

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES Facultad: Ciencias Geológicas Carrera: Ingeniería Geológica
PLAN GLOBAL DE ASIGNATURA

1. Identificación. Se refiere al nombre de la asignatura, la sigla, la ubicación y requisitos previos a cumplir.
Nombre: Petrología Ígnea y Metamórfica Sigla: GLG 323 Ubicación: Sexto semestre Anual o semestral: semestral Carga horaria: 8 hrs/semana Créditos: Prerrequisitos: GLG 313 Petrografía Ígnea y Metamórfica y GLG 314 Tectónica Objetivo General de la asignatura: ☐ Proporcionar al estudiante una visión general de los procesos que intervienen en la formación de las rocas ígneas y metamórficas, y de la relación de estas rocas con la tectónica global y el medio ambiente. ☐ Suministrar destrezas y habilidades para procesar, analizar, e interpretar datos geoquímicos de roca total e isótopos, así como de parámetros intensivos (presión, temperatura, composición de fluidos) que permitan al estudiante valorar los fenómenos magmáticos y metamórficos y sus consecuencias en la formación de depósitos minerales tanto metálicos como no metálicos.

2. Justificación. Una explicación clara y precisa del contenido teórico y su vínculo con el perfil profesional, la pertinencia de la ubicación y sus proyecciones, estableciendo su nivel y profundidad (RMA 17).
Esta materia permite al estudiante conocer los procesos geológicos de ambiente profundo (manto, corteza inferior) que ocurren en el interior de nuestro planeta, y la manera en que éstos afectan a la superficie. Trata esencialmente de la transferencia de masa y energía desde el interior hacia la superficie del planeta. Por lo tanto, está muy relacionada con la tectónica de placas y con la evaluación de los riesgos y recursos no renovables que le son inherentemente asociados. La Petrología, junto con la Geofísica, son las dos únicas materias que proveen de información al estudiante sobre las características internas del planeta. Su ubicación cerca de la mitad del Plan de Estudios de la Carrera, es adecuada ya que, en este nivel, el estudiante ya tiene una noción de la estructura interna del planeta y de los procesos tectónicos que ocurren en la superficie. Por otra parte, una vez aprobada esta materia, el

alumno está capacitado para entender los procesos de formación de los depósitos minerales metálicos, y las características físicas y químicas de las rocas ígneas y metamórficas.

3. **Competencias.** Cada una de las asignaturas deben contemplar de manera clara las competencias curriculares, en sus componentes cognitivos, actitudinales y procedimentales (saber, saber ser y saber hacer).

Conocimientos:

- Reconoce las series magmáticas y las relaciona a un ambiente tectónico específico
- Conoce los modelos petrogenéticos generales propuestos para cada ambiente tectónico
- Conoce los diferentes tipos de metamorfismo, los conceptos de grado metamórfico, facies, y sus implicaciones en términos de presión-temperatura

Valores

- Durante el desarrollo de la materia, se hace énfasis en la valoración del comportamiento ético y honesto como norma general en la relación docente - estudiante
- Se cultiva permanentemente el concepto de preservación del medio ambiente
- Se inculca los valores de responsabilidad social y sentido crítico

Habilidades y destrezas

- Procesa datos geoquímicos de rocas ígneas en diagramas de clasificación, variación, espectros de Tierras Raras, de discriminación, spiders, etc., con ayuda de software apropiado
- Interpreta diagramas isobáricos binarios y ternarios, diagramas de Presión-Temperatura, y Temperatura-Composición de fluidos
- Puede representar paragénesis metamórficas en los diagramas ACF, A'KF, y AFM y relacionarlas a parámetros de Presión –Temperatura y grado metamórfico

