FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Cambio Climático: su relación con la contaminación, salud o ecosistemas
Title:	Climate change and its relationship with pollution, health or ecosystems
Tutor/es:	Rosa M. González Barras
E-mail tutor/es:	barras@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

En la primera etapa se tendrá que recopilar información, analizar y sintetizar para establecer los objetivos concretos o/y generales relativos a constataciones fiables del efecto del cambio climático en la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos y su relación con la salud-medio ambiente-contaminación.

Este trabajo fin de grado puede orientarse por la realización de un trabajo bibliográfico en donde el alumno ahondará en la información a través de publicaciones científicas relativas al cambio climático y ampliarlo a otras áreas como las repercusiones económicas, índices de mortalidad o estimaciones de incrementos de enfermedades, entre otros.

La otra orientación sería más práctica, analizando fenómenos acaecidos en áreas concretas como, por ejemplo, incendios, precipitación u olas frío/calor y sus efectos en la contaminación-salud-medioambiente.

La propuesta es de dos trabajos fin de grado diferenciados. Uno estaría orientado en la recopilación de información que se tiene sobre los efectos del cambio climático en las diversas áreas indicadas y posibles efectos futuros si las condiciones adversas pudieran persistir o aumentar. Y el otro trabajo fin de grado consistiría en recopilar registros y datos de fenómenos ocurridos en nuestro país que pudieran deberse a situaciones climáticas anómalas con efectos claros en la salud y en los ecosistemas.

Metodología:

El alumno puede disponer de información a través de revistas científicas, publicaciones en congresos, libros específicos, datos; todo ello disponible en la red.

Si se necesitara un análisis de datos sería conveniente que el alumno conociera el manejo de un software para el tratamiento de la información o el uso de modelos/métodos estadísticos o la programación en algún lenguaje que se haya aprendido durante el grado.

Bibliografía:

https://climateandhealthalliance.org

AR6 Synthesis Report: Climate Change (2023) https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle

WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. (2021). ISBN 978-92-4-003422-8 (electronic version)

Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality. Tran,VV, Park,D and Lee YC. Int J Environ Res Public Health. (2020) doi: 10.3390/ijerph17082927

Mortality attributable to extreme temperatures in Spain: A comparative analysis by city. Carmona R, Día J, et al, Environment International (2016). doi: 10.1016/j.envint.2016.02.018

The Impact of Climate Change on Mental Health and Emotional Wellbeing: A Narrative Review of Current Evidence, and its Implications. Lawrance EL, Thompson R, et al. Int Rev Psychiatry (2022). https:// doi. org/10.1080/09540261.2022.2128725

Global and Regional Trends and Drivers of Fire Under Climate Change. Matthew, WJ et al. Reviews of Geophysics (2022). doi: 10.1029/2020RG000726

https://www.imf.org/en/topics/climate-change/climate-and-the-economy

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Reproducción de eventos extremos bajo diferentes climas con modelos globales de muy alta resolución
Title:	Replaying extreme weather events under different climates with km-scale global models
Tutor/es:	Elsa Mohino Harris, Diego García Maroto
E-mail tutor/es:	emohino@ucm.es, diegar20@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

La atribución del papel que desempleña el cambio climático en los impactos de eventos meteorológicos extremos es una cuestión con gran relevancia social. Una aproximación para cuantificar esta posible influencia consiste en el uso de los conocidos como "storylines" empleando modelos climáticos. Esta aproximación consiste en la realización de simulaciones en las que el modelo es obligado a seguir los patrones dinámicos de gran escala que tuvieron lugar durante el evento extremo, realizando diversas simulaciones en las que se modifican las condiciones del clima bajo el que se producen. Con ella, se puede contestar a preguntas como qué impactos hubiera tenido el evento si las condiciones dinámicas de gran escala que dieron lugar al extremo particular hubieran ocurrido en un clima anterior menos cálido o fueran a ocurrir en un clima futuro más cálido. De esta manera, se puede separar la contribución dinámica de la termodinámica para la mejor comprensión de los efectos del cambio climático en el impacto de eventos exremos particulares.

En este TFG se propone evaluar el resultado de esta aproximación usando las recientes simulaciones del proyecto Destination Earth, con modelos de muy alta resolución que proporcionan una reproducción más fidedigna de los procesos relevantes para los extremos, así como una descripción más detallada sobre sus impactos.

El objetivo principal del TFG es, por tanto, la cuantificación del efecto de cambios en las condiciones del clima en los impactos de eventos meteorológicos extremos. Para ello, se escogerá uno o varios eventos extremos dentro de la ventana temporal simulada (desde 2017). Por ejemplo, se podría analizar el episodio de lluvias torrenciales caídas en julio de 2022 sobre la región de Dakar, para los que se podría incluso contar con medidas insitu de alta resolución temporal para contrastar los resultados del modelo.

Metodología:

La metodología a implementar consiste en los siguientes pasos:
1) Inicialmente se seleccionará uno o varios candidatos de eventos meteorológicos extremos dentro de la ventana temporal de la que se dispone (varios años de simulación comenzando en 2017).
2) Con el candidato o candidata seleccionado/a se evaluará la pericia del modelo para reproducir las condiciones de gran escala que dieron lugar al evento así como los impactos más notables registrados, mediante la comparación de las principales variables meteorológicas observadas y simuladas durante el evento.
3) Se completará el estudio evaluando cuáles son las diferencias principales que reproduce el modelo para ese evento bajo un clima pasado (consistente con la década de 1950) y bajo un clima futuro con 2ºC más caliente en promedio.

Para el análisis de las simulaciones la/el estudiante habrá de desarrollar código para la representación de variables meteorológicas empleando cuadernos de jupyter bajo la guía de los tutores.

Se recomienda que la/el estudiante haya cursado o vaya a cursar las asignaturas “Física de la Atmósfera”, “Fundamentos de Meteorlogía” y “Bases Físicas del Cambio Climático”.

Bibliografía:

- Stull, 2017. Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science. U British Columbia. https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical_Meteorology/

- J.M. Wallace y P.V. Hobbs (1977, 1 st Edn ; 2006, 2 nd Edn). Atmospheric Science: An Introductory Survey. Academic Press. Elsevier

- Sánchez-Benítez, A., Goessling, H., Pithan, F., Semmler, T., & Jung, T. (2022). The July 2019 European heat wave in a warmer climate: Storyline scenarios with a coupled model using spectral nudging.Journal of Climate,35(8), 2373-2390.

- Rackow, T., Pedruzo-Bagazgoitia, X., Becker, T., Milinski, S., Sandu, I., Aguridan, R., ... & Ziemen, F. (2025). Multi-year simulations at kilometre scale with the Integrated Forecasting System coupled to FESOM2. 5 and NEMOv3. 4.Geoscientific Model Development,18(1), 33-69.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Modelado de crecimiento de gotitas nubosas por captura en nubes cálidas
Title:	Modelling growth of cloud droplets by collection in warm clouds
Tutor/es:	Elsa Mohino Harris
E-mail tutor/es:	emohino@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El principal proceso de formación de precipitación en nubes cálidas (aquellas que no contienen cristales de hielo) es el crecimiento de gotitas por captura de otras más pequeñas.

El objetivo principal de este TFG es el desarrollo de un algoritmo para modelar este crecimiento por captura a partir de unas condiciones inciales de una población de gotitas nubosas. Los objetivos específicos son:
- familiarización con los principales conceptos relativos al proceso de colisión y captura de gotitas nubosas
- revisión de los principales esquemas de crecimiento por captura
- desarrollo e implementación de un algoritmo de integración particular para un esquema de crecimiento por captura
- simulación del proceso bajo diferentes condiciones iniciales y de borde

Metodología:

En un primer paso, la/el estudiante habrá de revisar textos proporcionados por la tutora sobre el crecimiento de gotitas por captura, en los que aprenderá los principales conceptos y las propuestas que existen para simular este crecimiento.
En un segundo paso, se seleccionará un esquema particular de crecimiento y se implementará un algoritmo para la resolución de la ecuación de crecimiento.
Finalmente, se llevarán a cabo varias simulaciones empleando el algoritmo y evaluando la dependencia de los resultados a cambios en las condiciones iniciales o de borde.

