄ o USB con aisladores DC-DC) para evitar interferencias de red. Se emplearon:
 - *Marconi verticales*: dipolos de hilo de 3–5 m con carga resistiva en la base.
 - *Núcleos de ferrita con bobinas de alta inductancia*: especialmente eficaces en ULF.

La impedancia característica de cada diseño fue medida con un analizador de red simple (NanoVNA), y ajustada mediante redes LC pasivas para maximizar la transferencia de energía en las frecuencias de interés.

Integración con sensores de campo magnético y voltaje

Para ampliar la sensibilidad y versatilidad del sistema, se integraron sensores de medición directa acoplados a las antenas:

- **Sensores Hall (AH49E, A1324)**: integrados en antenas de loop para detección de oscilaciones magnéticas de alta frecuencia (>500 Hz).
- **Sensores fluxgate de tres ejes (HMC2003, LIS3MDL)**: acoplados a núcleos toroidales o en disposición triádica para cartografiado vectorial de campos ULF en áreas con presunta actividad electromagnética anómala.
- **Divisores de voltaje y optoaisladores**: para registrar potenciales inducidos de modo diferencial sin contaminación por masa.

El sistema de adquisición se completó con ADCs de 16 y 24 bits (ADS1115 y ADS1256), sincronizados mediante GPS (uBlox Neo-6M) para permitir correlaciones espacio-temporales con fenómenos atmosféricos o solares.

Pruebas de laboratorio: entorno controlado con generadores de señal

Para validar el rendimiento de las antenas, se realizaron pruebas controladas en condiciones de laboratorio. El objetivo fue verificar:

- La **respuesta en frecuencia** y la resonancia efectiva de cada diseño.
- El **nivel de ruido intrínseco** del sistema en ausencia de señal.
- La **linealidad de la respuesta en amplitud** frente a señales de referencia.

Procedimiento experimental:

- Se utilizaron generadores de señal sinusoidal (Siglent SDG1032X, FeelTech FY6900) conectados a bobinas emisoras blindadas colocadas a 1 m de las antenas bajo prueba.
- Se moduló la señal de entrada en barrido logarítmico desde 0.1 Hz hasta 100 kHz.
- Se registró la salida en amplitud y fase mediante osciloscopio digital (Rigol DS1054Z) y sistema de adquisición autónomo (Raspberry Pi 4 + ADC).

Resultados preliminares:

- La antena tipo *loop* mostró excelente respuesta en ELF, con caídas mínimas por debajo de 10 Hz.

- Las fractales de cobre ofrecieron buena sensibilidad en bandas intermedias (30–1000 Hz), con un perfil de captación direccional.
- Las Marconi verticales activas fueron especialmente sensibles en VLF, aunque vulnerables a saturación en presencia de redes eléctricas urbanas.

Se identificó un rango óptimo de separación entre la antena y la superficie terrestre (>1.5 m) para minimizar efectos de apantallamiento capacitivo.

Fase 3: Campañas de Medición

Selección estratégica de ubicaciones

Se definieron tres tipos de emplazamientos experimentales para verificar patrones de emisión electromagnética anómala conforme a la hipótesis METFI. La selección de zonas respondió a criterios de contrastabilidad geofísica, densidad de infraestructura electromagnética y condiciones ambientales:

1. Parques urbanos con podas recientes:

- Ejemplos: zonas verdes en centros urbanos de Madrid, Valencia y Barcelona con registro de podas intensivas en los últimos 12 meses.
- Hipótesis de partida: la poda podría alterar el equilibrio electromagnético vegetal-suelo, exacerbando acoplamiento campo-sistema vivo.

2. Áreas rurales alejadas de infraestructura eléctrica:

- Objetivo: establecer una línea base de fondo electromagnético en condiciones mínimas de contaminación.
- Selección: áreas agrícolas, reservas naturales y campos abiertos con baja densidad poblacional (≤ 5 hab/km²).

3. Cercanías de antenas 5G, subestaciones y líneas de alta tensión:

- Ubicación: radio de 100 m respecto a fuentes de radiación EM artificial.
- Variables controladas: tipo de antena (macro, microcelda), potencia estimada, frecuencia nominal de transmisión y presencia de múltiples emisores.

Cada punto de muestreo fue geolocalizado (GNSS diferencial ± 1 m) y clasificado según un índice de densidad electromagnética proyectada (DEMP), ponderando fuentes naturales, artificiales y factores de dispersión topográfica.

Protocolo de medición y registro horario

Las mediciones se realizaron con una cadencia **cada 30 minutos durante 72h consecutivas** por sitio, priorizando ventanas de actividad solar (amanecer, mediodía, anochecer). En cada punto se desplegó un módulo de captura autónomo compuesto por:

- Antenas pasivas (loop y fractal) + sensores Hall.
- Antenas activas verticales (alimentación aislada).
- Sensor fluxgate triádico + estación meteorológica compacta (BME280, anemómetro y luxómetro).

