



MÓDULO I **“La ciencia del clima”**

Programa

I. OBJETIVOS

- a) Objetivo general: Este módulo tiene como objetivo entregar una formación general sobre el sistema climático, de los procesos y ciclos relevantes que lo gobiernan, así como de las forzantes antrópicas y mecanismos de respuesta que explican el cambio climático. Se busca, así, acercar a los estudiantes a la(s) ciencia(s) del clima y relevar cómo esta área del conocimiento sienta las bases y contribuye a enfrentar los desafíos del cambio climático.
- b) Objetivos específicos:
- Entender conceptos claves, como Antropoceno, sistema climático, forzamiento radiativo, retroalimentaciones y sensibilidad climática.
 - Entender las causas y mecanismos que explican el cambio climático.
 - Entender las consecuencias del cambio climático, describir la manifestación regional del cambio global y su superposición con ciclos naturales.
 - Introducir elementos de modelación climática y la cooperación internacional en esta materia.
 - Revisar escenarios futuros de cambio climático y de carbono neutralidad.
 - Entender la magnitud de la contaminación local y su relación con el clima.
 - Introducción a datos y herramientas en línea para evaluación del cambio climático.

II. CONTENIDOS

1. **El Antropoceno y su manifestación en el clima.** A modo de introducción, se describen las huellas humanas en la Tierra a lo largo del holoceno y del periodo post revolución industrial, en particular, que dan origen al concepto de *Antropoceno*. Se introduce, también, la conceptualización del tándem clima-sociedad como sistema *sistema complejo*, poniendo de relieve los riesgos e incertidumbres de perturbaciones medioambientales no reversibles y los desafíos de la sociedad global y local para un desarrollo sostenible en el tiempo.
2. **Procesos, interacciones y ciclos claves en el Sistema Climático.** Se describen rasgos relevantes de las componentes del sistema climático (atmósfera, océanos, superficies continentales) y de su interacción como un *sistema acoplado*. Para el entendimiento del cambio climático, se destaca el funcionamiento de procesos específicos y de carácter global (balance de energía, ciclo hidrológico, ciclo de carbono), así como su alteración y *retroacciones* como respuesta a *forzantes antrópicas*.

Dado el rol preponderante de la concentración creciente de gases de efecto invernadero como causa del cambio global, se describe con mayor profundidad el mecanismo mediante el cual los cambios en la composición atmosférica, en particular en el contenido de dióxido de carbono, producen una perturbación en balance radiativo terrestre (entendido como *forzamiento radiativo*) y afectan la temperatura en distintos niveles de la atmósfera y en la superficie terrestre (*respuesta climática*).

Se describe, también, el rol que juegan en el sistema climático los llamando *contaminantes de vida corta*, como el carbono negro o el ozono troposférico. Se discute el rol de estos contaminantes como agentes de cambio global y de sus impactos locales en sectores variados como salud y

agricultura. Se presentan, también, avances recientes respecto de las tasas nacionales de emisiones de material particulado y su impacto en la contaminación de ciudades de Chile.

3. **Variabilidad climática y su manifestación en Chile.** Con una mirada más regional y para Chile, en particular, se presentan los ciclos naturales mayores del Sistema Climático, como el *fenómeno del Niño y la Niña*, y su rol en la variabilidad climática de Chile. Se discute, asimismo, la relevancia y dificultad de atribuir correctamente las causas de variaciones en el clima a ciclos naturales y a tendencias de origen antrópicos (*cambio forzado*). En esta sección se presentan, también, elementos claves del ciclo del agua, la respuesta y *memoria hidrológica* frente a sequías, y avances recientes sobre el estado de *seguridad hídrica* en Chile.
 4. **Modelación, diagnóstico y proyecciones de cambio climático.** Se describe cómo el conocimiento teórico y empírico del sistema climático se materializa en modelos de clima, herramientas fundamentales para estudio de fenómeno climáticos, la atribución de causas y generación de proyecciones de cambio climático. También se describe la cooperación científica internacional para evaluar las causas del climático y su proyección futura en el marco del proyecto de inter-comparación de modelos de clima acoplados (CMIP), insumo fundamental de los informes de evaluación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).
 5. **Datos, métodos y herramientas de diagnóstico.** Se presenta un panorama general de la información utilizada en ciencias de clima, como observaciones y simulaciones numéricas. En sesiones prácticas, se introduce en el uso de herramientas de consulta, visualización y análisis en línea, como el *Explorador Climático* (CR2), la *Plataforma de Simulaciones* (MMA, CR2) y el *Atlas de Riesgo Climático* (MMA, CR2, CCG).
- III. **EVALUACIÓN:** El módulo contempla una evaluación final de todo el contenido. Esta evaluación consistirá en una serie de preguntas de alternativas que se contestarán de forma sincrónica. La asistencia a esta sesión de evaluación es mandatoria.
- IV. **DURACIÓN:** 8 semanas (7 semanas lectivas y 1 libre)
- V. **ASISTENCIA:** Obligatoria
- VI. **METODOLOGÍA:** Como se describe en el programa (sección VIII), el módulo contempla un total de 18 sesiones sincrónicas para la exposición de temas y guía de trabajos prácticos. En general, cada tema dentro del contenido del módulo (sección II) se imparte en sesiones a lo largo de 1 o 2 semanas, y estará a cargo de un profesor. Además de las clases lectivas, se entregará material de apoyo a través de la plataforma u-cursos. En una sesión sincrónica adicional al final del módulo, se realizará una evaluación de los elementos de mayor relevancia de cada uno de los temas.
- Al finalizar del módulo se realizará una charla magistral, donde un investigador internacional expondrá sobre la temática abordada.