Se recomienda que la/el estudiante tenga nociones de python para poder desarrollar el algoritmo en este lenguaje.
Se recomienda a la/el estudiante haya cursado o vaya a cursar las asignaturas "Física de la Atmósfera" y "Física Computacional".

Bibliografía:

- Khain, A. P., & Pinsky, M. (2018). Physical processes in clouds and cloud modeling. Cambridge University Press.

- Lohmann, U., Lüönd, F., & Mahrt, F. (2016). An introduction to clouds: From the microscale to climate. Cambridge University Press.

- Young, K.C.: Microphysical Processes in Clouds. Oxford Univ. Press (1993)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Modelización Física del Manto Nival
Title:	Physical modelling of the snowpack
Tutor/es:	Luis Durán Montejano, Diego García Maroto
E-mail tutor/es:	luduran@ucm.es, diegar20@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es analizar los procesos físicos que controlan la formación y evolución del manto nival en sistemas montañosos de clima mediterráneo. En particular, se abordará la caracterización de los mecanismos de generación de precipitación sólida, considerando tanto los procesos dinámicos (forzamiento orográfico, circulación atmosférica) como los termodinámicos (perfil vertical de temperatura y humedad, microfísica de nubes).

Asimismo, se estudiarán los procesos que gobiernan la evolución del manto nival una vez depositado, incluyendo la metamorfosis de la nieve, los intercambios de energía (radiativos, turbulentos y conductivos) y los procesos de fusión y sublimación.

Metodología:

La metodología se basará en la aplicación de modelos físicos de muy alta resolución, como HICAR, para la simulación de la precipitación en entornos de orografía compleja, junto con modelos de balance de masa y energía del manto nival, como FSM2 o SNOWPACK, que permiten representar de forma detallada la evolución estratigráfica del manto.

Para la realización de simulaciones se utilizarán servidores linux preparados por los tutores. Para el análisis de las simulaciones la/el estudiante habrá de desarrollar código Python para la representación de variables nivometeorológicas empleando cuadernos de jupyter bajo la guía de los tutores. También existirá la posibilidad de contrastar datos mediante campañas de trabajo de campo en la zona de intere.

Bibliografía:

Gutmann, E. D., Rasmussen, R. M., Liu, C., Ikeda, K., Newman, A. J., Clark, M. P., Dudhia, J., & Thompson, G. (2016). The Intermediate Complexity Atmospheric Research (ICAR) model. Journal of Hydrometeorology, 17(3), 957 – 973. https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0155.1

Reynolds, D., Gutmann, E., Kruyt, B., Haugeneder, M., Jonas, T., Gerber, F., Lehning, M., & Mott, R. (2023). The High-resolution Intermediate Complexity Atmospheric Research (HICAR v1.1) model enables fast dynamic downscaling to the hectometer scale. Geoscientific Model Development, 16, 5049 – 5068. https://doi.org/10.5194/gmd-16-5049-2023

Essery, R. (2015). A factorial snowpack model (FSM 1.0). Geoscientific Model Development, 8(12), 3867 – 3876. https://doi.org/10.5194/gmd-8-3867-2015

Lehning, M., Bartelt, P., Brown, B., Fierz, C., & Satyawali, P. (2002). A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning: Part III: Meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. Cold Regions Science and Technology, 35(3), 169 – 184. https://doi.org/10.1016/S0165-232X(02)00072-1

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	El problema de los tres cuerpos y del determinismo en la historia de la física
Title:	The three body problem and determinism in the history of physics
Tutor/es:	Luis Durán Montejano
E-mail tutor/es:	luduran@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Este trabajo pretende realizar un análisis histórico y crítico del problema de los tres cuerpos, así como del concepto de determinismo en la física clásica. Se estudiará la evolución del planteamiento de este problema desde la formulación de la ley de gravitación universal por parte de Newton, hasta los desarrollos posteriores realizados por Poincaré, cuya aproximación marcó el inicio del estudio del comportamiento caótico en sistemas deterministas.

Asimismo, se analizará cómo estas ideas conducen al desarrollo de la teoría del caos, cuyo formalismo moderno se consolida en el siglo XX con los trabajos de Lorenz, evidenciando la sensibilidad a las condiciones iniciales en sistemas dinámicos no lineales.

El análisis se culminará con una reflexión sobre cómo se aborda actualmente la predicción de sistemas complejos, tanto en el contexto de sistemas planetarios como en la predicción meteorológica, destacando las limitaciones inherentes asociadas a la naturaleza caótica de dichos sistemas y el papel de los métodos numéricos y probabilísticos en su descripción.

Metodología:

La metodología consistirá en un análisis de la bibliografía existente, incluyendo libros, artículos científicos y apuntes de clase. Se llevarán a cabo síntesis y discusiones críticas de los conceptos fundamentales.

Asimismo, se desarrollarán e implementarán programas de simulación que permitan ilustrar y validar los conceptos teóricos abordados. Estas simulaciones se complementarán con su análisis de resultados e interpretaciones sobre el comportamiento dinámico de los sistemas estudiados.

Bibliografía:

Poincaré, H. (1890). Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique. Acta Mathematica, 13, 1 – 270.

Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. Journal of the Atmospheric Sciences, 20(2), 130 – 141.

Valtonen, M., & Karttunen, H. (2006). The three-body problem. Cambridge University Press.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Procesos físicos en meteorología urbana
Title:	Urban meteorology physical processes
Tutor/es:	Mariano Sastre Marugán
E-mail tutor/es:	msastrem@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Comprender las nociones básicas de física atmosférica relacionadas con la meteorología urbana.
- Familiarizarse con el uso de bibliografía específica de Física de la Atmósfera.
- Adquirir destreza en el manejo de datos meteorológicos.

Metodología:

Mediante el uso de bibliografía específica, se espera adquirir el marco conceptual correspondiente. Se analizarán fenómenos concretos mediante el estudio de las principales variables meteorológicas y campos atmosféricos involucrados. Si las circunstancias lo permiten, se valorará la posibilidad de participar en una campaña de medidas para la adquisición de datos.
Es recomendable contar con un manejo básico de un lenguaje de programación, y haber superado o estar cursando las asignaturas "Física de la atmosfera" (3º), "Fundamentos de Meteorología" (4º), "Geofísica y Meteorología Aplicadas" (4º) y "Bases Físicas del Cambio Climático" (4º).

Bibliografía:

- Ahrens, C.D., & Henson R. (2018). Meteorology Today, 12ª edición. Cengage.

- National Research Council, Division on Earth, Life Studies, Board on Atmospheric Sciences, Committee on Urban Meteorology, Scoping the Problem, & Defining the Needs. (2012). Urban meteorology: Forecasting, monitoring, and meeting users' needs. National Academies Press.

- Stull, R. B. (2017). Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science. U. British Columbia. https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical_Meteorology

- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006).Atmospheric science: an introductory survey(Vol. 92). Elsevier.

- Wyngaard, J. C. (2010). Turbulence in the Atmosphere. Cambridge University Press.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Horizontes de predictibilidad en sistemas complejos
Title:	Predictability horizons in complex systems
Tutor/es:	Mariano Sastre Marugán
E-mail tutor/es:	msastrem@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

La predictibilidad es un tema central de la física moderna, y en particular de la física de la atmósfera y del clima, donde ecuaciones como las de Navier-Stokes imponen límites intrínsecos a la precisión de las predicciones, aun siendo dichas ecuaciones deterministas. El principal objetivo del trabajo es explorar hasta qué punto tales límites pueden ser una característica universal de los sistemas dinámicos complejos, examinando un dominio distinto: el ajedrez. También en ajedrez, a pesar de contar con reglas totalmente deterministas, la combinación de posibilidades hace que la predicción a largo plazo resulte prácticamente imposible. Usando conceptos físicos, como los de la teoría del caos, se explorará la posibilidad de definir y medir un horizonte de predictibilidad en ajedrez. Paralelamente, otro objetivo del trabajo es adquirir destreza en el uso de bases de datos.

Metodología:

Se cuantificará cómo se propagan a lo largo del tiempo pequeñas diferencias en las elecciones iniciales de movimientos en partidas de ajedrez, produciendo un análogo empírico del crecimiento del error en las predicciones atmosféricas. El análisis resultante se podría comparar con resultados consolidados en predicción meteorológica, incluyendo el horizonte de pronóstico de centros operativos como el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF, por sus siglas en inglés).
Es recomendable manejar un lenguaje de programación (preferiblemente, Python), y haber superado o estar cursando las asignaturas “Física de la atmosfera” (3º), “Fundamentos de Meteorología” (4º), “Geofísica y Meteorología Aplicadas” (4º) y “Bases Físicas del Cambio Climático” (4º).