Carga horaria semanal de la asignatura. Corresponden a 45 horas semanales

Trabajo docente										
TRABAJO DOCENTE EN AULA, LABORATORIO, TALLER O EN ÁMBITOS EXTERNOS				ACTIVIDADES DE LOS ESTUDIANTES EVALUADAS Y DE SEGUIMIENTO PERMANENTE POR EL DOCENTE						
CLASES TEÓRICAS	CLASES TEÓRICO - PRÁCTICAS	CLASES PRÁCTICAS	TOTAL	INVESTIGACIÓN.	TRABAJO PRÁCTICO EN CASA	TRABAJO DE CAMPO	EXP	LAB	OTRAS	TOT
4		4	8	2	2					12

4. **Contenidos.** Los contenidos temáticos deben estar estructurados de manera lógica y coherente, de tal manera que se logren los objetivos de las asignaturas, la selección tiene que ser coordinada con el resto de las asignaturas del ciclo o nivel tratando de evitar la repetición de contenidos (RMA 19).

La asignatura está organizada en 7 partes que van conduciendo al estudiante a un conocimiento gradualmente más complejo de la materia. Cada parte tiene, usualmente, un componente descriptivo y otro interpretativo cuyo fin es que el estudiante aprenda, en primer lugar, a describir con precisión objetos y procesos, y luego a interpretarlos. Las partes son:

Parte I: Delimita el alcance de la materia y describe las capas del planeta directamente relacionadas con el magmatismo y el metamorfismo

Parte II: Relaciona el magmatismo con su entorno geológico

Parte III: Clasifica las rocas magmáticas desde un punto de vista físico y desde un punto de vista geoquímico

Parte IV: Describe e interpreta los procesos petrológicos de generación y diversificación magmática

Parte V: Relaciona el metamorfismo y las texturas metamórficas con las presiones, temperaturas, y presencia de fluidos del ambiente en el que se forman

Parte VI: Describe los procesos que intervienen en los diversos tipos del metamorfismo local y del metamorfismo orogénico

Parte VII: Relaciona al metamorfismo con el espacio y el tiempo

Contenidos analíticos

Unidades didácticas	Contenidos	Actividades	Tiempo estimado
Parte I Introducción General	1. INTRODUCCION Petrología - Definición - Petrología endógena y exógena - Historia resumida - Petrografía y petrogénesis - Ciencias auxiliares de la petrología: mineralogía, geoquímica, fisicoquímica. 2. ESTRUCTURA DEL MANTO Y LA CORTEZA La estructura y composición de la corteza oceánica - densidades y espesores característicos - La corteza continental tipo y su composición - Las densidades de sus capas - La estructura y composición del manto - Litósfera y astenósfera - Los dos grandes reservorios mantélicos: El manto empobrecido y el manto primordial - El manto litosférico estratificado - Las facies mineralógicas del manto anhidro - Las facies mineralógicas del manto metasomatizado subcontinental.	●Dinámica con los Alumnos: Repaso de conceptos de Petrografía y Tectónica. ●Lecturas complementarias.	8 horas

	❖		
Parte II Magmas, magmatismo, y ambiente geológico	1. INTRODUCCIÓN AL MAGMATISMO Magma - Definición - Estructura de los líquidos silicatados - Magmas especiales: magmas carbonatíticos y lavas de azufre - Propiedades de los magmas - Temperatura: solidus y liquidus - Densidad - Viscosidad - Composición petrográfica y química: Norma y moda - El análisis químico de roca total - Elementos volátiles. 2. RELACIÓN DEL MAGMATISMO CON EL AMBIENTE GEOLÓGICO Ambientes tectónicos donde ocurre magmatismo - Dorsales mediooceánicas lentas y rápidas - Zonas de subducción: Los arcos de islas y los márgenes continentales activos – Las cuencas de trasarco - Las zonas de colisión continental: Cadenas liminares y de colisión inercontinental - Los ambientes de intraplaca: Los rifts continentales y las islas oceánicas - Las series magmáticas características de cada ambiente - Volúmenes relativos de producción de magmas en cada ambiente - El ciclo de Wilson. 3. SISTEMA MAGMÁTICO Contribución del magmatismo a la corteza y al registro estratigráfico - Sistema magmático y sus zonas de formación, desprendimiento y ascenso, almacenamiento y diferenciación de magmas - Mecanismos de ascenso del magma en el manto y la corteza inferior plásticos - mecanismos de ascenso en la corteza superior frágil.	●Exposición magistral de los temas en aula ●Dinámica con los alumnos: Recapitulación de los temas expuestos ●Lecturas complementarias	16 horas
Parte III Características físicas y químicas de las rocas ígneas	1. ROCAS ÍGNEAS Rocas plutónicas usualmente holocristalinas y rocas subvolcánicas y volcánicas usualmente porfídicas - Intrusivos: clasificaciones según su composición, según su relación con la roca encajonante, según el mecanismo de intrusión - Intrusiones máficas: diques y sills, cone sheets, ring dikes, intrusiones en forma de embudo, diatremas o pipes, lopolitos - Intrusiones félsicas: Lacolitos, complejos concéntricos, plugs o tapones,		16 horas

