

## PROGRAMA DE CURSO

### MÉTODOS INVERSOS APLICADO A LA GEOFÍSICA

#### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Geofísica (DGF)					
Nombre del curso	Métodos inversos aplicado a la geofísica	Código	GF5013	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Inverse Methods Applied to Geophysics</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	1,5	Trabajo personal	5,5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	(MA3403: Probabilidades y Estadística/MA3401: Probabilidades), (MA3701: Optimización/IN3171: Modelamiento y optimización), GF4001: Sismología					

#### B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que los y las estudiantes apliquen métodos de optimización y Bayesianos a fin de resolver problemas inversos discretos. Asimismo, utilizan observaciones experimentales para estimar parámetros de modelos matemáticos que representan fenómenos físicos. Para ello, el y la estudiante manejan conceptos básicos y alcances de la teoría de problemas inversos discretos lineales y no-lineales, así como metodologías de resolución optimales y Bayesianas.

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.

El curso tributa a las siguientes competencias y subcompetencias específicas (CE) y genéricas (CG):

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.

CG1: Comunicación académica y profesional

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**

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

**C. Resultados de aprendizaje:**

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE3	RA1: Maneja conceptos fundamentales de la teoría de problemas inversos discretos lineales y no-lineales, considerando sus alcances y aplicabilidad a problemas de estimación en ciencias de la tierra e ingeniería.
CE4	RA2: Utiliza métodos de optimización y Bayesianos en problemas inversos discretos, utilizando datos o mediciones experimentales, para estimar parámetros de modelos matemáticos que representan fenómenos físicos.
CE5	RA3: Resuelve problemas inversos discretos, usando métodos de optimización y Bayesianos con el fin de separar señales de interés presentes en mediciones geofísicas de procesos físicos que se expresan de manera simultánea y agregada.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA4: Reporta la aplicación de un método inverso a un problema de las ciencias básicas o de la ingeniería en un contexto de incertidumbre, considerando claridad y concisión para explicar en forma oral o escrita los alcances de la teoría utilizada.

CG1, CG2	RA5: Lee de manera comprensiva diversa literatura en español y inglés a fin de determinar información relevante sobre teoría y métodos de optimización y Bayesianos.
CG3, CG4	RA6: Trabaja con su equipo, de manera responsable, cooperativa y propositiva, en las actividades académicas, considerando las capacidades y aptitudes de sus pares al momento de cumplir con las tareas propuestas.

#### D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA5	Métodos inversos	1 semana
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Formulación y clasificación de problemas de estimación de parámetros y métodos Inversos. 1.2. El problema inverso lineal. 1.3. Ejemplos de problemas inversos. 1.4. Discretización de problemas inversos. 1.5. Dificultades en la resolución de problemas inversos.		El/la estudiante: 1. Categoriza diferentes tipos de problemas inversos. 2. Formula y resuelve problemas inversos lineales discretizados. 3. Identifica problemas inversos más comunes en geociencias. 4. Relaciona la información leída, con aspectos de su contexto académico.	
Bibliografía de la unidad		(1): Cap. 1 (2): Cap. 1, 2, 12, 13 (3): Cap. 1, 6, 7	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA2, RA3, RA4, RA5, RA6	Problemas inversos lineales	6 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Estimación por mínimos cuadrados. 2.2. Aspectos estadísticos de mínimos cuadrados. 2.3. Problemas lineales con rango deficiente y mal condicionados. 2.4. Métodos de regularización de problemas inversos lineales. 2.5. Errores y resolución de los parámetros estimados y de la predicción de los modelos. 2.6. Consideraciones numéricas en la resolución de problemas inversos lineales. 2.7. Estimación robusta de parámetros: mínimos valores absolutos. 2.8. Ejemplos de problemas inversos lineales en ciencias de la tierra e ingeniería.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plantea problemas inversos lineales discretos, identificando las limitaciones de estos.</li> <li>2. Resuelve problemas lineales de inversión por los métodos de mínimos cuadrados y de mínimos valores absolutos, interpretando sus resultados.</li> <li>3. identifica y resuelve problemas inversos lineales más comunes en geofísica.</li> <li>4. Planifica y presenta sus trabajos, basándose en sus capacidades, sin incurrir en plagio, copia, suplantación de identidad.</li> <li>5. Relaciona e integra información proveniente de múltiples fuentes para desarrollar una comprensión profunda de la problemática abordada de métodos inversos aplicados a la geofísica.</li> <li>6. Redacta, de manera clara y fundamentada, informes breves sobre el análisis de un problema geofísico de métodos inversos, a partir de diferentes ejemplos.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		(1): Cap. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (2): Cap. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13 (4): Cap. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (3): Cap. 3, 4, 6	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2, RA3, RA4, RA6	Introducción a problemas inversos no lineales	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Estimación de parámetros de modelos no lineales. 3.2. El problema de mínimos cuadrados no lineales. 3.3. Regularización del problema de mínimos cuadrados no lineales. 3.4. Métodos numéricos para la resolución de problemas inversos no lineales.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formula y resuelve problemas inversos no lineales, utilizando métodos numéricos.</li> <li>2. Categoriza y aplica diferentes técnicas de optimización para la resolución de problemas inversos no lineales.</li> <li>3. Identifica y resuelve diferentes problemas inversos no lineales en geofísica.</li> </ol>	

