

PROGRAMA DE CURSO QUÍMICA ATMOSFÉRICA Y CLIMA

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Geofísica (DGF)					
Nombre del curso	Química atmosférica y clima	Código	GF5030	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Atmospheric chemistry and climate</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	1,5	Trabajo personal	5,5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	GF3005: Contaminación atmosférica					

B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que los y las estudiantes conceptualicen los procesos a través de los cuales ciclos biogeoquímicos, trazas químicas reactivas y sus precursores, así como aerosoles primarios y secundarios participan en el forzamiento radiativo de la Tierra y a su vez son afectados por la variabilidad y cambio climático.

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

CE2: Evaluar y caracterizar peligros naturales y amenazas geofísicas tales como: riesgo sísmico, deslizamientos de tierra, riesgo climático, entre otros, para cuantificar y planificar medidas de adaptación y mitigación.

CE5: Interpretar los modelos obtenidos con el fin de ubicar y cuantificar las amenazas geofísicas y la disponibilidad de los recursos naturales.

CEA7: Evaluar la factibilidad de proyectos donde se consideren los efectos de condiciones atmosféricas tales como circulación, dispersión y evolución de contaminantes, etc., considerando elementos del conocimiento científico y técnico, así como éticos y de sustentabilidad.

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.

CG2: Comunicación en inglés

Leer y escuchar de manera comprensiva en inglés una variedad de textos e informaciones sobre temas concretos o abstractos, comunicando experiencias y opiniones, adecuándose a diferentes contextos y a las características de la audiencia.

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.

CG5: Sustentabilidad

Concebir y aplicar nuevas estrategias de solución a problemas de ingeniería y ciencias en el marco del desarrollo sostenible, considerando la finitud de recursos, la interacción entre diferentes actores sociales, ambientales y económicos, además de las regulaciones correspondientes.

C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE2, CG5	RA1: Analiza el impacto radiativo como peligro para el bienestar humano y de los ecosistemas, considerando el alcance de los forzantes climáticos de vida corta (e.g., ozono y aerosoles) y de los de vida larga (e.g., dióxido de carbono).
CE5	RA2: Usa el concepto de ciclo biogeoquímico para caracterizar el grado de perturbación de los ciclos del azufre y el nitrógeno desde la época preindustrial y su impacto climático a lo largo del tiempo, considerando sectores de la actividad humana que requieren mitigación.

CEA7	<p>RA3: Aplica conceptos de reacciones químicas a la interacción entre radiación solar y moléculas para la caracterización de algunos procesos de fotólisis y la penetración de dicha radiación en la atmósfera, así como a la descripción de los ciclos catalíticos que llevan a la formación y destrucción de ozono en la estratósfera.</p> <p>RA4: Analiza cualitativa y cuantitativamente el balance de carga de ozono en la tropósfera, incluyendo producción y destrucción fotoquímica, transporte desde la estratósfera y remoción por deposición seca en la superficie, a fin de explicar la evolución del forzamiento radiativo del ozono troposférico desde la época preindustrial.</p> <p>RA5: Cuantifica el forzamiento directo e indirecto de aerosoles, así como las fuentes de incertidumbre, considerando las interacciones entre aerosoles y radiación electromagnética (Retrodispersión de Rayleigh y Mie), para explicar su impacto climático.</p>
CG1, CG2, CG4	<p>RA6: Produce un texto sintético con información proveniente de la lectura de múltiples fuentes (textos, artículos en inglés y castellano) la que integra en una investigación, que realiza con sus pares, sobre causas y efectos de los agentes climáticos derivados de interacciones químicas.</p>