	stocks, batolitos - Volcanismo: Los cinco tipos clásicos de actividad volcánica - Rocas volcánicas: flujos de lava y su clasificación, tobas de flujo y de caída, depósitos freatomagmáticos - Columna eruptiva - Edificios volcánicos: Conos volcánicos, domos, calderas, conos piroclásticos. 2. GEOQUÍMICA DE LAS ROCAS MAGMÁTICAS Análisis químicos de roca total: Elementos mayoritarios y elementos traza - Clasificación composicional de los magmas - Acidez y basicidad - Saturación y subsaturación en SiO₂ - Índice de aluminosidad - Clasificación de los elementos traza: Los LILE y los HFSE, los REE - Diagramas de clasificación - Diagramas de variación - Coeficientes de partición - Diagramas multielementales o spider. Series magmáticas - Concepto - Series toleítica, calcoalcalina, calcoalcalina rica en potasio, alcalina, shoshonítica - Rocas ultraalcalinas: Lamprófiro, Kimberlitas, y carbonatitas - Rocas peraluminosas - Asociaciones especiales del Precámbrico - Diagramas de discriminación tectónica - El método de Irvine y Baragar - Diagramas de discriminación basados en elementos traza - Aplicación de la geoquímica isotópica a la petrología: Datación de rocas y trazadores geoquímicos - Sistemas de datación radiométrica - El método Rb-Sr y la necesidad de la isocrona - los métodos K-Ar y Ar-Ar, sus ventajas y limitaciones - La curva concordia y la recta discordia del método U-Pb - Trazadores isotópicos - Principios - La razón isotópica inicial - BABI y el modelo de referencia - El par Rb-Sr - El par Sm-Nd.	● Exposición magistral de los temas en aula ● Dinámica con los alumnos: Recapitulación de los temas expuestos ● Lecturas complementarias	
Parte IV Procesos petrológicos de generación y	1. PETROLOGÍA EXPERIMENTAL Introducción a la petrología experimental - Los procesos de fusión y cristalización en los diagramas temperatura-composición - Fusión congruente o de equilibrio eutéctico	● Dinámica con los alumnos: Repaso de conceptos de termodinámica	16 horas

