

**Llamado a postulación**  
**Doctorado en Ciencias de la Ingeniería,**  
**Área Ingeniería Eléctrica**

***Procesamiento de Imágenes Biomédicas para Mapas de  
Propiedades Electromagnéticas con MRI***

*Pontificia Universidad Católica de Chile — Escuela de Ingeniería*

**Contacto: Prof. Carlos Milovic (cmilovic@uc.cl)**

**Contexto**

Buscamos estudiantes interesados en desarrollar nuevas metodologías de adquisición, reconstrucción y análisis de imágenes de resonancia magnética (MRI) para estimar propiedades electromagnéticas de los tejidos (p. ej., susceptibilidad magnética, y en proyectos asociados, modelos que se conectan con conductividad/permitividad). El foco está en métodos para mejorar la robustez de técnicas cuantitativas (en particular QSM) junto con representaciones multiescala y técnicas modernas de optimización y aprendizaje profundo. En QSM se estiman mapas de susceptibilidad magnética,  $\chi$ , a partir de imágenes 3D que describen el campo magnético punto a punto. Esto implica resolver un problema inverso mal condicionado. Las nuevas metodologías a desarrollar se enfocarán tanto en el marco tradicional de algoritmos iterativos como en nuevos algoritmos de aprendizaje profundo informados por la física.

Estos proyectos de investigación se realizarán en el Centro de Imágenes Biomédicas UC (CIB). El CIB es un centro de investigación multidisciplinario de la Pontificia Universidad Católica de Chile con más 25 años de experiencia en área de investigación y desarrollo de técnicas de adquisición, reconstrucción y análisis de imágenes biomédica. Contamos además con sólidas redes de colaboración en Estados Unidos y Europa, con oportunidades para realizar pasantías de investigación y posibles dobles grados.

Los proyectos descritos a continuación son tentativos, y están sujetos a cambio en conjunto con el postulante.

## Proyectos de tesis doctoral ofrecidos

1. Redes informadas por la física para QSM de orientación única y modelo extendido de señal (Magíster/Doctorado)

Diseñar redes que impongan coherencia con el núcleo dipolar magnético (modelo tradicional) e incorporen componentes no dipolares (p. ej., cuadrupolos y campos armónicos). Objetivos: separar la susceptibilidad  $\chi$  de componentes cuadrupolares que modelen microestructura y armónicas que modelan contribuciones de campos de fondo, para reducir artefactos y conservar detalles finos.

2. Eliminación de campo de fondo sin máscara

Los campos de fondo se modelan típicamente como campos escalares armónicos. Para desacoplarlos de los campos de magnetización locales se explotan las propiedades matemáticas de los campos armónicos. Una de las dificultades es que hay que definir una región de interés, y en su interior usar estas propiedades matemáticas. El problema ocurre en la interfaz, donde se suelen violar esas propiedades, o el ruido impide modelar la señal. En este proyecto se plantean dos vías complementarias para resolver el problema: (i) algoritmo binario con imágenes de magnitud y fase para identificar aire/tejidos, estimar campos de fondo y suprimir streaking en la frontera; (ii) red neuronal para eliminar el campo armónico sin máscara, con posibilidad de integrar la inversión del dipolo en un solo paso.

3. Aplicación starlet–shearlet o dipolelets multiescala para QSM de altos detalles

Se propone utilizar una nueva representación multiescala, que identifica componentes en fase (campos magnéticos) y susceptibilidad según el tamaño y orientación de las estructuras. Se propone integrar starlets radiales (para control de ruido de alta frecuencia) con ralezas direccionales tipo shearlet en un funcional resuelto con ADMM, para priorizar preservación de venas y detalles anisotrópicos. Alternativamente, usar la nueva representación llamada “dipole-lets” en solvers ADMM o U-Nets para suprimir streaking/ruido. Se propone extender este marco a Variación Total multiespectral como complemento.

4. Redes Kolmogorov-Arnold (KAN) y Transformers para QSM

Nuevas arquitecturas de aprendizaje profundo prometen una mejor generalización de los datos y mejor interpolación. Se propone implementar bloques KAN o Transformer con pérdida física basada en el modelo del dipolo para mejorar la generalización y reducir alucinaciones respecto de U-Nets.

5. PINN-DECOMPOSE

La susceptibilidad magnética nos da un contraste entre materiales paramagnéticos (positivos) y diamagnéticos (negativos). El problema aparece cuando tenemos una mezcla de materiales en el mismo voxel, como el caso de mielina y depósitos de hierro. Para poder separar ambas contribuciones se necesita resolver un nuevo problema, donde el modelo involucra múltiples adquisiciones o múltiples ecos. Un método novedoso es DECOMPOSE, que separa los componentes asumiendo que la señal compleja adquirida se descompone en tres señales

independientes, del agua, paramagnetismo y diamagnetismo. El problema de este algoritmo es que es computacionalmente muy caro. Se propone resolver el funcional de DECOMPOSE con arquitecturas de aprendizaje profundo informadas por la física (PINNs/unrolled), para acelerar la inferencia y robustecer frente a pocos tiempos de eco.

#### 6. Inversión conjunta multi-eco $R2^*$ -QSM

La señal adquirida en el resonador magnético es compleja; tiene magnitud y fase. Mientras la fase evoluciona más o menos linealmente, la magnitud decae de forma (mono)exponencial. Un modelo conjunto que calcula la tasa de decaimiento exponencial de magnitud  $R2^*$  y la susceptibilidad a partir de la fase en un solo funcional o red multitarea con priors compartidos permite tener un modelo mucho más robusto ante el ruido. Meta: robustez con pocos ecos y mejor precisión en  $\chi$  ante efectos de micro-estructura.

### Perfil del/la postulante

- Título previo en Ingeniería Eléctrica, Biomédica, Física, Computación o afines.
- Sólida formación en procesamiento de señales/imágenes y optimización numérica o experiencia en redes neuronales de aprendizaje profundo.
- Manejo de al menos un lenguaje científico (Matlab, Python, C/C++ o Julia).
- Interés por investigación reproducible, validación con fantomas/simulaciones y rigor matemático.

### Admisión y dedicación

- Postulación abierta para ingreso 2025–2026.
- Duración: 8 semestres.
- Modalidad de dedicación exclusiva. Remuneración equivalente a montos de becas de doctorado ANID (<https://anid.cl/concursos/doctorado-becas-chile-2025/>).

### Postulación y consultas

- Escribe a [cmilovic@uc.cl](mailto:cmilovic@uc.cl) indicando “Postulación Doctorado – Propiedades EM con MRI”.
- Adjunta CV, certificado de notas y una breve carta de intención (máx. 1 página).
- Opcional: enlaces a repositorios de código/publicaciones y cartas de dos referencias académicas.