Bibliografía:

- Lorenz, E.N. (2000). La esencia del caos : un campo de conocimiento que se ha convertido en parte importante del mundo que nos rodea. Debate.
- Palmer, T. (2014). Predictability of weather and climate. Cambridge University Press.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Modulación del transporte de polvo sahariano y sus impactos en ecosistemas atlánticos y amazónicos
Title:	Modulation of Saharan Dust Transport and Its Impacts on Atlantic and Amazonian Ecosystems
Tutor/es:	Belén Rodríguez de Fonseca, Víctor Galván Fraile
E-mail tutor/es:	brfonsec@ucm.es, vgalva01@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El polvo mineral es un aerosol atmosférico muy abundante, representando alrededor de un 35% de toda la masa de aerosoles con un diámetro menor que 10 μm (PM10). Tiene un papel fundamental en el sistema climático. Por un lado, altera el balance radiativo en la atmósfera a través de la absorción y dispersión de la radiación solar e infrarroja. Por otro lado, afecta a la formación y ciclo de vida de las nubes actuando como núcleo de condensación sobre el que se agregan las partículas de agua. Además, es una fuente muy importante de hierro, que tiene un gran efecto fertilizador en los ecosistemas terrestres y marinos.

Las mayores fuentes de polvo se encuentran localizadas a lo largo del denominado cinturón global del polvo, que cubre desde el norte de África, Oriente Medio, Asia Central y el norte de India. Aunque los aerosoles son esencialmente partículas naturales emitidas por mecanismos físicos, una parte de sus emisiones se deben también a actividades antropogénicas. Concretamente, las fuentes naturales de polvo corresponden a aproximadamente el 75% de las emisiones. De ellas, se ha estimado que el 55% provienen del desierto del Sáhara.

El objetivo de este trabajo será establecer las relaciones entre la variabilidad del polvo del Sáhara y sus impactos tanto en el ecosistema de la cuenca del Amazonas como en los afloramientos costeros de Mauritania-Senegal y de Brasil. Asimismo, se buscará analizar los patrones dinámicos asociados a una mayor emisión y transporte de polvo, estudiando posibles moduladores de dicha variabilidad.

Metodología:

Se van a tomar datos de satélite de polvo del Sáhara (a partir de la profundidad óptica de los aerosoles (AOD)) y se van a relaciones con variables atmosféricas como el viento, el geopotencial, la temperatura de la superficie del mar y la precipitación. Estos datos provienen tanto de bases observacionales como de reanálisis climáticos.

También se emplearán datos de clorofila satelital y del índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI), como variables que reflejan la función fotosintética de los diferentes ecosistemas objetos de este estudio.

Con estos datos, se va a realizar un análisis multivariante con el fin de establecer las relaciones entre la variabilidad del polvo y las variables atmosféricas y oceánicas, analizando posibles mecanismos dinámicos que puedan reflejar una casualidad entre las variables.

Bibliografía:

Wang, C., Dong, S., Evan, A. T., Foltz, G. R., & Lee, S. K. (2012). Multidecadal covariability of North Atlantic sea surface temperature, African dust, Sahel rainfall, and Atlantic hurricanes. Journal of Climate, 25(15), 5404-5415.

Swap, R., Garstang, M., Greco, S., Talbot, R., & Kållberg, P. (1992). Saharan dust in the Amazon Basin. Tellus B, 44(2), 133-149.

Ohde, T., & Siegel, H. (2010). Biological response to coastal upwelling and dust deposition in the area off Northwest Africa. Continental Shelf Research, 30(9), 1108-1119.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Impacto del vórtice polar en la pista de tormentas Atlántica
Title:	Polar vortex impact on the Atlantic storm track
Tutor/es:	Pablo Zurita Gotor
E-mail tutor/es:	pzurita@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

-Entender el concepto de storm track y su relación con la circulación general atmosférica

-Analizar la relación entre la storm track Atlántica y la intensidad de la circulación estratosférica

-Aprender a manipular campos atmosféricos en malla y representarlos gráficamente

-Adquirir nociones básicas de análisis de datos

-Desarrollar capacidad crítica de interpretación de resultados

Metodología:

En primer lugar, el alumno se familiarizará con el concepto de storm track y con los aspectos básicos de la circulación general usando bibliografía suministrada por el tutor. Es recomendable, pero no imprescindible, que el alumno haya cursado previamente la asignatura de Fundamentos de Meteorología.

El alumno desarrollará un método para estimar la storm track Atlántica a partir de la velocidad meridiana de escala sinóptica filtrada, y documentará sus principales características.

Se construirá un índice para caracterizar la intensidad media invernal del vórtice polar, y se comparará la estructura e intensidad de la storm track para valores extremos de este índice.

Finalmente, se estudiarán los impactos en la Península Ibérica de estas variaciones en la storm track.

Si este trabajo es elegido por varios alumnos, cada uno de ellos usará datos de un reanálisis distinto.

Bibliografía:

Chang, Lee and Swanson (2002). Storm track dynamics. J. Climate, 15, 2163-2183

Wallace, J. M., Battisti, D. S., Thompson, D. W., & Hartmann, D. L. (2023). The atmospheric general circulation. Cambridge University Press.

Kidston, J., Scaife, A., Hardiman, S. et al. (2015). Stratospheric influence on tropospheric jet streams, storm tracks and surface weather. Nature Geosci 8, 433–440 . https://doi.org/10.1038/ngeo2424

Baldwin, M. P., & Dunkerton, T. J. (2001). Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes. Science, 294(5542), 581-584.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Impacto del cambio climático en la recuperación de la capa de ozono
Title:	Impact of climate change on ozone layer recovery
Tutor/es:	Marta Ábalos Álvarez
E-mail tutor/es:	mabalosa@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto que tiene el cambio climático, o más en concreto su causa, el aumento de gases de efecto invernadero, sobre la evolución de la capa de ozono desde la actualidad hasta el final del siglo XXI. La destrucción de la capa de ozono en la estratosfera durante las últimas décadas del siglo pasado se está empezando a revertir gracias al cumplimiento del Protocolo de Montreal que prohibió las emisiones de sustancias nocivas para esta capa. Sin embargo, las emisiones de gases de efecto invernadero siguen aumentando, y estas producen modificaciones fundamentales en la estructura térmica y dinámica de la estratosfera. Se analizará la influencia de estos cambios en la rapidez con la que se produce la recuperación de la capa de ozono en las distintas regiones de la Tierra.

Metodología:

Se realizará una revisión bibliográfica basada principalmente en los últimos Informes sobre la destrucción de la capa de ozono de la Organización Meteorológica Mundial. Se examinarán simulaciones de un modelo climático. Según el interés del/la alumna se examinará la región extratropical, donde se observa una 'super-recuperación', o la tropical, donde se llega a revertir la recuperación de la capa de ozono en respuesta al cambio climático. Se recomienda haber cursado las asignaturas Física de la Atmósfera, Fundamentos de Meteorología y Bases Científicas del Cambio Climático. Se recomienda una buena comprensión lectora de inglés, y es deseable un nivel medio de programación en MATLAB, Python o similar.

Bibliografía:

WMO (World Meteorological Organization), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022, Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022, GAW Report No. 278, 509 pp., WMO, Geneva, 2022. https://csl.noaa.gov/assessments/ozone/2022/

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Detectando la huella humana en la temperatura estratosférica
Title:	Detecting the human fingerprint on stratospheric temperature
Tutor/es:	Marta Ábalos Álvarez
E-mail tutor/es:	mabalosa@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Syukuro Manabe obtuvo el premio Nobel de Física en 2021 por su trabajo que sentó las bases de la modelización del cambio climático. Utilizando un modelo simple de convección-radiación, Manabe y Wetherald (1967) aumentaron los niveles de CO_2 atmosférico, obteniendo un calentamiento de la troposfera (la capa inferior de la atmósfera) y un enfriamiento de la estratosfera (la capa por encima de esta). Hoy en día se han replicado estos resultados con un gran número de modelos climáticos de alta complejidad, y se han observado los cambios en temperatura predichos. Mientras que el calentamiento de la superficie terrestre y la troposfera reciben mucha atención por su importancia para la vida sobre la Tierra, el enfriamiento estratosférico durante las últimas décadas ha sido de mayor magnitud (2ºC), y proporciona una de las evidencias más claras disponibles del impacto del ser humano en el clima. En este TFG se estudiará la evolución de la temperatura global en función de la altura desde la superficie hasta la estratopausa (50 km de altura) utilizando datos de modelos climáticos, y se comparará con las observaciones publicadas en la literatura.