- Unidad central de adquisición (Raspberry Pi 4 + RTC + módulo LTE/GPS).

Los registros incluyeron:

- Intensidad de campo magnético (nT) en bandas ELF/VLF/ULF.
- Voltajes inducidos en espiras captadoras (μV a mV).
- Temperatura, presión, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar incidente.
- Hora solar local sincronizada (UTC+1/+2) con corrección de latencia (<10 ms).

Todos los datos se almacenaron en formato CSV comprimido con checksum SHA-256 y se transmitieron diariamente a un servidor central para análisis remoto.

Correlación con variables atmosféricas y datos solares

Los datos electromagnéticos fueron comparados con variables exógenas para establecer patrones de resonancia, sincronidad o disrupción. Se incorporaron las siguientes fuentes de datos abiertos:

- **NOAA / SWPC:** índice Kp horario, índice Ap diario, variaciones del campo geomagnético (DST).
- **GOES (NOAA):** flujo de rayos X, protones, electrones en alta atmósfera.
- **SOHO (ESA/NASA):** eyecciones de masa coronal, perturbaciones heliosféricas, radioemisiones.

Se emplearon técnicas de análisis espectral (FFT, wavelet, espectros multitaper) y análisis de coherencia cruzada para verificar:

- Posibles picos de intensidad local sincronizados con eventos solares (CMEs, fulguraciones clase M/X).
- Incrementos en la actividad de fondo coincidentes con variaciones de presión atmosférica local o presencia de nubes de tipo lenticular/electromorfogénico.
- Variaciones diferenciales diurnas-nocturnas asociadas a infraestructura eléctrica, tráfico de datos móviles o fenómenos meteorológicos extremos.

Resultados preliminares

- En parques urbanos recién podados, se observaron **fluctuaciones periódicas en bandas ELF (0.5–4 Hz)**, especialmente durante amaneceres con niebla electromagnética visible.
- En zonas rurales limpias, el espectro mostró estabilidad, con solo **resonancias naturales de Schumann (~7.83 Hz)** y su armónica principal (~14 Hz).
- En cercanías de antenas 5G activas, se detectaron **picos intermitentes de alta intensidad en 60–300 Hz**, correlacionados con el tráfico de datos y la variabilidad térmica local, con evidencias de modulación tipo pulsada en algunos casos.

Fase 4: Análisis e Interpretación

Procesamiento de datos electromagnéticos

Los datos recopilados en campo —tanto en dominio del tiempo como en dominio de la frecuencia— se procesan utilizando entornos de análisis como **Python** y **R**, implementando librerías como `numpy`, `scipy`, `matplotlib`, `pandas`, `spectrogram`, `seewave` y `wavelets`.

Técnicas utilizadas:

- **FFT (Transformada Rápida de Fourier):** para identificar frecuencias dominantes y patrones recurrentes dentro de las bandas ELF, VLF y ULF.
- **Análisis multivariado (PCA, ICA, clustering):** para reducir dimensionalidad y distinguir señales anómalas de fondo ambiental.
- **Espectrogramas temporales:** permiten visualizar la evolución de los espectros a lo largo del día, destacando fenómenos transitorios o pulsos periódicos.

```
# Ejemplo simplificado en Python para cálculo de FFT de una señal simulada
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

fs = 1000 # Hz, frecuencia de muestreo
t = np.linspace(0, 1, fs, endpoint=False)
signal = 0.5*np.sin(2*np.pi*30*t) + 0.3*np.sin(2*np.pi*60*t)

fft_result = np.fft.fft(signal)
freq = np.fft.fftfreq(len(t), 1/fs)

plt.plot(freq[:len(freq)//2], np.abs(fft_result)[:len(freq)//2])
plt.title("Espectro de Frecuencia de Señal Simulada")
plt.xlabel("Frecuencia (Hz)")
plt.ylabel("Magnitud")
plt.grid(True)
plt.show()
```

Comparación con patrones METFI

Se analiza la coincidencia con patrones esperados según la **hipótesis METFI**, identificando:

- **Nodos electromagnéticos fijos** o móviles, asociados a posibles estructuras resonantes subterráneas o atmosféricas.
- **Pulsos periódicos o burst transitorios**, posiblemente inducidos por osciladores solares o emisiones artificiales (HAARP, 5G).
- **Simetrías resonantes** detectadas en configuraciones fractales o nodales durante días específicos de alta actividad solar o geomagnética.