<p>3.5. Ejemplos de problemas de inversión no lineal en ciencias de la tierra e ingeniería.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Planifica y presenta sus trabajos, basándose en sus capacidades, sin incurrir en plagio, copia, suplantación de identidad.</li> <li>5. Plantea de manera clara, precisa y constructiva, su posición acerca de un tema o del cumplimiento de una tarea.</li> <li>6. Cumple obligaciones y acuerdos, respetando los compromisos adquiridos, en sus actividades académicas.</li> <li>7. Redacta, de manera precisa y fundamentada, informes breves sobre problemas geofísicos de métodos inversos, exponiendo con claridad sus resultados.</li> </ol>
<p>Bibliografía de la unidad</p>	<p>(1): Cap. 9, 10  (2): Cap. 9, 11, 12, 13  (4): Cap. 5, 6, 7  (3): Cap. 2.5, 3, 5, 6</p>

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA2, RA3, RA4	Métodos Bayesianos para resolver problemas inversos	6 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. El enfoque de Popper-Bayes. 4.2. Parámetros de Jeffreys. 4.3. Funciones de densidad de probabilidad y de probabilidad volumétrica. 4.4. Probabilidades condicionales, marginales, y relaciones entre parámetros. 4.5. Algoritmos de muestreo de funciones de densidad de probabilidad. 4.6. Modelos, observaciones y el problema de simulación directa. 4.7. Formulación Bayesiana del problema inverso (Enfoque Popper-Bayes). 4.8. Métodos de Monte Carlo. 4.9. Conexión entre la formulación Bayesiana y de optimización del problema inverso. 4.10. Ejemplos aplicados al ámbito de las ciencias de la tierra e ingeniería.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plantea y resuelve problemas inversos, utilizando el enfoque Bayesiano.</li> <li>2. Modela diferentes parámetros que definen un fenómeno físico, considerando nociones básicas de probabilidad y de medida.</li> <li>3. Aplica métodos de Monte Carlo para la resolución de problemas inversos.</li> <li>4. Estima las soluciones del problema inverso no regularizado.</li> <li>5. Planifica y presenta sus trabajos, basándose en sus capacidades, sin incurrir en plagio, copia, suplantación de identidad.</li> <li>6. Considera las capacidades y aptitudes de los miembros del equipo, al asignar roles y distribuir tareas, logrando la cooperación de los integrantes para el cumplimiento del objetivo.</li> <li>7. Elabora, de manera clara y fundamentada, informes breves sobre el análisis de un problema de métodos inversos, en el ámbito de las ciencias de la tierra e ingeniería.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		(1): Cap. 11 (3): Cap. 1, 2, 5, 6, 7	

### E. Estrategias de enseñanza -aprendizaje:

La estrategia metodológica considera clases expositivas y trabajo de laboratorio, esenciales para el logro de los resultados de aprendizaje declarados para el curso. Los y las estudiantes tendrán un rol protagónico en su proceso de aprendizaje; deberán trabajar activamente en actividades donde su participación y autoaprendizaje son relevantes.

Otras estrategias a considerar en el curso son:

- **Resolución de problemas:** a los y las estudiantes se les presentan problemas que deben resolver, utilizando los principales conceptos tratados en el curso.
- **Lectura y discusión de artículos científicos.**

### F. Estrategias de evaluación:

El curso considera distintas instancias de evaluación:

- Controles.
- Tareas (teóricas, numéricas y lectura de artículos científicos).
- Presentación oral de tareas realizadas o de artículos científicos.
- Ejercicios.
- Examen.

*Al inicio del semestre, se informará sobre las evaluaciones del curso, considerando tipos, cantidad y ponderaciones correspondientes.*

## G. Recursos bibliográficos:

### Bibliografía obligatoria:

- (1) Richard C. Aster, Brian Borchers and Clifford H. Thurber (2013). *“Parameter Estimation and Inverse Problems. Second Edition”*. Academic Press – Elsevier.
- (2) William Menke (2012). *“Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory – Third Edition”*. Academic Press – Elsevier.
- (3) Albert Tarantola. (S/F). *“Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation”*.

### Bibliografía complementaria:

- (4) Hansen, P. C. (1998), *Rank-Deficient and Discrete Ill-Posed Problems: Numerical Aspects of Linear Inversion*, SIAM, Philadelphia.

## H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Primavera, 2021
Elaborado por:	Francisco Hernán Ortega Culaciati
Validado por:	CTD de Geofísica
Revisado por:	Área de Gestión Curricular