



Departamento de Ciencias Geológicas
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

FUNDAMENTOS DE LA DINÁMICA DEL SISTEMA TIERRA

Carrera: Licenciatura en Ciencias Geológicas

Carácter: Optativa

Cuatrimestre/Bimestre: 2^{do} cuatrimestre

Frecuencia de dictado: -

Profesores

Dr. Andrés Folguera (*andresfolguera2@yahoo.com.ar*)

Dra. Silvia Romero (*sroceano@apexar.com*)

Dr. Augusto Rapalini (*rapalini@gl.fcen.uba.ar*)

Dra. Moira Doyle (*doyle@cima.fcen.uba.ar*)

Graciela Alicia González (*graciela@qi.fcen.uba.ar*)

Universidad de Buenos Aires - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales -
Departamento de Ciencias Geológicas

Int. Güiraldes 2620 - Ciudad Universitaria - Pab. II, 1º Piso - CPA: 1428EHA,
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

☎: (011) 5285-8248/9 - ✉: geologia@gl.fcen.uba.ar -

<http://www.gl.fcen.uba.ar/>



Fundamentos de la dinámica del Sistema Tierra

Esta propuesta de materia explora la dinámica del sistema Tierra a través de la descripción de una serie de introducciones generales a la dinámica del núcleo terrestre, la dinámica litosférica, la dinámica de los océanos, la atmósfera y la vida con capacidad fotosintética en la misma. Además, analiza las interacciones entre estos compartimentos, en particular, entre el campo magnético, dinámica y química de los océanos, tectónica, vida, meteorización, clima. De esta manera, la materia pretende aportar una mirada conjunta de los procesos exógenos y endógenos, dictada por docentes investigadores especializados en estos campos, dirigida a alumnos avanzados y/o de postgrado.

En términos generales, la materia parte de la descripción de la dinámica del núcleo externo y la generación de un campo magnético que protege de la acción erosiva del viento solar a la atmósfera e hidrosfera. El océano en este sistema cumple un rol fundamental en el sistema climático o sistema terrestre. Su gran capacidad de almacenar calor y luego redistribuirlo, es clave para conservar la temperatura media de la tierra. La circulación oceánica global, actúa como una gran cinta transportadora de calor y sal que conecta diferentes regiones del planeta e interviene en los patrones climáticos. Sin embargo, la actividad humana está alterando este delicado equilibrio. El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a partir de la era industrial, principalmente de dióxido de carbono (CO₂), está intensificando el efecto invernadero natural, atrapando más calor en la atmósfera y también en los océanos. Como consecuencia, se están observando temperaturas oceánicas y niveles del mar en aumento sumados a la acidificación del océano, reflejo del impacto del cambio climático y del calentamiento global. La tectónica de placas surge como mecanismo superficial de disipación del calor interno del planeta, producido en sus etapas tempranas por la acreción del núcleo terrestre y luego a través de su evolución por el decaimiento radiogénico de elementos radioactivos. Para su desarrollo la tectónica de placas involucra mineralogías hidratadas de los minerales que forman el manto terrestre, sin las cuales el desplazamiento de placas litosféricas y su reciclado en el manto no son posibles. A esta hidratación contribuye el reciclado profundo del agua marina a través de la penetración de los fondos marinos en el manto terrestre. El magmatismo, que refleja inestabilidades por cambios de presión y aditamento de volátiles, está asociado a esta dinámica litosférica definiendo el ciclo de circulación de gases profundos, en particular aquel asociado a los gases de efecto invernadero y por ende aquel asociado a variabilidad climática. Por otro lado, las variaciones del nivel del mar, asociadas a las velocidades de expansión de fondos oceánicos y/o glaciaciones y deglaciaciones de masas continentales provocan la descompresión o compresión de los sistemas magmáticos provocando la variación en la emisión de gases profundos a la atmósfera. El levantamiento y exhumación de montañas y la erupción de grandes volúmenes de material volcánico aumenta las reacciones superficiales a través de interacción directa roca/atmósfera y a través de ciclos de edafización, que deprimen a la atmósfera en estos gases. Corrientes oceánicas, congelamiento total o parcial de masas continentales, se asocian a cambios paleogeográficos impuestos por la tectónica de placas y/o cambios químicos y/o capturas de CO₂ por parte de vida planctónica asociada a fertilización de océanos por erosión de montañas asociadas a colisiones entre placas tectónicas. Ciertas inhomogeneidades en la distribución de masas durante la deriva continental producen el desplazamiento de anomalías topográficas hacia sectores de bajas latitudes gatillando ciclos de meteorización en climas subtropicales y captura de CO₂ (*true polar wandering*), por nombrar algunas interacciones generales.