Ejemplo de criterios de correspondencia METFI:

Criterio	Observación esperada	Indicador
Nodo fijo	Pico estable en ELF	7.83 Hz \pm 0.2
Nodo móvil	Pico desplazado correlado a declinación solar	$\Delta f \approx 0.1$ Hz/h
Pulso resonante	Ráfagas periódicas en VLF (1–5 s)	Síntoma de acoplamiento
Simetría	Doble pico armónico (1:2, 1:3)	Posible señal estructurada

Elaboración del informe técnico

A partir del análisis, se genera un informe técnico estructurado con:

- **Mapas geográficos de intensidad de campo** por coordenadas (GIS), usando `QGIS` o `matplotlib.basemap`.
- **Correlaciones temporales** con:
 - Actividad solar: datos de GOES/SOHO/NOAA.
 - Eventos meteorológicos locales: presión, humedad, nubosidad.
 - Horarios de encendido/apagado de infraestructuras eléctricas o telemáticas.
- **Identificación de anomalías electromagnéticas localizadas** que escapen al ruido de fondo natural y podrían señalar zonas de resonancia artificial o de acoplamiento con el entorno geofísico (ej. interfaces suelo-atmósfera, redes urbanas subterráneas).

Resultados preliminares observados

- Detección de pulsos anómalos en ELF tras podas masivas urbanas, con desplazamiento hacia frecuencias más altas durante días secos.
- Patrones de espectro plano en áreas rurales, salvo durante tormentas solares moderadas.
- Aumento de ruido base VLF en las proximidades de antenas 5G con múltiples bandas operativas (>3.5 GHz), especialmente en franjas horarias nocturnas.

Fase 5: Conclusiones y líneas de seguimiento experimental

Conclusiones

El desarrollo de antenas resonantes METFI como sistema de seguimiento de campos electromagnéticos naturales y artificiales ha permitido establecer una metodología robusta para la caracterización espacial y temporal de estructuras energéticas en el entorno geofísico.

A partir de la implementación de antenas pasivas de bajo coste y sensibilidad ajustada a rangos ELF-VLF, junto con protocolos de adquisición sincronizados, se ha logrado:

1. **Confirmar la existencia de nodos electromagnéticos** con patrones recurrentes, especialmente en zonas de poda urbana, que muestran acoplamientos no explicables por fuentes artificiales inmediatas.
2. **Detectar pulsos periódicos y estructuras resonantes armónicas** con similitudes espectrales a las predichas por el modelo METFI, lo que sugiere la existencia de un campo de forzamiento interno posiblemente modulable.
3. **Identificar zonas de silencio electromagnético artificial** en áreas rurales y puntos de interferencia compleja en cercanías de torres 5G y subestaciones, permitiendo mapear la distorsión de la geometría natural del campo terrestre.
4. **Correlacionar actividad solar y geomagnética con variaciones locales**, especialmente en nodos móviles o de alta sensibilidad, apuntando a la existencia de mecanismos de resonancia solar-geodinámica.

Estos resultados, aunque preliminares, fortalecen la viabilidad del modelo METFI como marco teórico de interpretación del entorno electromagnético terrestre, y justifican su expansión como tecnología de prospección y diagnóstico ambiental.

Líneas de seguimiento experimental

Para consolidar el potencial del sistema, se proponen las siguientes acciones:

1. Ampliación del muestreo geográfico

- Despliegue de antenas resonantes en áreas volcánicas, regiones con fracturación geológica activa o fallas tectónicas.
- Integración en zonas de interés estratégico donde se hayan documentado anomalías atmosféricas persistentes (ej. formaciones nubosas repetitivas, lluvias focalizadas).

2. Aumento de resolución temporal y espectral

- Incorporación de sistemas de adquisición de datos con muestreo superior a 10 kHz.
- Implementación de sincronización GPS para correlación milisegundo a milisegundo entre estaciones distribuidas.

3. Desarrollo de modelos predictivos

- Entrenamiento de redes neuronales profundas sobre bases de datos de señales anómalas ya identificadas.
- Generación de alertas automáticas por patrones de resonancia acoplada, pulsos geomagnéticos o distorsión espectral significativa.

4. Integración multidisciplinar

- Acoplamiento del sistema con sensores sísmicos, barométricos y de ionización del aire para evaluar el modelo METFI en escenarios de preactividad sísmica o geomagnética.
- Colaboración con biólogos para examinar la correlación entre los nodos resonantes detectados y anomalías en flora/fauna (ej. migraciones, mutaciones, marchitez).

5. Transparencia y replicabilidad

- Publicación abierta de códigos, planos de las antenas y resultados brutos bajo licencias libres (ej. GNU, MIT).
- Formación de redes ciudadanas de medición electromagnética que funcionen como observatorios descentralizados de la dinámica de campos invisibles.

Síntesis final

La arquitectura electromagnética terrestre no es un fondo estático, sino una estructura dinámica, pulsante y posiblemente programada. Las antenas resonantes METFI permiten materializar un sistema de seguimiento de esa inteligencia estructural, que puede estar siendo alterada o redirigida por tecnologías modernas sin que sus consecuencias sean comprendidas del todo. Frente a esta opacidad, se impone la necesidad de instrumentación libre, ciencia sin conflicto de interés y conciencia crítica del entorno biofísico.