VII. EQUIPO

- a) Coordinador académico: Juan Pablo Boisier¹

¹ Jboisier@uchile.cl

b) Coordinador ejecutivo: Karen Ubilla Farias²

VIII. PROGRAMA

Semana	Día	Temas	Profesor	Lecturas sugeridas
Introducción: El Antropoceno y su manifestación en el clima				
1	Lunes, 13 de junio	- Introducción al Módulo - Sistemas complejos - Impacto humano en el entorno a través del tiempo - Crecimiento exponencial de nuestro impacto desde la época industrial - Holoceno	Juan Pablo Boisier Laura Gallardo	Crutzen and Stoermer (2000); Fernández (2011)
1	Miércoles, 15 de junio	- Los tiempos que corren (Antropoceno) - Evolución conceptual y límites planetarios	Laura Gallardo	
1	Viernes, 17 de junio	- El Antropoceno como registro geológico - El Antropoceno en Chile - Resumen y conclusiones	Laura Gallardo	CR2 (2019)
Procesos, interacciones y ciclos claves en el Sistema Climático				
2	Lunes, 20 de junio	Definiciones básicas - Sistemas complejos y caóticos - Incertidumbre en pronósticos del tiempo y proyecciones del clima - Ciclos y rasgos generales del sistema climático	Juan Pablo Boisier	Schellnhuber, 1999 Steffen et al. (2020);
2	Miércoles, 22 de junio	El efecto invernadero	R. Rondanelli	
2	Viernes, 24 de junio	Elementos de física de la atmósfera	Juan Pablo Boisier	

² kubilla@dgf.uchile.cl

3	Miércoles, 29 de junio	Química atmosférica y contaminante de vida corta.	N. Huneus	UNEP and CCAC, 2016; Huneus et al., 2020
3	Viernes, 1 de julio	Forzantes, respuestas y retroacciones claves para entender el CC.	Juan Pablo Boisier	
Variabilidad climática y su manifestación en Chile				
4	Lunes, 04 de julio	Variabilidad climática - El clima cambia, pero no todo es cambio... - Elementos del clima en Chile - El Niño y la Oscilación del sur (ENSO) - La Oscilación decadal del pacífico (PDO) - El modo Anular del sur	René Garreaud	Accituno et al. (2020)
4	Miércoles, 06 de julio	Cambio forzado - Evidencia del cambio: global y local - Causas del cambio climático - Proyecciones futuras - La letra chica La Megasequía	René Garreaud	DMC (2021) Cai et al. (2020) CR2 (2015)
4	Viernes, 08 de julio	Ciclo del agua y seguridad hídrica en Chile	Camila Álvarez	
Modelación, diagnóstico y proyecciones de cambio climático				
5	Lunes, 11 de julio	El sistema climático en un super computador - Usos - Historia Estructura y elementos fundamentales	J.P. Boisier	IPCC (2013b)
5	Miércoles, 13 de julio	Modelación - Experimentos coordinados: CMIP Construcción de escenarios	J.P. Boisier	Donner and Large (2008)
5	Viernes, 15 de julio	Informes del IPCC - Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) Informes especiales del IPCC: SRCCL, SROCC	Paola Arias	IPCC, 2021: Summary for Policymakers
Libre				



modalidad
ONLINE

www.diplomacambioclimatico.cl

	Lunes, 18 de julio	- Libre		
	Miércoles, 20 de julio	- Libre		
	Viernes, 22 de julio	- Libre		
Datos, métodos y herramientas de diagnóstico				
6	Lunes, 25 de julio	Resumen datos e información climática, herramientas globales	J. P. Boisier, Francisca Muñoz	
6	Miércoles, 27 de julio	Plataformas de datos CR2	J. P. Boisier, Francisca Muñoz	
6	Viernes, 29 de julio	Plataformas de datos CR2	J. P. Boisier, Francisca Muñoz	
Semana de cierre				
7	Lunes, 01 de agosto	Cierre de módulo, Charla Magistral		
7	Miércoles, 3 de agosto	Evaluación		