La materia propuesta atraviesa Departamentos de la FCEyN de la UBA, con el objeto de llegar a estudiantes avanzados de Grado y Postgrado de las distintas carreras que se dictan en la misma,

con el objeto de proveer visiones generales de la dinámica de la Tierra y las distintas interacciones existentes. Profesores e Investigadores de la FCEyN UBA y Conicet contribuyen a su dictado: Andrés Folguera (Departamento de Geología). Tectónica de placas y su relación con variabilidad climática y química oceánica. Silvia Romero, Ornella Silvestri y Carolina Kahl (Departamento de Oceanografía). Dinámica y química oceánica. Augusto Rapalini (Departamento de Geología). Dinámica del núcleo y campo magnético terrestre. Moira Doyle (Departamento de Atmósfera). Dinámica atmosférica y paleoclimas. Nicolás Cosentino. Interacción de polvo mineral y variabilidad climática. Federico Ibarbalz. Relación entre fitoplancton y variación composicional océanos/atmósfera. Graciela Alicia González (Departamento de Química).

Programa desarrollado de la materia que se propone:

Introducción a los Sistemas Terrestres. Componentes del sistema climático. La atmósfera y su estructura vertical. Radiación y clima. Balance de energía. Origen del agua oceánica. Comienzo de la tectónica de placas; interacción hidrosfera y tectónica. Pérdida de la tectónica en otros cuerpos del sistema solar y persistencia en la Tierra y su rol en el resguardo de la atmósfera. Oxigenación de la atmósfera debido al desarrollo de tectónica. Relación entre el campo magnético e hidrosfera y tectónica.

El núcleo terrestre. Estructura, composición y propiedades. Modelos sobre su origen y evolución. Núcleo interno y núcleo externo: relaciones y propiedades. Edad del núcleo interno: hipótesis e incertezas. Estructura y dinámica del núcleo interno. Relaciones manto-núcleo. Capas D' y E'. El núcleo y el campo magnético terrestre. Convección térmica y composicional. Edad y origen del campo. Modelo de la geodinamo. Historia del campo magnético terrestre y sus variaciones. El manto terrestre y el campo magnético. El campo magnético y su influencia en la atmósfera y biósfera. Hipótesis e incertezas. Sistema Tierra-Luna. Dinámica. Rotación terrestre. Variación de la rotación a escala geológica. Influencias en los distintos sistemas terrestres. Variaciones orbitales de la Tierra. Su influencia en los sistemas terrestres. Ciclos de Milankovitch. Evolución de los sistemas terrestres desde el Hadeano al presente.

Dinámicas litosférica y sublitosférica. Tomografías sísmicas del manto terrestre. Variaciones de velocidad de las ondas sísmicas dentro del interior terrestre en respuesta a estratificación mineralógica del manto. Destino de los fondos marinos en el manto profundo. Reservorios de agua, corteza oceánica y sedimentos en el manto. Origen de plumas. Terremotos como síntoma de la dinámica litosférica y su relación con el clima. Sistemas de rifts y márgenes pasivos. Placas tectónicas; origen de las fuerzas que las motorizan. Nacimiento de una zona de subducción. Cierre de océanos y zonas de colisión. Zonas de subducción asociadas a extensión y zonas asociadas a montañas. Magmatismo en arcos y en zonas de intraplaca; interacción de fondos de océanos y reservorios de agua profundos con rocas en el manto. Mineralización, fertilización del manto, interacción hidrosfera y sistemas magmáticos.

