

### PROGRAMA DE CURSO

Código	Nombre		
GF7013	Métodos Inversos Avanzados		
Nombre en Inglés			
<i>Advanced Inverse Methods</i>			
Créditos	Horas de Cátedra	Horas Docencia Auxiliar	Horas de trabajo personal
9	3,0	1,5	10,5
Requisitos		Carácter del curso	
-GF5013 (Métodos Inversos Aplicados a la Geofísica)  Requisitos específicos: -Programar en lenguajes de tipo scripting (Ej: PYTHON, JULIA, etc).		Curso Electivo de Magíster en Ciencias Mención Geofísica	
Competencias a las que tributa el curso			
Competencias Específicas			
CE3:	Caracterizar cuantitativamente y cualitativamente fenómenos y procesos geofísicos, para interpretar e inferir propiedades del Sistema Tierra.		
CE4:	Inferir las propiedades físicas del sistema en estudio, utilizando modelos simplificados e información cuantificable obtenida en el procesamiento de datos.		
CE5:	Procesar datos a fin de cuantificar las variables físicas involucradas en los fenómenos y procesos geofísicos.		
Competencias Genéricas			
CG1:	Comunicación profesional y académica:  Leer de manera comprensiva, analítica y crítica en español. Asimismo, expresar de forma eficaz, clara, precisa e informada sus ideas, opiniones e indagaciones, adecuándose a diversas situaciones comunicativas académicas y profesionales, tanto en lo oral como en lo escrito.		
CG2:	Comunicación en Inglés:  Leer y escuchar de manera comprensiva en inglés variados tipos de textos e informaciones sobre temas concretos o abstractos, comunicando experiencias y opiniones, adecuándose a diferentes contextos y a las características de la audiencia.		
CG3:	Compromiso ético:  Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.		

**CG4: Trabajo en equipo:**

Ejecutar, de forma estratégica y colaborativa con el equipo, diversas actividades formativas, a partir de la autogestión de sí mismo y en una construcción de relación con el otro, interactuando con los demás en diversos roles: de líder, colaborador u otros, según los objetivos del trabajo común, sin discriminar por género u otra razón.

**Propósito del curso**

El curso GF7013 tiene como propósito que los y las estudiantes comprendan y apliquen algoritmos de muestreo Bayesianos y de optimización global para resolver problemas inversos discretos no lineales (y lineales), con el fin de utilizar observaciones experimentales para estimar parámetros de modelos matemáticos que representan fenómenos físicos.

Se espera que los y las estudiantes que completen el curso adquieran conocimientos de teoría de problemas inversos en sus formulaciones Bayesianas y optimal, de algoritmos de muestreo de funciones de densidad de probabilidad, algoritmos de optimización global, programación en paralelo de dichos algoritmos y la ejecución de éstos en hardware especializado. Asimismo, que adquieran experiencia práctica en su aplicación a problemas de estimación de parámetros de modelos no lineales y lineales, incluyendo la ejecución de programas computacionales en centros de Computación de Alto Rendimiento HPC (*High Performance Computing*).

En el curso se verán ejemplos de aplicación de las metodologías aprendidas, que incluyen desde modelos matemáticos simples hasta problemas físicos más complejos con énfasis en temáticas de las ciencias de la tierra e ingeniería.

Competencias a la que tributa (CE-CG)	Resultados de Aprendizaje
CE3-CG2	RA1: Maneja conceptos básicos y alcances de la teoría de problemas inversos discretos no-lineales y lineales, aplicables a problemas de estimación en ciencias de la tierra e ingeniería.
CE4-CG1-CG2-CG3-CG4	RA2: Aplica algoritmos de muestreo Bayesianos y de optimización global en la resolución de problemas inversos discretos, utilizando observaciones experimentales de laboratorio u obtenidas en la superficie de la tierra, para estimar parámetros de modelos matemáticos que representan fenómenos físicos.
CE5-CG1-CG2-CG3-CG4	RA3: Resuelve problemas inversos discretos usando métodos muestreo Bayesianos y de optimización global con el fin de identificar y separar señales de interés presentes en mediciones de instrumentos geofísicos o de experimentos en ingeniería.
CG1-CG3-CG4	RA4: Elabora un reporte sobre la aplicación de un método inverso a un problema de las ciencias básicas o de la ingeniería y sus resultados, sujetos a incertidumbre, a fin de comprender los alcances de la teoría utilizada.