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1, RA6	Química atmosférica en el sistema climático durante el Antropoceno	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>1.1. Caracterización del rol de la química atmosférica en el sistema climático en la época contemporánea.</p> <p>1.2. Preguntas emergentes en química atmosférica.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Caracteriza el rol de la química atmosférica, considerando su relevancia para la ciencia. 2. Investiga y sintetiza información sobre el rol de la química atmosférica en el sistema climático, usando literatura especializada. 	
Bibliografía de la unidad		<p>Crutzen, P. J. (2002). "Atmospheric Chemistry in the 'Anthropocene,'" in, 45–48. doi:10.1007/978-3-642-19016-2_7.</p> <p>Finlayson-Pitts, B. J. (2017). Introductory lecture: Atmospheric chemistry in the Anthropocene. Faraday Discuss. 200, 11–58. doi:10.1039/c7fd00161d.</p> <p>Wallington, T. J., Seinfeld, J. H., and Barker, J. R. (2019). 100 Years of Progress in Gas-Phase Atmospheric Chemistry Research. Meteorol. Monogr. 59, 10.1-10.52. doi:10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-18-0008.1.</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA2, RA3, RA6	Compuestos azufrados	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Compuestos azufrados relevantes y ciclo biogeoquímico. del azufre. 2.2. Fuentes y sumideros de algunos azufrados. 2.3. Formación de aerosoles sulfato. 2.4. Capa de Junge.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> Determina las características químicas de especies azufradas, en ejemplos que se le presentan. Describe procesos de emisión, formación y remoción de especies azufradas climáticamente relevantes y sus precursores. Describe y cuantifica el forzamiento por aerosoles de sulfato en la capa de Junge. Usa información proveniente de múltiples fuentes para comprender fenómenos asociados a los compuestos azufrados. 	
Bibliografía de la unidad		Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N. (2016). Chapter 2.2 in Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2	Compuestos nitrogenados	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Compuestos nitrogenados relevantes y ciclo biogeoquímico del nitrógeno. 3.2. Fuentes y sumideros de algunos nitrogenados. 3.3. Forzamiento radiativo del óxido nitroso. 3.4. Formación de aerosoles de nitrato y amonio.		El/la estudiante: 1. Caracteriza las características químicas de especies nitrogenadas. 2. Describe procesos de emisión, formación y remoción de especies nitrogenadas climáticamente relevantes y sus precursores. 3. Describe y cuantifica el forzamiento por óxido nitroso (N ₂ O).	
Bibliografía de la unidad		Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N. (2016). Chapter 2.3 in Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA3, RA4, RA6	Ozono en la estratósfera	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. Distribución global del ozono 4.2. Radiación y fotoquímica. 4.3. Circulación estratosférica (Brewer-Dobson). 4.4. Ciclos catalíticos de formación y destrucción. 4.5. Agujero de ozono: descubrimiento, explicación y evolución.		El/la estudiante: 1. Caracteriza la interacción entre radiación y fotoquímica con énfasis en la fotólisis de oxígeno molecular (O ₂) 2. Reconoce los rasgos principales de la circulación estratosférica, considerando su impacto sobre la distribución de ozono 3. Describe la química del ozono (O ₃) en la estratósfera y formas asociadas --oxígeno en estado fundamental (O ³ P) y excitado (O ¹ D), i.e., O _x =O ₃ + O(³ P) + O(¹ D) -- a través de su formación por fotólisis de O ₂ y de destrucción catalítica por las familias de peróxidos (HO _x), óxidos de nitrógeno (HO _x) y halógenos. 4. Comprende el rol de las nubes polares estratosféricas como catalizadoras de reacciones fotoquímicas que liberan cloro destruyendo eficazmente ozono. 5. Indaga en literatura especializada sobre la evolución del agujero de ozono antártico, analizando su impacto sobre la circulación.	

Bibliografía de la unidad	Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N. (2016). Chapter 4 & 5 in Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons.
---------------------------	---

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA2, RA6, RA8	Ozono en la tropósfera	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
5.1. Formación de ozono en la tropósfera remota. 5.2. Formación de ozono en la tropósfera urbana y rural. 5.3. Presupuesto de ozono troposférico y sus cambios. 5.4. Forzamiento climático por ozono troposférico. 5.5. Expansión de la circulación de Hadley y cambios en ozono troposférico.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Caracteriza la interacción entre radiación y fotoquímica con énfasis en la fotólisis de dióxido de nitrógeno (NO₂) 2. Identifica cualitativa y cuantitativamente los términos explicativos del balance de carga de ozono en la tropósfera, incluyendo producción y destrucción fotoquímica, transporte desde la estratósfera y remoción por deposición seca en la superficie 3. Describe y cuantifica el forzamiento por ozono troposférico y su evolución desde la época preindustrial, así como las fuentes de incertidumbre 4. Analiza la evolución de la carga de ozono troposférico y su balance desde la época preindustrial al presente, considerando escenarios futuros. 	
Bibliografía de la unidad		Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N. (2016). Chapter 4 & 6 in Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons.	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
6	RA2, RA5, RA6	Aerosoles	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
6.1. Interacciones entre la radiación electromagnética con aerosoles (Retrodispersión de Rayleigh y Mie). 6.2. Interacciones radiativas mediadas por nubes. 6.3. Forzamiento climático directo e indirecto por aerosoles.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> Explica los mecanismos responsables de forzamiento radiativo directo ya sea positivo o negativo de los aerosoles, considerando fuentes y sumideros de aerosoles, así como su formación <i>in situ</i>. Explica los mecanismos y procesos que determinan la modificación de propiedades ópticas de las nubes a través de su interacción con nubes. Describe y cuantifica el forzamiento directo e indirecto de aerosoles, así como las fuentes de incertidumbre Realiza una investigación sobre el forzamiento directo e indirecto por aerosoles atmosféricos, analizando su impacto climático y sintetiza sus resultados en un informe escrito. 	
Bibliografía de la unidad		Boucher, O. 2015. Atmospheric Aerosols Properties and Climate Impacts. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9649-1 . (Chapters 2,3 and 5).	

E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

La metodología de trabajo es activo-participativa y considera clases expositivas, indagación, síntesis y exposición escrito y/u oral sobre tópicos específicos en la literatura especializada.

