

PROGRAMA DE CURSO

EXPLORACIÓN DE FLUIDOS TERRESTRES

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Departamento de Geología				
Nombre del curso	Exploración de fluidos terrestres	Código	GL4019	Créditos	6
Nombre del curso en inglés	<i>Exploration of terrestrial fluids</i>				
Horas semanales	Docencia	1,5	Auxiliares	1,5	Trabajo personal 7
Carácter del curso	Obligatorio		Electivo	X	
Requisitos	GL4503: Fundamentos de geoquímica, GL4001: Fundamentos de Petrología				

B. Propósito del curso:

El propósito del curso es que los y las estudiantes sean capaces de comprender e identificar el uso de herramientas petrológicas y geoquímicas avanzadas para caracterizar los fluidos tanto por su composición, temperatura, presión, entre otros parámetros, como por el tipo de ambiente terrestre donde se forman, se transportan y se contienen en formato de gases o líquidos, hasta que participan en procesos de formación de minerales.

CE3: Caracterizar los minerales formadores de rocas para determinar sus condiciones físico-químicas de formación y sus aplicaciones.

CE4: Analizar e interpretar procesos geoquímicos y petrogenéticos caracterizando las rocas ígneas y metamórficas de una región.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

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, CE4	RA1: Utiliza conceptos de termodinámica, modelos geodinámicos y modelos asociados a la geoquímica, para caracterizar fluidos de la tierra en el ciclo geodinámico-planetario, desde su origen y transporte como fluido mantélico, hasta su evolución en el contexto cortical.
CE3, CE4	RA2: Resuelve problemas de caracterización ambiental de ecosistemas naturales y humanos, de factores relacionados a desastres naturales, así como problemas energéticos y de recursos, seleccionando el tipo de metodología de terrenos directas e indirectas para describir fluidos y gases (temperatura, presión y composición).
CE3, CE4	RA3: Aplica metodologías petrológicas (termobarometría, estudio de las inclusiones vítreas/fluidas, instrumentación microanalítica) para la caracterización petrológica de los ambientes, considerando una visión micro y macroscópica de los cambios físicos y químicos de un sistema natural, en el contexto de una simulación de trabajo de terreno y el uso de datos de laboratorio.
CE3, CE4	RA4: Usa e interpreta datos de modelos sobre la composición de fluidos magmáticos, hidrotermal y geotermal, para tomar decisiones que permitan la resolución de problemas geológicos asociados a riesgos naturales, energía, geología económica y ambiental) en el contexto nacional (Chile) e internacional.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA5: Elabora, con su equipo, un reporte y una presentación oral sobre una problemática de carácter geológico, desde un análisis cuantitativo y cualitativo, para explicar de manera clara, coherente y precisa el diseño de una estrategia de gestión que favorezca la solución de problemas como riesgos naturales, energía, geología económica y ambiental.
CG4	RA6: Trabaja en una actividad de juego de roles donde diseña una estrategia de gestión para resolver problemas asociados a riesgos naturales, energía, geología económica y ambiental, considerando una planificación de la actividad, distribución de tareas, según requerimientos y objetivos del trabajo.