diversificación magmática	- Fusión incongruente o de equilibrio peritético - Solución sólida - Sistemas ternarios – Las curvas cotecticas y peritecticas - Influencia del agua en los procesos de fusión y cristalización: Solidus seco y solidus húmedo - Influencia de la presión en los sistemas magmáticos 2. PROCESOS DE FUSIÓN Y DIFERENCIACIÓN Definición: Fusión parcial y Anatexia - El sistema fundido-sólido residual - Fusión en equilibrio y fusión fraccionada - Fusión parcial del manto - Las etapas de la fusión en seco - los grados de fusión parcial del manto y la generación de magmas alcalinos, toleíticos, y komatíticos - Fusión parcial del manto en presencia de fluidos - Los experimentos de Mysen y Boettcher y la generación de diversos tipos de magmas alcalinos, kimberlitas, y carbonatitas - Anatexia de la corteza continental - migmatitas y su estructura - Los trabajos experimentales de Winkler y Von Platen sobre los mecanismos de la anatexia - Las restitas - Procesos de evolución magmática - Cristalización fraccionada: Procesos de separación fundido-cristales -Inmiscibilidad líquida - Fraccionamiento líquido - Contaminación - El proceso AFC y el Refinamiento de zona - Mezcla de magmas. 3. PETROGÉNESIS Modelos de generación de magmas en los diversos ambientes tectónicos - Formación de magmas en las dorsales medioceánicas: Fusión en seco del manto superior - MORB y ORG - Magmatismo en las zonas de subducción: características - Los modelos de Wyllie y la fusión en presencia de fluidos de la cuña del manto - Génesis de los magmas de intraplaca: Aportes del manto inferior y superior - OIB y CFB - Modelos petrogenéticos - Magmatismo en zonas de colisión: magmas peraluminosos - Granitoides del tipo S en contraste con los del tipo I - La asociación PTG -Modelos de generación de estos magmas.	●Exposición magistral ●Trabajo en equipo para resolución de problemas en clase ● Lecturas complementarias	
---	---	---	--

Parte V Introducción al metamorfismo	1. INTRODUCCIÓN AL METAMORFISMO Metamorfismo: Definición - Los límites de estabilidad del metamorfismo: Diagénesis y anatexia - Objeto del estudio de las rocas metamórficas - Protolito y fase metamórfica - Concepto de metamorfismo regional y metamorfismo local - Tipos de metamorfismo: Metamorfismo regional – Metamorfismo del piso del océano - El metamorfismo de contacto - El metamorfismo de impacto – Dinamometamorfismo 2. ROCAS METAMÓRFICAS Y TEXTURAS METAMÓRFICAS Cambios inducidos en las rocas por la intensidad del metamorfismo: Cambios texturales: Aumento del tamaño de grano, orientación de los cristales, segregación - Cambios mineralógicos: El concepto de zona metamórfica de Grunbenmann: Epizona, Mesozona, y Catazona - Las cuatro etapas metamórficas de Winkler: La de muy débil, débil, mediano, y fuerte metamorfismo - Composición química de los protolitos – Estructura de las rocas metamórficas – Clasificación y nomenclatura – Composición mineral y paragénesis mineral – Representación gráfica de la composición mineral de las rocas metamórficas – Las proyecciones AFM y ACF - Tipos de reacciones metamórficas – Cambios de temperatura y reacciones metamórficas – Cambios de presión y sus efectos en las rocas metamórficas.	● Exposición magistral de los temas en aula ● Dinámica con los alumnos: Recapitulación de los temas expuestos ● Resolución de problemas clásicos	8 horas
Parte VI Tipos de metamorfismo	1. METAMORFISMO LOCAL Metamorfismo de contacto - Ocurrencia - Características de los afloramientos - Paragénesis mineral - Corneanas con albíta y epidota - Corneanas con hornblenda - Corneanas con piroxeno - Reacciones metamórficas - Gradientes geotérmicos necesarios para su ocurrencia.		12 horas