Metodología:

Se leerá la bibliografía recomendada por la tutora. Para el estudio de la temperatura se utilizarán datos de modelos climáticos proporcionados por la tutora y se realizarán códigos en software científico (matlab, python,...). Se recomienda haber cursado o estar cursando las asignaturas de Física de la Atmósfera, Fundamentos de Meteorología y Bases Físicas del Cambio Climático.

Bibliografía:

IPCC, 2021: 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, In press, doi:10.1017/9781009157896.

Manabe, S., and R. T. Wetherald, 1967: Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity. J. Atmos. Sci., 24, 241–259, https://doi.org/10.1175/1520-0469(1967)024<0241:TEOTAW>2.0.CO;2.

B.D. Santer, S. Po-Chedley, L. Zhao, C. Zou, Q. Fu, S. Solomon, D.W.J. Thompson, C. Mears, & K.E. Taylor, Exceptional stratospheric contribution to human fingerprints on atmospheric temperature, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 120 (20) e2300758120, https://doi.org/10.1073/pnas.2300758120 (2023).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Veracidad de la sabiduría popular sobre el clima en España
Title:	Validity of popular climate wisdom in Spain
Tutor/es:	José Manuel Garrido Pérez, Ricardo García Herrera
E-mail tutor/es:	josgarri@ucm.es, rgarciah@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo principal evaluar hasta qué punto se cumplen algunos refranes populares españoles relacionados con la meteorología, contrastándolos con datos observacionales provenientes del reanálisis ERA5 del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio (ECMWF). La tradición oral ha transmitido durante siglos numerosos dichos que reflejan una aparente relación entre fenómenos atmosféricos y ciertas épocas del año, comportamientos animales, fechas señaladas o características astronómicas. Aunque estas afirmaciones han sido empleadas como herramienta empírica para prever el tiempo, rara vez han sido validadas científicamente. Los objetivos específicos del trabajo son:

- Realizar una recopilación y selección razonada de refranes meteorológicos españoles con formulación explícita (ej. “En abril, aguas mil”).
- Traducir cada refrán seleccionado en hipótesis meteorológicas verificables, identificando las variables físicas implicadas (precipitación, temperatura, viento, etc.), el marco temporal y, si procede, espacial.
- Analizar estadísticamente si las relaciones propuestas por los refranes se cumplen utilizando series temporales de datos meteorológicos del reanálisis ERA5 en España.
- Evaluar si las posibles relaciones tienen un carácter general o presentan patrones espaciales (por ejemplo, si se cumplen en el norte pero no en el sur de la península).
- Generar visualizaciones gráficas (mapas, series temporales, diagramas de dispersión) que apoyen la interpretación de los resultados.
- Concluir sobre el grado de certeza de los refranes seleccionados: ¿son generalmente ciertos, parcialmente ciertos o falsos desde el punto de vista científico?
- Reflexionar sobre el posible valor predictivo de estos refranes y su interés cultural

Este TFG persigue tanto un análisis riguroso como una divulgación científica accesible y culturalmente atractiva, que conecte ciencia y saber popular.

Metodología:

El trabajo se desarrollará en varias fases:

- Selección de refranes: Revisión de fuentes escritas (libros, recopilaciones populares) y recursos digitales (repositorios del CSIC, blogs etnológicos, etc.) para seleccionar refranes meteorológicos con formulación clara y contenido verificable.
- Traducción a hipótesis científicas: Para cada refrán, se identificará las variables meteorológicas relevantes (precipitación, temperatura, viento, nubosidad…) así como el periodo temporal de interés (meses, días concretos, estaciones). En caso de que se asignen varios TFGs para este tema, se utilizarán distintos refranes para cada uno.
- Recopilación de datos: Se emplearán datos diarios o subdiarios del reanálisis ERA5, accediendo a través de plataformas como Copernicus Climate Data Store, con cobertura para España desde el año 1940.
- Procesamiento y análisis de datos: Se realizará un tratamiento estadístico básico (frecuencia, correlaciones, medias móviles, percentiles, anomalías, etc.) usando algún lenguaje de programación. Para cada refrán se contrastará si se cumple en promedio, en qué porcentaje de los años, o en qué regiones.
- Visualización y síntesis: Se elaborarán gráficos y mapas para ilustrar los resultados. Se categorizará cada refrán como “verificado”, “parcialmente verificado” o “no verificado”.
- Reflexión final: Se interpretarán los resultados desde una perspectiva divulgativa y cultural, destacando la conexión entre ciencia y tradición, y considerando si algunos refranes podrían tener base estadística o meteorológica localizada.

Bibliografía:

García de Pedraza, L. (2011). Los refranes, el santoral y la meteorología.

Hernáez, P. (1999). Evaluación del valor científico de los refranes como fuentes indirectas de información climática. Lurralde, 22, 323-338.

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly journal of the royal meteorological society, 146(730), 1999-2049.

Hurtado González, L. (2017). Los refranes desde un punto de vista meteorológico.

Kleiser, L. M. (1978). Refranero general ideológico español. Editorial Hernando.

Toharia, M. (1985). Meteorología popular. El Observatorio Ediciones.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Influencia de la circulación atmosférica en el sistema energético europeo
Title:	Influence of the atmospheric circulation on the European energetic system
Tutor/es:	José Manuel Garrido Pérez, Ricardo García Herrera
E-mail tutor/es:	josgarri@ucm.es, rgarciah@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Objetivo general:

Analizar la influencia de la circulación atmosférica a gran escala sobre la variabilidad de la producción de energía renovable (solar y eólica) en Europa.

Objetivos específicos:

- Identificar y caracterizar episodios asociados a distintos sistemas meteorológicos relevantes (p. ej., chorro polar, bloqueos, dorsales, DANAs).
- Cuantificar el impacto de estos sistemas sobre la producción energética a escala nacional.
- Analizar diferencias espaciales en la respuesta del sistema energético entre distintos países europeos.
- Evaluar la variabilidad temporal (diaria, estacional) de dicha relación circulación–energía.
- Explorar posibles relaciones estadísticas entre variables atmosféricas y producción energética.

Metodología:

- Datos meteorológicos: Uso de reanálisis atmosféricos (p. ej., ERA5) para caracterizar variables clave (viento, radiación, geopotencial, etc.).
- Identificación de sistemas: Empleo de catálogos existentes de sistemas meteorológicos (chorro polar, bloqueos, dorsales, DANAs) que permitan identificar episodios y sus características. En caso de que se asignen varios TFGs para este tema, se utilizarán distintos sistemas meteorológicos para cada uno.
- Datos energéticos: Uso de bases de datos abiertas de producción energética (p. ej., Renewables.ninja) a escala nacional.

Análisis estadístico:

- Composición de anomalías de producción energética condicionadas a la ocurrencia de distintos sistemas atmosféricos.
- Cálculo de métricas de impacto (anomalías , percentiles...).
- Análisis de correlaciones y/o modelos estadísticos simples.
- Análisis espacial y temporal: Comparación entre países y análisis de la dependencia estacional de los resultados.

Bibliografía:

Barriopedro, D., Ayarzagüena, B., García-Burgos, M., & García-Herrera, R. (2023). A multi-parametric perspective of the North Atlantic eddy-driven jet. Climate Dynamics, 61(1), 375-397. https://doi.org/10.1007/s00382-022-06574-w

Sousa P.M., Barriopedro D., García-Herrera R., Woollings T., Trigo R.M. (2021): A New Combined Detection Algorithm for Blocking and Subtropical Ridges. Journal of Climate, 34, 7735–7758. doi: 10.1175/JCLI-D-20-0658.1

Engeland, K., Borga, M., Creutin, J. D., François, B., Ramos, M. H., & Vidal, J. P. (2017). Space-time variability of climate variables and intermittent renewable electricity production–A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79, 600-617. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.046

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Influencia de la meteorología en la contaminación atmosférica
Title:	Meteorological drivers of air pollution
Tutor/es:	Carlos Ordóñez García
E-mail tutor/es:	carlordo@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Comprender la influencia de las condiciones meteorológicas en las concentraciones de los principales contaminantes atmosféricos (ej. ozono superficial, partículas en suspensión u óxidos de nitrógeno) y en los episodios de contaminación.