F. Estrategias de evaluación:

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

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
Tareas	Con esta actividad se evalúan los RA1, RA2, RA3, RA4 y RA5
Exposiciones orales;	Evalúan los RA1, RA2, RA3, RA4 y RA5
Informe escrito de trabajo de investigación	Evalúa los RA1, RA2, RA3, RA4 y RA5, RA6

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía obligatoria:

- [1] Boucher, O. 2015. Atmospheric Aerosols Properties and Climate Impacts. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9649-1>.
- [2] Wallington, T. J., Seinfeld, J. H., and Barker, J. R. (2019). 100 Years of Progress in Gas-Phase Atmospheric Chemistry Research. Meteorol. Monogr. 59, 10.1-10.52. doi:10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-18-0008.1.
- [3] Seinfeld, J. H., and Pandis, S. N. (2016). Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons.
- [4] Informes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés): <https://www.ipcc.ch/>.

Bibliografía complementaria:

- [5] Archibald, A. T., Neu, J. L., Elshorbany, Y. F., Cooper, O. R., Young, P. J., Akiyoshi, H., et al. (2020). Tropospheric ozone assessment report: A critical review of changes in the tropospheric ozone burden and budget from 1850 to 2100. Elementa 8. doi:10.1525/elementa.2020.034.
- [6] Bernhard, A. (2010) The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. Nature Education Knowledge 3(10):25.
- [7] Boisier, J. P., Alvarez-Garreton, C., Cordero, R. R., Damiani, A., Gallardo, L., Garreaud, R. D., et al. (2018). Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations. Elementa 6, 74. doi:10.1525/elementa.328.
- [8] Boucher, O., et al, 2013. Clouds and aerosols, in: Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 571–658. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.016>.
- [9] Brasseur, Guy P.; Jacob, Daniel J. (2017). Modeling of Atmospheric Chemistry. Cambridge University Press.
- [10] Carpenter, L. J., Arnold, S. R., Heald, C. L., Ravishankara, A. R., and Williams, J. (2017). Highlights from the Faraday Discussion meeting “Atmospheric chemistry in the Anthropocene”, York, 2017. Chem. Commun. 53, 12494–12498. doi:10.1039/C7CC90417G.
- [11] Checa-Garcia, R., Hegglin, M. I., Kinnison, D., Plummer, D. A., and Shine, K. P. (2018). Historical Tropospheric and Stratospheric Ozone Radiative Forcing Using the CMIP6 Database. Geophys. Res. Lett. 45, 3264–3273. doi:10.1002/2017GL076770.
- [12] Ciais, P., et al. 2013. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), Climate Change 2013 - The Physical Science Basis (Vol. 9781107057, pp. 465–570). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.015>.
- [13] Finlayson-Pitts, Barbara J.; James N. Pitts, Jr. (2000), Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere: Theory, Experiments, and Applications. Academic Press.

- [14] Griffiths, P. T., Murray, L. T., Zeng, G., Shin, Y. M., Abraham, N. L., Archibald, A. T., et al. (2021). Tropospheric ozone in CMIP6 simulations. *Atmos. Chem. Phys.* 21, 4187–4218. doi:10.5194/acp-21-4187-2021.
- [15] Kremser, S., Thomason, L. W., et al (2016). Stratospheric aerosol-Observations, processes, and impact on climate. *Reviews of Geophysics*, 54(2), 278–335. <https://doi.org/10.1002/2015RG000511>.
- [16] Langematz, U. (2019). Stratospheric ozone: down and up through the anthropocene. *ChemTexts* 5, 8. doi:10.1007/s40828-019-0082-7.
- [17] Griffiths, P. T., Murray, L. T., Zeng, G., Shin, Y. M., Abraham, N. L., Archibald, A. T., et al. (2021). Tropospheric ozone in CMIP6 simulations. *Atmos. Chem. Phys.* 21, 4187–4218. doi:10.5194/acp-21-4187-2021.
- [18] Lu, X., Zhang, L., Zhao, Y., Jacob, D. J., Hu, Y., Hu, L., et al. (2019). Surface and tropospheric ozone trends in the Southern Hemisphere since 1990: possible linkages to poleward expansion of the Hadley circulation. *Sci. Bull.* 64, 400–409. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scib.2018.12.021>.
- [19] Myhre, G., et al. (2013). “Anthropogenic and natural radiative forcing,” in *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, et al. (Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press), 659–740. doi:10.1017/CBO9781107415324.018.
- [20] Solomon, S. (1999). Stratospheric ozone depletion: A review of concepts and history. *Rev. Geophys.* 37, 275–316. doi:10.1029/1999RG900008.

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

Vigencia desde:	Primavera, 2023
Elaborado por:	Laura Gallardo
Validado por:	CTD de Geofísica
Revisado por:	Área de Gestión Curricular