Dinámica atmosférica. Movimiento atmosférico. Presión y viento. Movimiento horizontal. Sistemas de baja y alta presión. Circulación General de la Atmósfera. Campos medios de presión, temperatura y viento. Sistemas monzónicos. Eventos El Niño-Oscilación del Sur. Modo Anular del Sur, circulación Pacific-South America, onda circumpolar antártica y la oscilación semianual. Estudio del clima pasado. Fuentes de información paleoclimática. Proxy datos: registros de hielo, sedimentos de lagos, anillos de árboles y testigos oceánicos. Palinología. Otros *proxies*, datos. Simulaciones paleoclimáticas con Modelos: del modelo unidimensional al modelo de Circulación General Atmósfera-Océano. Ejemplo de circulación monzónica en el pasado. Evolución de los vientos del oeste en altas latitudes del hemisferio sur. Reconstrucción histórica de eventos El

Niño-Oscilación del Sur, Modo Anular del Sur y Oscilación Semianual. Relación con el clima futuro.

Dinámica oceánica y su rol en el clima global. Razones por las cuales el océano es un gran regulador del clima regional y global. Balance de radiación en el Sistema Terrestre. Circulación oceánica. Indicios reales de calentamiento en el océano superficial y profundo. Atlántico Sudoccidental como pieza clave en el rompecabezas del clima global. Ecosistema de la plataforma y el talud Patagónicos. Balance de CO₂ y en la dinámica de los ciclos biogeoquímicos. Discusión sobre las consecuencias futuras del calentamiento oceánico, en los patrones climáticos atmosféricos y oceánicos. Efectos en la biodiversidad marina y eventos climáticos extremos. Importancia de los océanos en el sistema climático. Estudio y monitoreo para comprender y mitigar los efectos del cambio climático. Balance de radiación. Circulación oceánica (superficial y profunda-MOC). Indicios de calentamiento (en el océano actual).

Equilibrios para compuestos químicos entre medio acuoso y suelos. Interacción sedimento-agua, procesos de precipitación, disolución y adsorción, influencia del pH. Partículas en aguas naturales, interacciones con cationes y aniones. Cationes y ligandos en medios acuosos naturales. Especiación. Mecanismos de regulación de la composición de las aguas naturales. Mecanismos físico-químicos que influyen en el transporte de metales. Reacciones REDOX y Potencial de óxido-reducción en medios naturales.

Interacción entre el polvo mineral y el clima ¿Qué son los aerosoles de polvo mineral? El ciclo del polvo: emisión en los desiertos, transporte en la atmósfera y depositación. Controles climáticos del ciclo del polvo. Impacto del polvo en el clima. Ciclo del polvo en el presente: principales zonas fuente, caminos del transporte atmosférico y zonas de depositación. Variabilidad de las interacciones polvo-clima a escala geológica, glacial-interglacial, desde el periodo pre-industrial (últimos 150 años), durante las últimas décadas y estacional. Proyecciones futuras. Métodos de estudio del polvo. Principales incertidumbres.

El compartimento vivo del sistema tierra. El surgimiento de la vida en el planeta Tierra tuvo un impacto en sus condiciones geoquímicas, especialmente con el surgimiento de la capacidad fotosintética. Desde su origen, la capacidad fotosintética fue distribuida y modificada en diferentes linajes por medio de transferencia horizontal de genes y eventos de endosimbiosis, lo que permitió que el planeta sea poblado por diversos seres fotosintéticos terrestres y marinos que alteraron stocks y flujos biogeoquímicos.

Tectónica y su relación con la evolución del clima y la vida. Cambios paleogeográficos impuestos por la tectónica y cambios climáticos; el congelamiento de los polos en los últimos 27 Ma. El ciclo del CO₂ y la subducción de carbonatos. Fijación de calcita y aragonita y ciclos de *geenhouse/icehouse*. *Large Igneous Provinces*, clima y extinciones. Mecanismos de regulación de alza de temperaturas por liberación de CO₂ a través de alteración de rocas. *True polar wander* y desplazamiento de anomalías de masas a plano tropical y alteración en climas tropicales. Efectos de bolas de hielo. Liberación de metano en dorsales lentas e hiperlentas. Ciclos supercontinentales, proliferación de arcos magmáticos y sistemas de rifts y clima. Orogénesis, edafización diversificación de vida a través de creación de nichos, meteorización, alteración química de los océanos y su fertilización y cambio climático. Ciclos supercontinentales, variaciones en el nivel del mar y descompresión de sistemas magmáticos con emisiones variables de gases de efecto invernadero.

Bibliografía

Adam, B.A., Whipple, K.X., Forte, A.M., Helmsath, A.M., Hodges, K.V., (2020). Climate controls on erosion in tectonically active landscapes. *Sci. Adv.* 6, eaaz3166.