Identificar las variables meteorológicas que más afectan a los contaminantes y cuantificar su importancia relativa mediante procedimientos estadísticos sencillos.

Interpretar el sentido físico de los resultados.

Metodología:

Se introducirá a los estudiantes la temática y una selección reducida de la bibliografía indicada en el siguiente apartado.

A continuación, se suministrará a cada estudiante una serie temporal de varios años de duración con concentraciones diarias de uno o más contaminantes y valores diarios de diversas variables meteorológicas. Cada estudiante trabajará de forma individual con datos procedentes de una estación de medida distinta.

Los estudiantes crearán modelos de regresión múltiple de diversa complejidad para reproducir las concentraciones diarias de uno o más contaminantes en función de las variables meteorológicas disponibles e interpretarán los resultados.

Los análisis se realizarán preferiblemente con R (http://www.r-project.org), lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico. Se proporcionará un código inicial en ese lenguaje que podrá ser adaptado por los estudiantes. Si algún estudiante prefiriera trabajar con otro lenguaje de programación como Python, podría generar su propio código a partir de las indicaciones proporcionadas por el tutor.

Se recomienda haber cursado “Física de la Atmósfera” y “Estadística y Análisis de Datos”.

Bibliografía:

Barmpadimos I. et al. (2011). Influence of meteorology on PM10 trends and variability in Switzerland from 1991 to 2008. Atmos. Chem. Phys., 11, 1813 -1835.

Dawson J.P. et al. (2014). Understanding the meteorological drivers of U.S. particulate matter concentrations in a changing climate. Bull. Am. Meteorol. Soc., 95, 521–532.

Garrido-Perez J.M. et al. (2021). Assessing the value of air stagnation indices to reproduce PM10 variability in Europe. Atmos. Res., 248, 105258.

Jacob D.J. & Winner D.A. (2009). Effect of climate change on air quality. Atmos. Environ., 43, 51–63.

Ordóñez C. et al. (2005). Changes of daily surface ozone maxima in Switzerland in all seasons from 1992 to 2002 and discussion of summer 2003. Atmos. Chem. Phys., 5, 1187-1203.

Ordóñez C. et al. (2020). Early spring near-surface ozone in Europe during the COVID-19 shutdown: Meteorological effects outweigh emission changes. Sci. Total Environ., 747, 141322.

Otero N. et al. (2016). Synoptic and meteorological drivers of extreme ozone concentrations over Europe. Environ. Res. Lett., 11, 024005.

Tai et al. (2010). Correlations between fine particulate matter (PM2.5) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM2.5 to climate change. Atmos. Environ., 44, 3976–3984.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Proyecciones de la contribución futura del manto de hielo de Groenlandia al aumento del nivel del mar global
Title:	Projecting the Greenland ice-sheet contribution to the global sea level rise
Tutor/es:	Marisa Montoya Redondo, Lucía Gutiérrez González
E-mail tutor/es:	mmontoya@ucm.es, lucgut03@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Debido al cambio climático, en las últimas décadas el manto de hielo de Groenlandia (GrIS por sus siglas en inglés) ha experimentado pérdidas de hielo que son cada vez más rápidas. Además, se espera que en las próximas décadas este sea uno de los principales contribuidores al aumento del nivel del mar global. Este constituye uno de los principales impactos del cambio climático futuro, por cuanto afectaría a los millones de personas que viven o dependen de las comunidades costeras. Sin embargo, existen muchas incertidumbres asociadas a las proyecciones. Las principales están relacionadas con los escenarios de calentamiento climático futuro, pero otras están asociadas a la representación de la física en los modelos o a la sensibilidad de estos al forzamiento atmosférico y oceánico.En este TFG se proponen como objetivos:- Comprender cuáles son los procesos importantes para la evolución del GrIS en el contexto de calentamiento global. - Estudiar la contribución futura del GrIS simulada por un modelo de mantos de hielo desarrollado en la UCM para distintos escenarios de calentamiento futuro.- Cuantificar la incertidumbre que hay en estas proyecciones asociadas a procesos clave para la dinámica y la evolución del hielo.

Metodología:

Habrá una reunión inicial con la/el alumna/o en la que se explicará en detalle el trabajo a realizar, se facilitará el guión del trabajo a desarrollar y se proporcionará la bibliografía necesaria para el trabajo. Posteriormente se interaccionará con la profesora responsable a través de tutorías.

Se revisará bibliografía previa para comprender los procesos que gobiernan la dinámica y la evolución de los mantos de hielo, así como el funcionamiento en términos generales de los modelos que los simulan. Se revisarán también trabajos previos de cuantificación de incertidumbres en las proyecciones de aumento del nivel del mar.

Se entregará al alumno/a una serie de simulaciones de la evolución del GrIS para su análisis mediante el lenguaje de programación de su elección.

Opcionalmente y a preferencia del estudiante se podrán realizar nuevas simulaciones que exploren el efecto de otros procesos en el aumento del nivel del mar.

Bibliografía:

Goelzer, H., Nowicki, S., Payne, A., Larour, E., Seroussi, H., Lipscomb, W. H., Gregory, J., Abe-Ouchi, A., Shepherd, A., Simon, E., Agosta, C., Alexander, P., Aschwanden, A., Barthel, A., Calov, R., Chambers, C., Choi, Y., Cuzzone, J., Dumas, C., Edwards, T., Felikson, D., Fettweis, X., Golledge, N. R., Greve, R., Humbert, A., Huybrechts, P., Le clec'h, S., Lee, V., Leguy, G., Little, C., Lowry, D. P., Morlighem, M., Nias, I., Quiquet, A., Rückamp, M., Schlegel, N.-J., Slater, D. A., Smith, R. S., Straneo, F., Tarasov, L., van de Wal, R., and van den Broeke, M.: The future sea-level contribution of the Greenland ice sheet: a multi-model ensemble study of ISMIP6, The Cryosphere, 14, 3071 – 3096, https://doi.org/10.5194/tc-14-3071-2020, 2020.

Robinson, A., Alvarez-Solas, J., Montoya, M., Goelzer, H., Greve, R., and Ritz, C.: Description and validation of the ice-sheet model Yelmo (version 1.0), Geosci. Model Dev., 13, 2805 – 2823, https://doi.org/10.5194/gmd-13-2805-2020, 2020.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Cambios futuros en la ruptura final del vórtice polar estratosférico
Title:	Future changes in the final breakdown of the stratospheric polar vortex
Tutor/es:	Blanca Ayarzagüena Porras, Daniel de Maeseneire Martínez
E-mail tutor/es:	bayarzag@ucm.es, ddemaese@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Aprender los aspectos básicos de la dinámica estratosférica y en especial, de la transición de la circulación típica de invierno a la de verano en la estratosfera polar.
- Conocer los cambios en la estratosfera polar en el futuro en distintos escenarios de cambio climático.
- Estudiar los posibles cambios en la ruptura final del vórtice polar bajo condiciones de cambio climático antrópico.
- Adquirir conocimientos en el manejo de salidas de modelos climáticos.

Metodología:

1. Lectura de la bibliografía facilitada por los tutores para aprender los conocimientos básicos de la dinámica estratosférica y el impacto en ésta del cambio climático antrópico.

2. Análisis de la ruptura final del vórtice en el pasado reciente en modelos climáticos y su comparación con las observaciones.

3. Estudio de los cambios en la estratosfera polar a finales de invierno y primavera en el futuro bajo distintas condiciones prescritas de cambio climático antrópico mediante el uso de simulaciones climáticas y aplicando herramientas estadísticas.