D. Unidades Temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA2, RA3	Reservorios-Origen de los fluidos terrestres	7 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>1.1. Ecuación de estado y propiedad del flujo (P-T- Reología).</p> <p>1.2. Transporte y control estructural.</p> <p>1.3. Reservorios terrestres, reología cortical.</p> <p>1.4. Geoquímica de Sistemas Hidrotermales.</p> <p>1.5. Tipos de aguas</p> <p>1.5.1. Aguas magmáticas.</p> <p>1.5.2. Aguas metamórficas.</p> <p>1.5.3. Aguas meteóricas.</p> <p>1.5.4. Aguas del mar.</p> <p>1.5.5. Aguas fósiles.</p> <p>1.6. Magmatismo.</p> <p>1.6.1. Trazado de fluidos mantélicos.</p> <p>1.6.2. Fusión parcial-cristalización: función de los fluidos.</p> <p>1.6.3. Inmiscibilidad en líquidos silicatados.</p> <p>1.6.4. Frontera magmatismo – hidrotermalismo.</p> <p>1.7. Metasomatismo y metamorfismo.</p> <p>1.7.1. Metamorfismo: ley de equilibrio/rol de los fluidos</p> <p>1.7.2. Micro mineralización y fluidos intersticiales</p> <p>1.7.3. Pirometasomatismo.</p> <p>1.8. Terreno sedimentario.</p> <p>1.8.1. Preservación gas-líquido en rocas sedimentarias.</p> <p>1.8.2. Evaporitas.</p> <p>1.8.3. Ciclo de hidrocarburos.</p> <p>1.9. Transporte de fluidos y concepto de reservorio.</p> <p>1.9.1. Geometría de reservorio.</p> <p>1.9.2. Cálculo de masas y flujos</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Compara modelos de circulación de fluidos a escala de ciclo geodinámico y tectónico, considerando sus limitaciones, la evolución de estos. 2. Caracteriza la mecánica y composición de los geofluidos, a partir de ejemplos que se le presentan (cálculos). 3. Analiza resultados de composición de aguas muestreadas en campañas de terreno y procesado en laboratorio, reconociendo su origen (magmáticas, metamórficas, meteóricas, del mar, etc). 4. Traza químicamente el origen de los fluidos en zonas de subducción (en Chile), considerando la firma química, el comportamiento de los elementos disueltos en líquidos entre la fuente, el sistema de transporte hasta los reservorios donde forman almacén o productos de mineralización. 5. Utiliza conceptos teóricos y datos de observaciones petrográficas sobre los procesos petrogenéticos para comprender cómo y dónde se producen los fluidos terrestres en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias considerando datos cuantitativos sobre las condiciones termodinámicas de formación las fases minerales en equilibrio. 6. Resuelve problemas asociados a fluidos, mantélicos y corticales, considerando los datos producidos por herramientas microanalíticas (inclusiones de fluidos y de fundidos) y por los cuales se debe determinar las condiciones de presión y temperatura del sistema. 7. Calcula flujos y transportes de masas entre reservorios terrestres a la escala de los terrenos tectónicos, considerando los modelos cuantitativos sobre los tiempos de residencia de elementos químicos en sistemas geodinámicos. 	

<p>1.9.3. Ciclo geodinámico de los volátiles (H₂O, C, S, etc.)</p> <p>1.9.4. Trazadores químicos universales: Tierras raras, isótopos radiogénicos/ isótopos estables/gases nobles/volátiles/hidrocarburos.</p>	<p>8. Sintetiza información extraída de artículos científicos sobre el comportamiento, composición y rol de los fluidos en el ciclo geodinámico.</p> <p>9. Trabaja en la resolución de un problema de carácter geocientífico, en el contexto de una simulación de una campaña de investigación científica incorporando conceptos teóricos sobre el origen y la caracterización de los fluidos terrestres en distintos ambientes geológicos presentes en Chile.</p>
<p>Bibliografía de la unidad</p>	<ol style="list-style-type: none"> Hurai, V., Huraiová, M., Slobodník, M., & Thomas, R. (2015). <i>Geofluids: developments in microthermometry, spectroscopy, thermodynamics, and stable isotopes</i>. Elsevier. Fyfe, W. S. (2012). <i>Fluids in the Earth's crust: Their significance in metamorphic, tectonic and chemical transport process</i> (Vol. 1). Elsevier. Yardley, B. W., Manning, C., & Garven, G. (Eds.). (2011). <i>Frontiers in geofluids</i>. John Wiley & Sons.