	Dinamometamorfismo - Ocurrencia - Textura de las milonitas y tectonitas - Brecha tectónica -Filonita - Pseudotaquilita. Metamorfismo de impacto - Concepto de astroblema - Características de campo - Los shatter cones y brechas - Minerales de alta presión - Algunos ejemplos. 2. METAMORFISMO REGIONAL Fajas metamórficas regionales - Distribución - Las isogradas limitantes de cada etapa - Los terrenos metamórficos y su cartografía - Los minerales índice y las zonas metamórficas - Isogradas positivas y negativas - Ejemplos de regiones metamórficas – las zonas barrobianas y las de Buchan - Facies del metamorfismo regional - El concepto de equilibrio metamórfico y de facies metamórfica - Las facies metamórficas de Eskola en el diagrama P-T - Los gradientes geotérmicos - La facies de prehnita-pumpellyita: isogradas y paragénesis - La facies de esquistos azules - Los esquistos verdes - Anfibolitas - La ocurrencia de eclogitas - Granulitas - Representación gráfica de las facies: Los diagramas ACF para metabasaltos y AKF para metapelitas - La rejilla petrogenética.	● Exposición magistral de los temas en aula ●Dinámica con los alumnos: Recapitulación de los temas expuestos ●Resolución de problemas clásicos ●Lecturas complementarias	
Parte VII El Metamorfismo en el espacio y en el tiempo	1. LAS FAJAS METAMÓRFICAS EN EL ESPACIO Y EN EL TIEMPO Desequilibrios mineralógicos - Minerales pre-tectónicos, sin-tectónicos, y post-tectónicos - Los bucles de presión-temperatura-tiempo - El concepto de pico del metamorfismo - Condiciones para el retrometamorfismo - Facies metamórficas múltiples - Aplicación de los conceptos de discordancia estratigráfica, discordancia estructural, y discordancia mineralógica. Metamorfismo y tectónica de placas: Los flujos de calor en los diferentes ambientes geotectónicos -Consecuencias - Las series de facies de Miyashiro: El tipo Ryoke-Abukuma - El tipo Buchan - El tipo	●Exposición magistral de los temas en aula ●Dinámica con los alumnos: Recapitulación de los temas expuestos ●Lecturas complementarias	4 horas

	Barrow - El tipo intermedio de alta presión - El tipo Sambagawa - Las fajas metamórficas apareadas y su significado tectónico.		
Prácticas Petrología Ígnea	1. Cálculos litogeoquímicos 2. Composición virtual CIPW 3. Clasificación rocas volcánicas TAS 4. Clasificación Streckeisen, R1R2 5. Metodología Debon y Le Fort 6. Metodología Irvine y Baragar 7. Línea de descenso líquido 8. Densidad y viscosidad 9. Diagramas isobáricos binarios 10. Diagramas isobáricos ternarios	Resolución de problemas con óxidos mayoritarios Clasificación química de rocas ígneas Clasificación con implicación genética de rocas ígneas Interpretación de diagramas de variación Cálculo de la densidad y viscosidad a partir de la composición Evolución isobárica de los magmas	
Prácticas Petrología Metamórfica	11. Sistemas metamórficos 12. Paragénesis metamórfica 13. Rejilla petrogenética rocas metapelíticas	Construcción de diagramas MSH Y FASH, y del diagrama ACF Ejercicios en la grilla petrogenética	

5. Métodos. Se refiere fundamentalmente al diseño de una estrategia metodológica de enseñanza – aprendizaje, que tiene que estar incorporada dentro del plan de todas las asignaturas, que además contemple la utilización de recursos didácticos apropiados que faciliten el proceso (RMA 20).

La Petrología es una materia fundamental de la Geología, por lo tanto, es importante que el estudiante capte correctamente los conceptos que se imparten en clases. Uno de los problemas de la enseñanza de esta materia es que las presiones y temperaturas a las que se desarrollan los procesos petrológicos no son fáciles de captar; para superar esta dificultad, se hace uso constante de diagramas Presión-Temperatura en los que se trata de graficar los efectos de estos parámetros en las rocas y magmas. Otra dificultad es concebir las diferentes densidades y viscosidades de los magmas y su influencia en los procesos petrológicos, los que se pueden comprender mediante experimentos con sustancias caseras. Un énfasis especial, se hace en el uso de diagramas diseñados para la interpretación de análisis químicos de roca total, sea de clasificación, discriminación, y otros, y diferentes grillas petrogenéticas para las rocas metamórficas.

Condiciones de operación

Espacio: Salón de clases. Todas las clases son presenciales

Material de uso habitual: Proyector data show, computadora, pizarra, software GCDkit para procesamiento de datos geoquímicos

6. Evaluación

El plan global de asignatura debe tener claramente establecida la ponderación de las pruebas, de acuerdo a las actividades realizadas por los estudiantes, así como de las pruebas parciales y finales. (RMA 21)

6.1 Evaluación diagnóstica

La evaluación diagnóstica en la materia es continua, y se la realiza mediante preguntas en clase cada vez que se va a comenzar a desarrollar un nuevo tema. Para la correcta comprensión de los conceptos petrológicos, es necesario que el estudiante tenga claro conceptos de mineralogía, cristalografía, petrografía, tectónica y otros que le fueron impartidos en cursos inferiores. La pregunta va siempre dirigida al grupo, y si en el grupo nadie puede responder adecuadamente, entonces la pregunta se convierte en un tema de investigación.