Bibliografía:

1. Guión elaborado por los docentes responsables de la dirección del trabajo.
2. Dessler, A. (2022) Introduction to Modern Climate Change, Cambridge University Press.
3. Gorgas, J., N. Cardiel y J. Zamorano: Estadística básica para estudiantes de Ciencias. UCM.
4. Baldwin, M. P., Ayarzagüena, B.,Birner, T., Butchart, N., Butler, A. H.,Charlton-Perez, A. J., et al. (2021). Sudden stratospheric warmings. Reviews of Geophysics, 59, e2020RG000708. https://doi.org/10.1029/2020RG000708
5. Waugh, D. W., Sobel, A. H., & Polvani, L. M. (2017). What is the polar vortex and how does it influence weather?. Bulletin of the American Meteorological Society, 98(1), 37-44. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00212.1
6. Ayarzagüena, B., Charlton-Perez, A. J. et al. (2020): Uncertainty in the response of sudden stratospheric warmings and stratosphere-troposphere coupling to quadrupled CO2 concentrations in CMIP6 models, Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125, e2019JD032345, https://doi.org/10.1029/2019JD032345

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Impacto de la variabilidad climática en la sociedad
Title:	Climate variability impact on society
Tutor/es:	Belén Rodríguez de Fonseca, Irene Polo Sánchez
E-mail tutor/es:	brfonsec@ucm.es, ipolo@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo explorar y analizar de forma crítica y analítica la importancia del estudio de la variabilidad climática en distintos ámbitos sociales, tales como la salud, el acceso al agua, los ecosistemas marinos y terrestres, la agricultura, la energía, la economía, las migraciones o los conflictos, con el fin de comprender los impactos del cambio climático en diferentes regiones del planeta. A partir de la revisión bibliográfica existente y del análisis conjunto de datos climatológicos y sociales, se evaluará la situación de vulnerabilidad y riesgo de distintas regiones del mundo, prestando especial atención a áreas de alto interés como América Central, el área Mediterránea, el Norte de África y el continente marítimo.

Metodología:

El alumnado elegirá un aspecto social concreto sobre el que abordar el impacto de la variabilidad climática, desarrollando el trabajo en tres fases diferenciadas.

- En primer lugar, se llevará a cabo un estudio del estado del arte mediante la recopilación bibliográfica sobre la influencia de la variabilidad climática en el aspecto social seleccionado, identificando las relaciones documentadas en la literatura científica.
- En segundo lugar, se procederá al diseño e integración de metodología y datos, compilando datos climatológicos observados disponibles desde 1900, como precipitación, humedad del suelo o temperatura del aire, junto con datos del Banco Mundial y otras fuentes sobre variables sociales y migraciones en distintas regiones del planeta; estos datos permitirán verificar física y estadísticamente las relaciones identificadas en la bibliografía, distinguiendo entre tendencias a largo plazo y variabilidad interdecadal, así como realizar estudios de sensibilidad para corroborar la existencia de dicho impacto.
- Finalmente, en la tercera fase se llevará a cabo la aplicación de la metodología a los datos recopilados, incluyendo el análisis de proyecciones futuras, la definición de los factores que condicionan la vulnerabilidad de las regiones estudiadas y la extracción de conclusiones sobre el riesgo climático en los territorios de interés.

Bibliografía:

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Análisis de la circulación océanica usando machine learning
Title:	Analysis of ocean circulation using machine learning
Tutor/es:	Irene Polo, Víctor Galván
E-mail tutor/es:	ipolo@um.es, vgalva01@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Los océanos regulan el clima terrestre a través de dos grandes sistemas de circulación: la circulación zonal, que describe el movimiento horizontal de las masas de agua impulsado por los vientos y gradientes de presión, y la circulación meridional, asociada a flujos norte-sur generados por diferencias de temperatura y salinidad, cuya expresión más relevante es la Circulación de Retorno Meridional del Atlántico (AMOC). Ambos sistemas redistribuyen calor, sal y carbono a escala global, modulando fenómenos como El Niño o la variabilidad del nivel del mar. En un contexto de cambio climático, predecir estas dinámicas es uno de los grandes retos de la oceanografía física, y las técnicas de machine learning han emergido como herramientas prometedoras para extraer patrones no lineales de grandes volúmenes de datos oceanográficos y mejorar la capacidad predictiva frente a los modelos físicos tradicionales. El objetivo general es evaluar la capacidad de modelos de machine learning para predecir variables representativas de la circulación oceánica zonal y meridional a partir de datos de reanálisis climático y/o modelos.

* Revisar el estado del arte en la aplicación de aprendizaje automático a la predicción de circulación oceánica.
* Seleccionar y preprocesar datos de reanálisis oceánico (GLORYS, ORAS5) con variables como temperatura, salinidad y velocidades de corriente.
* Establecer un marco de aprendizaje automático: preprocesamiento de datos, construcción y entrenamiento de los modelos, y validación de la capacidad predictiva de los mismos.
* Analizar las predicciones de los modelos de machine learning y deep learning entrenados a partir de datos de circulación general y/o de las observaciones disponibles.

Metodología:

- Revisión bibliográfica para entender los forzamiento y la circulación oceánica media.

- Identificación de datos de reanálisis oceánico procedentes de productos como GLORYS12 u ORAS5, que proporcionan series temporales de variables físicas, temperatura, salinidad, velocidad de corriente y altura del nivel del mar, con resolución espacial y temporal suficiente para caracterizar la circulación zonal y meridional.

- Análisis estadístico de series temporales de regiones elegidas. Cálculo de medias y anomalías. Identificación de eventos extremos.

- la selección de la región de estudio, se construirán los conjuntos de entrenamiento, validación y test
- Implementación y comparación de distintos modelos de machine learning, junto con modelos de referencia más simples. Se usarán cuadernos python en abierto.

- Comparación de la capacidad predictiva de diferentes modelos de machine learning y deep learning para la predicción del comportamiento de la circulación oceánica mediante métricas estándar. Interpretación de resultados.

Bibliografía:

Descriptive physical oceanography, L. Talley, G. Pickard, W. Emery y J Swift (Elsevier, 6ª Edición, 2011).

Frajka-Williams, E. y co-autores. (2019) Atlantic Meridional Overturning Circulation: Observed Transport and Variability. Frontiers in Marine Science, 6.

McCarthy G.D., (2015) Measuring the Atlantic Meridional Overturning Circulation at 26N. Progress Oceanogr. 130.

Géron, A. (2022). Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. " O'Reilly Media, Inc.".

Ham, Y. G., Kim, J. H., & Luo, J. J. (2019). Deep learning for multi-year ENSO forecasts. Nature, 573(7775), 568-572.

Zhai, Z. M., Moradi, M., Panahi, S., Wang, Z. H., & Lai, Y. C. (2024). Machine-learning nowcasting of the atlantic meridional overturning circulation. APL Machine Learning, 2(3).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Tendencias climáticas recientes en la región atlántica
Title:	Climatic trends in the Atlantic region
Tutor/es:	Teresa Losada Doval, Marta Martín del Rey
E-mail tutor/es:	tlosadad@ucm.es, martam01@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Conocer la variabilidad climática presente del océano Atlántico tropical así como los posibles impactos que el cambio climático tiene en la misma. Para ello el/la estudiante deberá:

- Entender las principales caraterísticas de la variabilidad de la región seleccionada y los cambios que ha sufrido en las últimas décadas.
- Entender el efecto que el calentamiento global tiene en dichos cambios.
- Aprender a calcular y representar patrones de variabilidad climática.

Metodología:

Al estudiante se le asignará una región del Atlántico Tropical: Atlántico Tropical Norte o Atlántico Ecuatorial. Se realizará una revisión bibliográfica de las principales características de la climatología y variabilidad de la temperatura de la superficie del mar de la región seleccionada, así como sus tendencias recientes en relación con el cambio climático.
Usando datos de temperatura de la superficie del mar se hará un análisis de dichas tendencias y se relacionará con el calentamiento global.