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA3, RA4, RA5, RA6	Aplicaciones en terreno y herramientas petrológicas	8 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Métodos muestreo directo-indirecto</p> <p>2.1.1 Monitoreo volcánico (gas-líquidos).</p> <p>2.1.2 Senso remoto in situ de fumarolas.</p> <p>2.1.3 Métodos analíticos en laboratorio</p> <p>2.1.4 Senso remoto indirecto (sensores electroquímicos, sensores UV/IR, geofísica).</p> <p>2.1.5 Análisis de componentes de la atmósfera.</p> <p>2.2. Caracterización del hidrotermalismo superficial.</p> <p>2.2.1. Estrategia de monitoreo (clasificación por ambiente pH).</p> <p>2.2.2. Instrumentación de terreno (multiparámetros, pH, resistividad, etc.)</p> <p>2.2.3. Métodos analíticos en laboratorio (cromatografía iónica, espectrometría de masa ICPMS-trazadores isotópicos).</p> <p>2.3. Aplicaciones en ciencias de la tierra.</p> <p>2.3.1. Técnicas de exploración y extracción de energía térmica.</p> <p>2.3.2. Condiciones de enriquecimiento para geología económica.</p> <p>2.3.3. Migración/reservorios de hidrocarburos.</p> <p>2.4. Metasomatismo y metamorfismo.</p> <p>2.4.1. Tasas de reacciones metamórficas</p> <p>2.4.2. Tasas de difusiones.</p> <p>2.4.3. Equilibrio mineral P-T vs. CO₂</p> <p>2.4.4. Rol del agua: deshidratación/hidratación.</p> <p>2.4.5. Fluidos producidos por sedimentos (pelitas/carbonatos).</p> <p>2.5. Magmatismo.</p> <p>2.5.1. Definición condiciones tampón (f_o, f_s)</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Distingue y analiza métodos de muestreo usados en terreno aplicables a problemas de ciencias de la tierra. 2. Usa datos químicos de muestreo directo-indirecto de gas y aguas emitidas en el sitio de descarga de sistemas hidrotermales en el contexto de situaciones simuladas o hipotéticas de riesgos volcánicos, exploración geotérmica, geología económica y ambiental. 3. Calcula condiciones termobarométricas de fluidos hidrotermales superficiales mediante la construcción de diagramas de componentes de gas, considerando datos químicos. 4. Calcula condiciones termobarométricas petrológicas y construye diagramas de componentes de gas considerando tanto medidas petrológicas (inclusiones de fluidos y de fundidos) como petroquímicas de fluidos preservados en las rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias y sistemas de mineralización a carácter económico. 5. Resuelve problema de exploración petrolíferos para determinar las condiciones térmicas de maduración de hidrocarburos fósiles y en proceso de formación. 6. Elabora un reporte donde trabaja en la resolución de un problema de carácter geocientífico, en el contexto de una simulación de caso de una campaña de medición donde se explicará la toma de decisiones respecto de la gestión de recursos minerales en función de su experiencia científica. 7. Sintetiza en un reporte breve los principales resultados de un trabajo práctico que incorpora conceptos, aplicaciones de gestión de datos sobre un sector de exploración geológica de la Cordillera Andina, así como un análisis crítico de la 	

<p>2.5.2. Termobarómetros Solido-Solido + Líquido. 2.5.3. Termobarómetros Líquido. 2.5.4. Métodos petrológicos para monitoreo. 2.6. Herramientas microanalíticas. 2.6.1. Inclusiones de Fundidos. 2.6.2. Inclusiones de Fluidos. 2.6.3. Instrumentación microanalítica (FTIR, Raman, SIMS, etc.). 2.6.4. Microtermometría. 2.6.5. Espectrometría de masa (isótopos estables).</p>	<p>importancia de estos estudios. para las áreas profesionales de las ciencias de la tierra. 8. Trabaja en la resolución de un problema de carácter geocientífico, en el contexto de una simulación o juego de roles incorporando el manejo conceptual de metodologías que entregan datos físico-químicos extraído de un sector conocido en Chile para la exploración mineral y geotermal.</p>
<p>Bibliografía de la unidad</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hurai, V., Huraiová, M., Slobodník, M., & Thomas, R. (2015). <i>Geofluids: developments in microthermometry, spectroscopy, thermodynamics, and stable isotopes</i>. Elsevier. 2. Fischer, T. P., & Chiodini, G. "Volcanic, magmatic and hydrothermal gases." In <i>The encyclopedia of volcanoes</i>, pp. 779-797. Academic Press, 2015. 3. Putirka, K. D., & Tepley III, F. J. Volume 69: Minerals, Inclusions And Volcanic Processes.

E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje

<p>El curso considera las siguientes estrategias de enseñanza:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cursos magistrales (1 hora en clase por semana) • Ejercicios supervisados semanales (30 min. en clase por semana) • Laboratorios con uso de microscopía electrónica óptica • Tiempo de consulta y revisión
--

F. Estrategias de evaluación:

<p>El curso podría considerar las siguientes estrategias de evaluación:</p>	
Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
<ul style="list-style-type: none"> • Ejercicios: Actividades supervisadas (taller de clases auxiliares). 	<p>Con esta actividad se evalúan los RA1, RA2, RA3, RA4</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Reporte semestral: trabajo práctico que sintetiza la aplicación de gestión de datos, el análisis crítico de lectura. 	<p>Con esta actividad se evalúan los R2, R3, R4, R5</p>