6.2 Evaluación formativa

ACTIVIDAD	INSTRUMENTO / PROCEDIMIENTO	PUNTAJE
Participación en clase	Preguntas teóricas o planteamiento de problemas en aula	2
Exámenes teóricos	Exámenes escritos en aula	35
Exámenes prácticos	Exámenes escritos con resolución de problemas	15
Trabajo práctico en aula	Ejercicios realizados en aula en las clases de la parte práctica	15
Trabajo práctico extra aula	Ejercicios prácticos realizados en domicilio	10
Trabajo de investigación	Trabajos de investigación bibliográfica	3

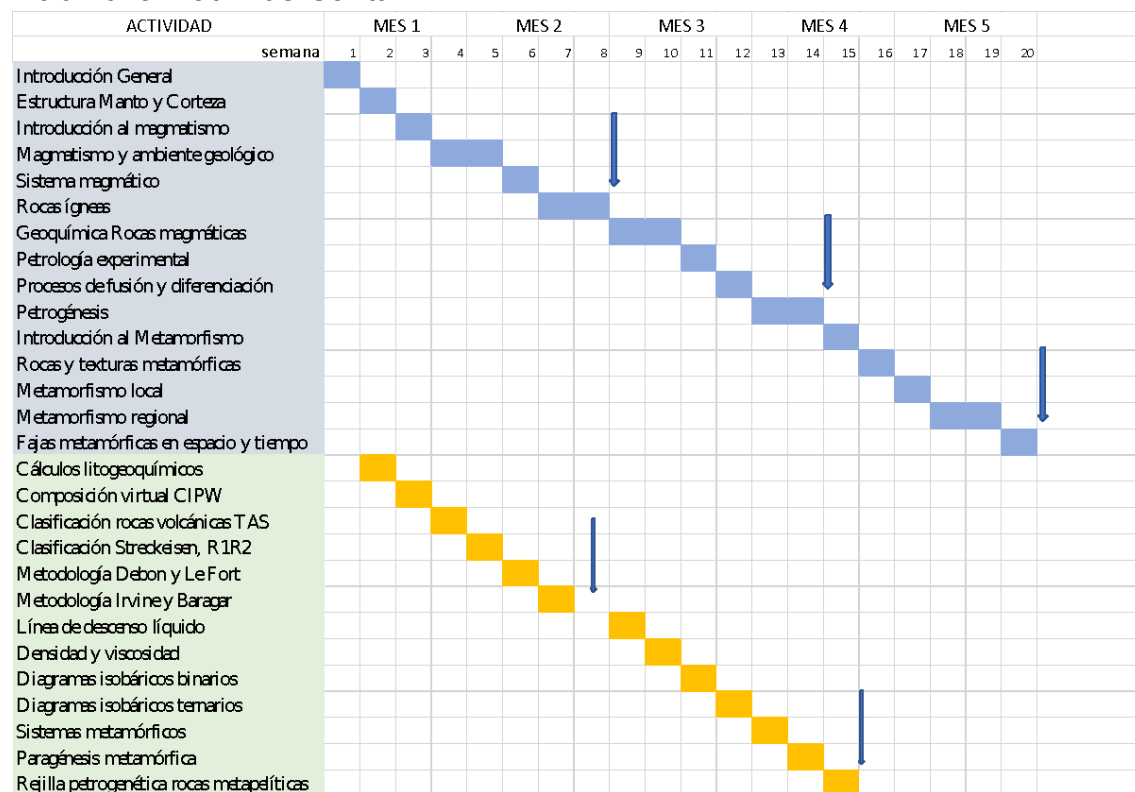
6.2 Evaluación sumativa

EVALUACION TEORICA	INSTRUMENTO / PROCEDIMIENTO	Nº	PUNTAJE
Pruebas Parciales	Exámenes teóricos	3	40
Práctica	Trabajos prácticos	13	20
Pruebas prácticas parciales	Exámenes prácticos	2	15