Metodología Docente	Evaluación General
<p>La metodología del curso es activo participativa y contempla:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Clases de cátedra expositivas</li> <li>- Clases auxiliares</li> <li>- Sesiones de Laboratorio</li> <li>- Lectura y discusión de artículos científicos</li> </ul>	<p>El sistema de evaluación – tipos, cantidad y ponderación de evaluaciones – se determina y comunica a los alumnos el primer día de clases. Tipos de evaluación (al menos dos):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controles</li> <li>• Tareas (teóricas, numéricas y lectura de artículos científicos)</li> <li>• Presentación oral de tareas realizadas o de artículos científicos</li> <li>• Ejercicios</li> <li>• Desarrollo de un mini proyecto de investigación</li> <li>• Examen</li> </ul>

### Unidades Temáticas

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
1	RA1	Introducción y Definiciones	1,5
Contenidos		Indicador de logro	Referencias a la Bibliografía
1.1. Definiciones generales 1.2. Problemas de estimación de parámetros. 1.3. Representación discreta de variables continuas. 1.4. El problema directo 1.5. El problema inverso. 1.6. Ejemplos de problemas inversos lineales y no lineales. 1.7. Introducción a Problemas Inversos Lineales 1.8. Introducción a Problemas Inversos No Lineales 1.9. Dificultades en la resolución de problemas inversos no lineales.		<p>El estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Categoriza diferentes tipos de problemas inversos.</li> <li>2. Identifica las características generales de problemas inversos lineales y no lineales.</li> <li>3. Formula problemas inversos lineales y no lineales.</li> <li>4. Reconoce problemas inversos más comunes en geociencias e ingeniería.</li> <li>5. Reconoce de manera general diferentes metodologías de resolución de problemas de inversión no lineales, así como sus alcances y limitaciones.</li> </ol>	<p>(1): Cap. 1, 6, 7  (3): Cap. 1, 2, 12, 13  (4): Cap. 1</p>

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
2	RA1	Formulación Bayesiana del problema inverso	1,5
Contenidos		Indicador de logro	Referencias a la Bibliografía
2.1 El Enfoque de Popper-Bayes. 2.2 Parámetros Cartesianos y Cantidades de Jeffreys. 2.3 Variables estocásticas. 2.4 Funciones de densidad de probabilidad y de probabilidad volumétrica. 2.5 Probabilidades condicionales y marginales. 2.6 Relaciones y funciones entre variables estocásticas. 2.7 Representación de modelos, observaciones e información a priori. 2.8 Formulación Bayesiana del Problema Inverso. 2.9 La solución del problema inverso: a priori v/s a posteriori. 2.10 Conexión entre la formulación Bayesiana y de optimización clásica del problema inverso.		El estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>Utiliza nociones de probabilidad para representar observaciones, modelos teóricos, e información a priori de parámetros de modelos.</li> <li>Plantea problemas inversos utilizando el enfoque Bayesiano.</li> <li>Comprende la solución del problema inverso como un proceso de actualización de información disponible acerca de los parámetros que definen un modelo teórico.</li> </ol>	(1): Cap. 1, 3, 6, (3): Cap. 2, (4): Cap 11

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
3	RA2, RA3, RA4	Algoritmos de muestreo	5,5
Contenidos		Indicador de logro	Referencias a la Bibliografía
3.1 Muestra de una variable estocástica. 3.2 Métodos de muestreo directo y de <i>Monte Carlo</i> 3.3 Métodos de remuestreo 3.4 Métodos de Transición/ Secuenciales 3.5 <i>Markov Chain Monte Carlo</i> (MCMC) 3.6 Algoritmos de muestreo basados en MCMC 3.7 Solución del Problema Inverso usando Métodos MCMC. 3.8 Selección de clases de modelos 3.9 Ejemplos de aplicaciones de algoritmos de muestreo para la resolución de problemas inversos.		El estudiante:  1. Comprende y aplica algoritmos para producir muestras de una variable estocástica. 2. Comprende conceptos de Cadenas de Markov aplicados a la realización de muestras de variables estocásticas. 3. Utiliza métodos de muestreo de variables aleatorias para aproximar la solución de problemas inversos lineales y no lineales. 4. Comprende y aplica métodos de selección de clases de modelos para discriminar entre posibles soluciones de un problema inverso.	(1): Cap. 1, 2, 12, 13 (2): Cap. 1, 2, 3, 4 (4): Cap. 11