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). (2019) “El Antropoceno en Chile: evidencias y formas de avanzar”. Informe del Center for Climate and Resilience Research (CR2). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/336364931_El_Antropoceno_en_Chile_evidencias_y_formas_de_avanzar
2. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2) (2015), Report to the Nation. The 2010-2015 mega-drought: A lesson for the future. *Center for Climate and Resilience Research (CR2)*. 28. Available at http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/InformeMegasequia_ingles_2016.pdf
3. Crutzen, P.J. and Stoermer, E.F. (2000) The “Anthropocene”. *Global Change Newsletter*, 41, 17-18. Disponible en: <http://www.igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf>
4. Fernández, R. (2011). “El Antropoceno. La expansión del capitalismo global choca con la biósfera”. En: virus editorial. ISBN: 9788492559329. Disponible en: <https://libros.metabiblioteca.org/bitstream/001/490/1/EL%20ANTROPOCENO.pdf>
5. Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, H.J. Schellnhuber, O.P. Dube, S. Dutreuil, T.M. Lenton, and J. Lubchenco. 2020. The emergence and evolution of earth system science. *Nature Reviews: Earth and Environment* 1: 54–63. Disponible en: https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10871/40416/ESS%20REVIEW_FINAL_11%20NOV.pdf;jsessionid=03B46969C2940312774FD2D64119E3AF?sequence=2
6. Schellnhuber, H., J. (1999) ‘Earth system’ analysis and the second Copernican revolution. *NATURE* | VOL 402 |. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/35011515>
7. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013a). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf
8. _____(2013b) Evaluation of Climate Models. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Flato, G., J. Marotzke, B. Abiodun, P. Braconnot, S.C. Chou, W. Collins, P. Cox, F. Driouech, S. Emori, V. Eyring, C. Forest, P. Gleckler, E. Guilyardi, C. Jakob, V. Kattsov, C. Reason and M. Rummukainen. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter09_FINAL.pdf
9. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.

10. Gallardo, L., Basoa, K., Tolvet, S., Osses, M., Huneus, N., Bustos, S., Barraza, J., Ogaz, G. (editores) (2020). Mitigación de carbono negro en la actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada de Chile: Resumen para tomadores de decisión. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia para el Ministerio del Medio Ambiente a través de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la iniciativa Supporting National Action and Planning on Short-Lived Climate Pollutants (SNAP), 32 pp. Disponible en: <http://www.cr2.cl/carbononegro/>
11. United Nations Environment Programme (UNEP) and Climate Clean Air Coalition (CCAC). (2016). Integrated Assessment of Short-Lived Climate Pollutants for Latin America and the Caribbean: improving air quality while mitigating climate change. Summary for decision makers. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/308723416_Integrated_Assessment_of_Short-Lived_Climate_Pollutants_for_Latin_America_and_the_Caribbean_Improving_air_quality_while_mitigating_climate_change_Summary_for_decision_makers/link/57ed44f808ae711da939952a/download
12. Huneus, N., Urquiza A., Gayó, E., Osses, M., Arriagada, R., Valdés, M., Álamos, N., Amigo, C., Arrieta, D., Basoa, K., Billi, M., Blanco, G., Boisier, J.P., Calvo, R., Casielles, I., Castro, M., Chahuán, J., Christie, D., Cordero, L., Correa, V., Cortés, J., Fleming, Z., Gajardo, N., Gallardo, L., Gómez, L., Insunza, X., Iriarte, P., Labraña, J., Lambert, F., Muñoz, A., Opazo, M., O’Ryan, R., Osses, A., Plass, M., Rivas, M., Salinas, S., Santander, S., Seguel, R., Smith, P., Tolvet, S. (2020). El aire que respiramos: pasado, presente y futuro – Contaminación atmosférica por MP2,5 en el centro y sur de Chile. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, (ANID/FONDAP/15110009), 102 pp. Disponible en: <http://www.cr2.cl/contaminacion/>
13. Donner, Leo J. and Large, William G., Climate Modeling. Annu. Rev. Environ. Resour. 2008. 33:1–17. Disponible en: http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2018/08/Donner_Large_2008.pdf
14. Dirección Meteorológica de Chile (DMC). (2021), Reporte anual de la evolución del clima en Chile. Disponible en: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/reporteEvolucionClima>
15. Aceituno P., Boisier J.P., Garreaud R., Rondanelli R., Rutllant J.A. (2021) Climate and Weather in Chile. In: Fernández B., Gironás J. (eds) Water Resources of Chile. World Water Resources, vol 8. Springer, Cham.
16. Cai, MJ McPhaden, A.M Grimm, R Rodrigues, A. Taschetto, R. Garreaud, B. Dewitte, G. Poveda, Yoo-Geun Ham, A. Santoso, B. Ng, W. Anderson, G. Wang, T. Geng, Hyun-Su Jo, J. Marengo, L. Alves, M. Osman, S. Li, L. Wu, C. Karamperidou, K. Takahashi, C. Vera (2020) Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. Nature Reviews Earth & Environment volume 1, pages 215–231. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/340635829_Climate_impacts_of_the_El_Niño-Southern_Oscillation_on_South_America
17. Schellnhuber, H., J., 1999: ‘Earth system’ analysis and the second Copernican revolution. NATURE|VOL 402 | SUPP| 2 DECEMBER 1999
18. Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, H.J. Schellnhuber, O.P. Dube, S. Dutreuil, T.M. Lenton, and J. Lubchenco. 2020. The emergence and evolution of earth system science. Nature Reviews: Earth and Environment 1: 54–63.