Investigación y participación	Informes y participación en aula	5	5
Prueba Final	Examen teórico	1	20

7. **Cronograma.** El plan global de la asignatura debe incorporar necesariamente la dimensión del tiempo, el desarrollo del contenido temático debe ser distribuido de tal manera que su desarrollo no conlleve descompensaciones, es decir que no se concentre las actividades en ciertos períodos.

Incluir una matriz de Gantt



8. **Bibliografía.** Debe presentarse una lista de libros básicos de consulta, que establezca el nivel del contenido de la asignatura, más una lista de libros de consulta, revistas y artículos, los mismos que tienen que estar al alcance de los estudiantes (RMA 22). Asimismo se deben incluir direcciones de repositorios virtuales.

Philpotts, A. R., 1990. *Principles of igneous and metamorphic petrology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 498 p.

Best, M.G., 1982. *Igneous and metamorphic Petrology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 630 p.

Hall, A., 1996. *Igneous Petrology*. Pearson Education Lmted. Prentice Hall (2nd. Edition), England, 551 p.

Bucher, K., y Frey, M., 2002. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 341 p.

Bonin, B., 1995. *Péetrologie Endogène*. Dunod, collection "Géosciences", Paris, 336 p.

Gill, R., 2010. *Igneous Rocks and Processes. A Practical Guide*. Wiley-Blackwell, UK, 428 p.

Aubouin, J., Brousse, R., y Lehman, J.P., 1975. *Précis de géologie 1: Pétrologie*. Dunod Université, Paris, 717 p.

Tyrrel, G.W., 1960. *Principios de Petrología*. Compañía Editorial Continental S.A., México, 369 p.

Nougier, P., 1993. *Structure et évolution du globe terrestre*. Ellipses, Paris, 160 p.

Rollinson, H., 1993. *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation*. Longman Group Ltd., Longman Singapore Publishers, 352 p.

Vidal, P., 1994. *Géochimie*. Dunod, collection "Géosciences", Paris, 190 p.

Deer, W.A., Howie, R.A., y Zussman, J., 1966. *An introduction to the rock forming minerals*. Longman Group Ltd., London, 528 p.

Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis: A global tectonic approach*. Chapman & Hall, London, 466 p.

Carmichel, I.S.E., Turner, F.J., y Verhoogen, J., 1974. *Igneous Petrology*. McGraw-Hill, New York, 739 p.

Thorpe, R.S., (ed), 1982. *Andesites: Orogenic andesites and related rocks*. Wiley, Chichester, 697 p.

Larouzière, F.D., 1989. *Dictionnaire des roches d'origine magmatique*. BRGM, manuels & methodes N° 20, Orléans, 188 p.

Miyashiro, A., 1973. *Metamorphism and metamorphic belts*. John Wiley and sons, New York, 479 p.

Ernst, W.G. (ed), 1975. *Metamorphism and plate tectonic regimes*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, 440 p.

Frankel, C., 1993. *Les volcans du système solaire*. Armand Colin éditeur, Paris, 294 p.

Cass, R.A.F., y Wright, J.V., 1987. *Volcanic successions*. Unwin Hyman, London, 528 p.

McPhie, J., Doyle, M., y Allen, R., 1993. *Volcanic textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania, Australia, 196 p.

Williams, H., y McBirney, 1979. *Volcanology*. Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 391 p.

Francis, P., 2000. *Volcanoes: A planetary perspective*. Clarendon Press, Hong Kong, 443 p.

Bardintzeff, J.M., 2011. *Volcanologie*. Dunod Paris, 4^e édition, Paris, 313 p.