Allen, P, Allen, J., (2013). *Basin Analysis: Principles and Applications*. 3rd Edition.

Bull, W., (2007). *Tectonic Geomorphology of Mountains*. Blackwell Publishing.

Burbank, D., Anderson, R., (2012). *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, p. 274.

Comier, V.F., Bergman, M.I., Olson, P.L., (2021). *Earth's Core: Geophysics of a planet deepest interior*. Elsevier, 314 pp.

Dehant, V., Campuzano, S. A., De Santis, A., & van Westrenen, W., (2022). Structure, materials and processes in the Earth's core and mantle. *Surveys in Geophysics*, 43(1), 263-302.

Fowler, S, (2005). *The Solid Earth. An Introduction to Global Geophysics*. Cambridge.

Frost, D. A. et al. , (2022). Multidisciplinary constraints on the thermal-chemical boundary between Earth's core and mantle. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 23(3), 1-34. e2021GC009764.

Gupta, H.K.(Ed.), (2021). *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. 2nd Edition. Springer Nature Switzerland AG 2021. 1950 pp.

Jacobson, M., Charlson, R., et al. (2nd Edition, 2015). *Earth System Science: From Biogeochemical Cycles to Global Changes*.

Karey, P, Klepeis, K, Vine, F., (2009). *Global Tectonics*. 3rd Edition. Wiley-Blackwell.

Kirby, E., Whipple, K.X., (2012). Expression of active tectonics in erosional landscapes. *J. Struct. Geol.* 44, 54–75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2012.07.009>.

Knippertz, P., Stuut, J., (2014). Mineral dust. A key player in the Earth System, 121-147. Doi. 10.1007/978-94-017-8979-3.

Kok, J., Storelvmo, T., Karydis, V., et al. Mineral dust aerosol impacts on global climate and climate change. *Nat Rev Earth Environment* 4, 71-86. Doi. 19.1038.s43017-022-00379-5.

Kristen St. John, R Mark Lechie, Kate Pound, Megan Jones y Lawrence Krissek., (2012). *Reconstructing Earth's Climate History*. Wiley-Blackwell. Sunderland. ISBN 978-1-118-23294-1

Lenton, T., (2021). *Earth System Science: A Very Short Introduction*.

Mc Calpin (Ed.), (2009). *Paleoseismology*. Vol 95, International Geophysics Series. Elsevier.

Mussett, A., Khan, A., (2000). *Looking into the Earth: An Introduction to Global Geophysics*. Cambridge University Press.

Nakagawa, T. (2020). A coupled core-mantle evolution: Review and future prospects. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, 1-17.

Ruddiman WF (2014). Earth's climate: Past and future. Freeman and Company.

Sarmiento, J., Gruber, N., (2006). Ocean Biogeochemical Dynamics.

Siedler, G., Griffies, S., et al. (2nd Edition, 2013). Ocean Circulation and Climate: A 21st Century Perspective.

Wells, N., (3rd Edition, 2010) The Atmosphere and Ocean: A Physical Introduction.

Yeats, R., (2012). Active faults of the world. Cambridge Univ. Press.

Nombre de la materia: Fundamentos de la dinámica del Sistema Tierra

Objetivos de logro de la materia: el principal objetivo de la materia es que los alumnos establezcan conexiones entre diferentes medios, sistemas y dinámicas de nuestro planeta, desde endógenos hasta exógenos, mostrando como ciertos cambios internos han provocado cambios químicos y físicos en medios adyacentes.

Contenido mínimo de la materia: dinámica oceánica; dinámica atmosférica; dinámica litosférica, dinámica del manto; dinámica del núcleo; interrelación tectónica y clima; interrelación océanos y clima; interrelación tectónica y océanos; interrelación de los sistemas citados con la vida)

Cantidad de horas totales 96 hs

Correlatividades para los estudiantes de Geología: Geotectónica y Geoquímica

Cuatrimestre dictarse: 2° cuatrimestre (tentativamente)

Modalidad de cómo va a dictarse (teórica y problemas, con seminarios, con y sin uso de computadoras).

Modo de evaluación: promocional

Cantidad de horas por semana (6 h/semana; total de 96 h en 16 semanas)