Bibliografía:

- Hannachi, A., et al. (2007). Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. International journal of climatology, 27(9), 1119-1152.
- Lubbecke et al (2018) Equatorial Atlantic variability —Modes, mechanisms, and global teleconnections. WIREs Clim Change 9 (4): e52.
- Amaya, D. J., DeFlorio, M. J., Miller, A. J., & Xie, S. P. (2017). WES feedback and the Atlantic meridional mode: Observations and CMIP5 comparisons. Climate Dynamics, 49, 1665-1679.
- Yang, Y., Wu, L., Guo, Y., Gan, B., Cai, W., Huang, G., ... & Xie, S. P. (2021). *Greenhouse warming intensifies north tropical Atlantic climate variability, Sci. Adv., 7, eabg9690*

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Un modelo inverso lineal (LIM) para el estudio de la variabilidad del océano ecuatorial
Title:	A linear inverse model (LIM) for studying equatorial variability
Tutor/es:	Teresa Losada Doval, Belén Rodríguez de Fonseca
E-mail tutor/es:	tlosadad@ucm.es, brfonsec@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Este trabajo propone el uso de un modelo inverso lineal (LIM, *Linear Inverse Model*) para estudiar la variabilidad del Pacífico ecuatorial y su predictibilidad a partir de la variabilidad del Atlántico tropical.
El LIM es una herramienta que, a partir de datos observacionales o de reanálisis, estima el operador lineal que mejor describe la evolución de un sistema multivariante. Su fortaleza radica en que no requiere suponer ningún mecanismo a priori: el propio ajuste a los datos extrae la dinámica dominante , separa la parte determinista de la estocástica, y permite generar predicciones y estudiar la predictibilidad del sistema.
Este trabajo propone construir un LIM para el Pacífico ecuatorial, con el objetivo de cuantificar su predictibilidad a partir de la variabilidad del Niño Atlántico.

- Comprender los fundamentos del LIM y su relación con el análisis de EOF y la teoría de sistemas lineales estocásticos.
- Estimar el operador lineal **L** y verificar la linealidad del sistema mediante el test de consistencia de Tau ($G(2\tau) \approx G(\tau)^2$).
- Identificar los modos normales y los vectores singulares óptimos del LIM, interpretarlos físicamente y conectarlos con los mecanismos conocidos del niño atlántico (Bjerknes, termoclina).
- Evaluar la predictibilidad del sistema: horizontes de predicción útil, estacionalidad de la habilidad predictiva, y comparación con predicciones de modelos de circulación general.
- Explorar el papel del forzamiento remoto del Atlántico sobre el fenómeno ENSO dentro del marco del LIM.

Metodología:

Revisión bibliográfica sobre el Niño Atlántico y el fenómeno ENSO, así como sus interacciones. Asimismo, revisión bibliográfica del LIM y sus aplicaciones en predicción climática

Descarga y preprocesamiento de reanálisis ERA5 (vientos, precipitación) y datos de TSM (OISST o HadISST). Definición de la región de estudio y variables de estado.

Cálculo de EOFs, estimación de $G(\tau)$ para distintos retardos, inversión matricial y obtención de L. Verificación del test de consistencia y diagnóstico del ruido estocástico Q.

Cálculo de valores propios de L, vectores singulares óptimos (amplificación transitoria), y experimentos de predicción en modo leave-one-out. Diagnóstico de la habilidad predictiva en función del lead time y la época del año.

Análisis del papel del Atlántico como forzamiento remoto de ENSO: inclusión del índice Atl3 (Atl4) como variable adicional y cuantificación de su influencia en la predictibilidad del ENSO.

Bibliografía:

Capotondi, A., Newman, M., Xu, T., & Di Lorenzo, E. (2022). An optimal precursor of Northeast Pacific marine heatwaves and Central Pacific El Niño events. *Geophysical Research Letters*, *49*(5), e2021GL097350.

Rodríguez-Fonseca, B., Polo, I., García-Serrano, J., Losada, T., Mohino, E., Mechoso, C. R., & Kucharski, F. (2009). Are Atlantic Niños enhancing Pacific ENSO events in recent decades?. *Geophysical Research Letters*, *36*(20).

Zhao, Y., & Capotondi, A. (2026). Interactions between Tropical Atlantic and Tropical Pacific in CMIP6 Models. *Journal of Climate*, *39*(9), 2097-2116.

Zhao, Y., & Capotondi, A. (2024). The role of the tropical Atlantic in tropical Pacific climate variability. *npj Climate and Atmospheric Science*, *7*(1), 140.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Modelización del colapso de la AMOC: implementación y análisis del modelo de Stommel
Title:	Modeling the Collapse of the AMOC: Implementation and Analysis of the Stommel Model
Tutor/es:	Teresa Losada Doval, Irene Polo Sánchez
E-mail tutor/es:	tlosadad@ucm.es, ipolo@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

La Circulación de Retorno Meridional del Atlántico (AMOC) es uno de los sistemas climáticos más importantes del planeta, clave en la redistribución energética global

En el contexto de calentamiento global en el que nos encontramos, existe un amplio debate científico acerca de si el aumento de la temperatura global podría dar lugar a un debilitamiento de la AMOC que pudiera provocar un colapso de la misma, irreversible a escalas de tiempo humanas.

Frente a esta problemática, el modelo conceptual de Stommel (1961), mediante una formulación matemática simple, captura el mecanismo de retroalimentación positiva entre temperatura, salinidad y circulación termohalina, y reproduce cualitativamente la existencia de múltiples estados estacionarios y transiciones abruptas.

Este trabajo propone implementar y analizar dicho modelo como herramienta para explorar las condiciones bajo las cuales la AMOC podría alcanzar su punto de no retorno, desarrollando los siguientes objetivos:

- Comprender el modelo de Stommel para la circulación termohalina en dos cajas.
- Implementar el modelo numéricamente y reproducir los diagramas de bifurcación que muestran los estados estacionarios de la AMOC.
- Identificar los parámetros críticos (forzamiento de salinidad, contraste de temperatura) que determinan la proximidad al punto de no retorno.

Metodología:

Revisión bibliográfica del artículo original de Stommel (1961), literatura sobre la AMOC y puntos de inflexión climáticos y trabajos recientes sobre señales de alerta temprana del colapso.

Derivación de las ecuaciones del modelo de dos cajas: ecuaciones diferenciales para temperatura y salinidad, función de flujo, y análisis dimensional. Identificación de los parámetros de control.

Codificación del modelo (Python), integración numérica, cálculo de equilibrios y análisis de estabilidad lineal. Reproducción de los diagramas de bifurcación.

Exploración de las condiciones de bifurcación silla-nodo, histéresis, y cuantificación del margen hasta el colapso.

Bibliografía:

Thermohaline convection with two stable regimes of flow. Stommel H., *Tellus* 13.2 (1961): 224-230.

Descriptive physical oceanography, L. Talley, G. Pickard, W. Emery y J Swift (Elsevier, 6ª Edición, 2011).

Ocean Circulation Theory, J. Pedlosky. Springer 2ª ed 1998.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Estudio de la turbulencia y su aplicación a la atmósfera terrestre
Title:	Study of the turbulence and its application to the Earth's atmosphere
Tutor/es:	Carlos Yagüe Anguis
E-mail tutor/es:	carlos@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo es que el alumno realice un estudio bibliográfico del fenómeno físico de la turbulencia* en los fluidos, centrándose especialmente en la turbulencia observada en la baja atmósfera terrestre. Además, como parte aplicada del trabajo, de un modo relativamente sencillo, el alumno podría evaluar el carácter turbulento del flujo atmosférico a partir del análisis de series temporales procedentes de anemómetros sónicos.
(*) La turbulencia es un proceso físico asociado a la naturaleza aparentemente caótica de muchos flujos naturales, que se manifiesta en forma de fluctuaciones irregulares, de la velocidad, temperatura, humedad, contaminantes, etc) alrededor de sus valores medios temporales y espaciales.

Metodología:

- Documentación de aspectos relacionados con la teoría de la turbulencia en dinámica de fluidos y en la atmósfera.

- Análisis de series temporales de alta frecuencia (10-20 Hz) procedentes de anemómetros sónicos instalados en campañas de campo micrometeorológicas: Evaluación y caracterización de la intensidad turbulenta en la baja atmósfera.

Bibliografía:

- Arya, S.P.A. (2001): Introduction to Micrometeorology. Academic Press. 2nd edition, 420 pp.

- Stull, R. B. (1988): An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers, 666 pp.

- Stull, R.B. (2017): Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science. University of British Columbia, 926 pp.