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
4	RA2, RA3, RA4	Se acabó el café antes de obtener resultados: breve introducción a programación en paralelo	2,5
Contenidos		Indicador de logro	Referencias a la Bibliografía
4.1 Paradigmas y Arquitecturas de Programación en Paralelo. 4.2 Herramientas básicas de Linux para la paralelización de tareas independientes.		El estudiante:  1. Categoriza diferentes tipos de paradigmas y arquitecturas de programación en paralelo. 2. Comprende conceptos básicos de programación en paralelo y los aplica	(5)

4.3 Introducción al paralelismo usando multi-threading	al	para la confección de algoritmos de muestreo más eficientes.	
4.4 Introducción al paralelismo usando MPI (Message Passing Interface).	al	3. Utiliza algoritmos de muestreo en paralelo para resolver problemas inversos.	
4.5 Algoritmos de muestreo en Paralelo			
4.6 Introducción al uso de hardware especializado de tipo HPC (High Performance Computing).			

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
5	RA2, RA3, RA4	Métodos de optimización global	2,5
Contenidos		Indicador de logro	Referencias a la Bibliografía
3.1 Problemas Inversos Altamente No Lineales		El estudiante:	(6) Cap. 1, 2, 4, 5, 6, 8
3.2 Diferencias entre métodos de convergencia local y global		1. Categoriza diferentes tipos de problemas de estimación no lineal.	
3.3 Algoritmos de optimización global (Ej: Algoritmos Genéticos, Simulated Annealing, Neighborhood Algorithm).		2. Comprende las diferencias entre métodos de optimización de convergencia local y global.	
3.4 Cuantificación de incertidumbre.		4. Comprende métodos de optimización global para problemas altamente no lineales.	
3.5 Aplicación a la resolución de problemas inversos altamente no lineales.		3. Utiliza algoritmos de optimización global para resolver problemas inversos altamente no lineales.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la Unidad	Duración en Semanas
6	RA1, RA2, RA3, RA4	Tópicos contemporáneos de métodos inversos	1,5
Contenidos*		Indicador de logro	Referencias a la Bibliografía
<p>* Los contenidos de este módulo pueden variar cada año.</p> <p>6.1 Breve introducción a métodos de reciente desarrollo para la resolución de problemas inversos.</p> <p>6.2 Introducción a Machine Learning</p> <p>6.3 Introducción a Redes Neuronales</p> <p>6.4 Implementaciones en Tensor Flow u otros software.</p>		<p>El estudiante:</p> <p>1. Caracteriza y comprende nociones básicas de métodos de resolución de problemas inversos novedosos que han sido recientemente desarrollados, o que se encuentran en desarrollo incipiente.</p>	(5)

Bibliografía General
<p>Bibliografía obligatoria:</p> <p>(1) Albert Tarantola. "Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation".</p> <p>(2) Andrieu, C., Freitas, N. de, Doucet, A. &amp; Jordan, M. I. An Introduction to MCMC for Machine Learning. <i>Mach Learn</i> <b>50</b>, 5–43 (2003).</p> <p>(3) William Menke. "Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory – Third Edition". Academic Press – Elsevier (2012).</p> <p>(4) Richard C. Aster, Brian Borchers and Clifford H. Thurber. "Parameter Estimation and Inverse Problems - Third Edition". Academic Press – Elsevier (2019).</p> <p>(5) Apuntes de clases elaborados por el profesor de cátedra.</p> <p>(6) Sen, M., &amp; Stoffa, P. (2013). <i>Global Optimization Methods in Geophysical Inversion</i>. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511997570</p> <p>Bibliografía complementaria:</p> <p>(7) THERESE M. DONOVAN RUTH M. MICKEY (2019) "Bayesian Statistics for Beginners: a step by step approach". Oxford University Press. DOI: 10.1093/oso/9780198841296.001.0001</p>

Vigencia desde:	Otoño 2022
Elaborado por:	Francisco Hernán Ortega Culaciati
Validado por:	
Revisado por:	