- | | |
|---|--------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Estudio de caso: presentación oral para demostrar y comunicar la resolución de un problema de gestión de territorio supervisado con integración de datos de terreno. | <p>Evalúa los R4, RA5, RA6</p> |
|---|--------------------------------|

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria:

- 1) Hurai, V., Huraiová, M., Slobodník, M., & Thomas, R. (2015). *Geofluids: developments in microthermometry, spectroscopy, thermodynamics, and stable isotopes*. Elsevier.
- 2) Fyfe, W. S. (2012). *Fluids in the Earth's crust: Their significance in metamorphic, tectonic and chemical transport process* (Vol. 1). Elsevier.
- 3) Fischer, T. P., & Chiodini, G. "Volcanic, magmatic and hydrothermal gases." In *The encyclopedia of volcanoes*, pp. 779-797. Academic Press, 2015.
- 4) Yardley, B. W., Manning, C., & Garven, G. (Eds.). (2011). *Frontiers in geofluids*. John Wiley & Sons.
- 5) Putirka, K. D., & Tepley III, F. J. Volume 69: Minerals, Inclusions And Volcanic Processes.

Bibliografía complementaria:

- 6) Aiuppa, A. (2015). *Volcanic-gas monitoring*. In *Volcanism and Global Environmental Change* (pp. 81-96). Cambridge University Press.
- 7) Bodnar, R. J., & Samson, I. (2003). Introduction to fluid inclusions. *Fluid inclusions: Analysis and interpretation*, 32, 1-8.
- 8) Cannatelli, C., Doherty, A. L., Esposito, R., Lima, A., & De Vivo, B. (2016). Understanding a volcano through a droplet: a melt inclusion approach. *Journal of Geochemical Exploration*, 171, 4-19.
- 9) Fischer, T. P., & Chiodini, G. "Volcanic, magmatic and hydrothermal gases." In *The encyclopedia of volcanoes*, pp. 779-797. Academic Press, 2015.
- 10) Frezzotti, M. L. (2001). Silicate-melt inclusions in magmatic rocks: applications to petrology. *Lithos*, 55(1-4), 273-299
- 11) Francis, P., Horrocks, L., & Oppenheimer, C. (2000). Monitoring gases from andesite volcanoes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 358(1770), 1567-1584.
- 12) Fyfe, W. S. (2012). *Fluids in the Earth's crust: Their significance in metamorphic, tectonic and chemical transport process* (Vol. 1). Elsevier.
- 13) Furbish, D. J. (1996). *Fluid physics in geology: An introduction to fluid motions on Earth's surface and within its crust*. Oxford University Press.
- 14) Giggenbach, W. F. (1996). Chemical composition of volcanic gases. In *Monitoring and mitigation of volcano hazards* (pp. 221-256). Springer, Berlin, Heidelberg.
- 15) Hurai, V., Huraiová, M., Slobodník, M., & Thomas, R. (2015). *Geofluids: developments in microthermometry, spectroscopy, thermodynamics, and stable isotopes*. Elsevier.

- 16) McCaffrey, K., Lonergan, L., Lonergan, L., & Wilkinson, J. (Eds.). (1999). *Fractures, fluid flow and mineralization*. Geological Society of London.
- 17) Mitra, S. (2004). *High pressure geochemistry & mineral physics: basics for planetology and geo-material science*. Elsevier.
- 18) Pasquale, V., Verdoya, M., & Chiozzi, P. (2014). *Geothermics: Heat flow in the lithosphere* (pp. 15-49). Heidelberg: Springer.
- 19) Perchuk, L. L. (Ed.). (2004). *Progress in Metamorphic and Magmatic Petrology: A Memorial Volume in Honour of DS Korzhinskiy*. Cambridge University Press.
- 20) Putirka, K. D., & Tepley III, F. J. Volume 69: *Minerals, Inclusions And Volcanic Processes*.
- 21) Roedder, E. (1984). Volume 12: Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America*.
- 22) Saccorotti, G., Iguchi, M., & Aiuppa, A. (2015). In situ Volcano monitoring: present and future. In *Volcanic Hazards, Risks and Disasters* (pp. 169-202). Elsevier.
- 23) Yardley, B. W., Manning, C., & Garven, G. (Eds.). (2011). *Frontiers in geofluids*. John Wiley & Sons.

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

Vigencia desde:	Otoño 2020
Elaborado por:	Philippe Robidoux
Validado por:	Ángelo Castruccio, jefe Docente
Revisado por:	Área de Gestión curricular