- Wyngaard, J. C. (2010): Turbulence in the Atmosphere. Cambridge University Press, 393 pp.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Estudio de la isla térmica urbana en la ciudad de Madrid
Title:	Study of the urban heat island in Madrid City
Tutor/es:	Carlos Yagüe Anguis
E-mail tutor/es:	carlos@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Este trabajo tiene como objetivo principal analizar el fenómeno de la isla de calor urbana en la ciudad de Madrid, evaluando su intensidad, evolución temporal y variabilidad espacial. Se pretende comparar las diferencias térmicas entre zonas urbanas, periurbanas y rurales mediante el uso de datos observacionales, así como identificar tendencias a largo plazo, que pueden estar asociadas tanto al crecimiento urbano como al cambio climático. Asimismo, se analizarán los principales factores físicos que contribuyen a este fenómeno, como la morfología urbana, el uso del suelo, la radiación, o la ventilación producida por el viento.

Metodología:

La metodología se basa en el análisis de series temporales de datos meteorológicos procedentes de estaciones históricas de AEMET (Retiro, Barajas, Getafe y Cuatro Vientos), complementados con registros de estaciones de la red Meteoclimatic. Se realizará un tratamiento estadístico de los datos, incluyendo cálculo de medias, anomalías, tendencias y extremos térmicos, con el fin de cuantificar la intensidad de la isla de calor urbana. Paralelamente, se abordará un análisis físico del fenómeno, evaluando el papel de variables como la radiación solar, el balance energético, la rugosidad urbana y los procesos de transferencia de calor.

Bibliografía:

La bibliografía incluirá artículos científicos y libros especializados en meteorología y climatología urbana y física de la atmósfera. Se considerarán trabajos clásicos sobre isla de calor urbana, junto con estudios recientes centrados en ciudades europeas y, en particular, en Madrid. Además, se consultarán recursos metodológicos sobre análisis estadístico de datos climáticos y literatura sobre los procesos físicos implicados, tales como el balance radiativo, la transferencia de calor y la interacción superficie-atmósfera:

- Arnfield, A.J., 2003. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. Int. J. Climatol. 23, 1–26. https://doi.org/10.1002/joc.859

- AR6 - IPCC, 2022. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

- Carbone, J., Sanchez, B., Román-Cascón, C., Martilli, A., Royé, D., Yagüe, C., 2024. Effects of the urban development on the near-surface air temperature and surface energy balance: the case study of Madrid from 1970 to 2020. Urban Clim. 58, 102198. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102198

- Landsberg, H., 1981. The Urban Climate. Academic Press

- Salamanca, F., Martilli, A., Yagüe, C., 2012. A numerical study of the Urban Heat Island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. Int. J. Climatol. 32, 2372–2386. https://doi.org/10.1002/joc.3398

- Yagüe, C., Zurita, E., Martinez, A., 1991. Statistical analysis of the Madrid urban heat island. Atmos. Environ. B. Urban Atmos. 25, 327–332. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/095712729190004X. https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90004-X

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Los límites de la predicción meteorológica: Las ecuaciones de Lorenz y el efecto mariposa
Title:	The limits of weather forecasting: Lorenz equations and the butterfly effect
Tutor/es:	Álvaro de la Cámara Illescas
E-mail tutor/es:	acamarai@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

En el año 1963, Eduard N. Lorenz publicó un estudio explorando las soluciones no periódicas de un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias que representan el comportamiento simplificado de la convección er la atmósfera. Este trabajo dio pie al conocido “efecto mariposa”.
Mediante la resolución numérica y análisis de estas ecuaciones, en este trabajo se estudiará la importancia de las condiciones iniciales a la hora de predecir el tiempo, los límites de la predicción meteorológica, y las ventajas de la predicción probabilística o por conjuntos frente a la predicción determinista.

Metodología:

• Programar la resolución numérica de las ecuaciones de Lorenz mediante un esquema tipo Runge-Kutta o similar.
• Explorar el comportamiento de la solución para un amplio rango de parámetros y condiciones iniciales.
• Analizar la bondad del modelo prediciéndose a sí mismo.

Recomendado (no imprescindible): Buen nivel de programación (Matlab, Python, o cualquier lenguaje avanzado). Haber cursado o estar cursando Física de la Atmósfera y Fundamentos de Meteorología.

Bibliografía:

Lorenz, E. N, 1963: Deterministic nonperiodic flows. J. Atmos. Sci., 20, 130-141. URL
Santos Berruguete, C. (Ed.), 2018: Física del caos en la predicción meteorológica. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid. DOI: 10.31978/014-18-009-X.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Impacto de ENSO en el vórtice polar
Title:	ENSO impact on the polar vortex
Tutor/es:	Natalia Calvo Fernández, Daniel de Maeseneire Martínez
E-mail tutor/es:	nataliac@fis.ucm.es, ddemaese@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) tiene un claro impacto sobre la estratosfera polar, modulando su temperatura y circulación, el vórtice polar. A su vez, anomalías del vórtice polar pueden influir en el clima en superficie. En la última década se han identificado distintos tipos de ENSO con distintos patrones de anomalías de temperatura de la superficie del mar en el Pacífico Tropical y con diferente impacto sobre el vórtice polar. En este trabajo se utilizarán datos observacionales (reanalisis) y de simulaciones con modelos de clima para estudiar los posibles impactos que distintos tipos de ENSO tienen sobre el vórtice polar de ambos hemisferios, así como su posible influencia en el clima en superficie.

Metodología:

Se realizará una búsqueda bibliográfica de artículos científicos relacionados con la propagación de ENSO en troposfera y estratosfera, así como sobre los distintos tipos de ENSO y sus características.

2. El alumno se encargará de analizar los impactos en un hemisferio.
3. Se identificarán los distintos tipos de episodios ENSO en los datos utilizados basándonos en diversos índices.
4. Se estudiarán los efectos de los distintos tipos de ENSO sobre el vórtice polar, atendiendo entre otros aspectos a su simetría, linearidad y su posible impacto en el clima en superficie. Para ello el alumno se familiarizará en el uso de herramientas tales como los reanálisis meteorológicos y análisis de datos de simulaciones numéricas.

Bibliografía:

Manzini, E., B. Ayarzagüena, N. Calvo , D. Matei (2024): Nonlinearity and Assymetry of the ENSO stratospheric pahway to North Atlantic and Europe, revisited. JGR-atm., 129, doi:10.1029/2023JD039992.

Benito-Barca, S., N. Calvo and M. Abalos (2022) : Driviing mechanisms for El Niño Southern Oscillation impact on stratospheric ozone. Atm. Chem. Phys., https://doi.org/10.5194/acp-22-15729-2022.

Calvo, N., M. Iza, M. Hurwitz, E. Manzini, C. Peña-Ortiz, A. Butler, C. Cagnazzo, S. Ineson, C. Garfinkel (2017), Northern Hemisphere stratospheric pathway of different El Niño flavours in stratospheric-resolving CMIP5 models. J. Clim., 10.1175/JCLI-D-16-0132.1

Domeisen, D., C. Garfinkel, A., Butler (2018), The teleconnections of El Niño Southern Oscillation to the stratosphere. Rev. Geophys. 10.1029/2018RG000596

Iza, M., and N. Calvo (2015), Role of Stratospheric Sudden Warmings on the response to Central Pacific El Niño, *Geophys. Res. Lett.*, *42*, 2482–2489, doi:10.1002/2014GL062935.

Zubiaurre, I., and N. Calvo (2012), The El Niño-Southern Oscillation (ENSO) Modoki signal in the stratosphere, *J. Geophys. Res.*, *117*, D04104, doi:10.1029/2011JD016690.

Se recomienda que los alumnos hayan cursado o estén cursando las siguientes asignaturas de 4º curso del Grado en Física: Fundamentos de Meteorología y Bases Físicas del Cambio Climático.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2026-27

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Efectos de la pérdida de hielo Ártico en el sistema troposfera-estratosfera
Title:	Effects of Arctic sea ice loss on the stratosphere-troposphere system
Tutor/es:	Blanca Ayarzagüena Porras
E-mail tutor/es:	bayarzag@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Aprender los aspectos básicos de la dinámica troposférica-estratosférica
- Estudiar los cambios en el sistema troposfera-estratosfera causados por la pérdida de hielo en el Ártico
- Adquirir los conocimientos en el manejo de salidas de modelos climáticos.

Metodología:

1. Lectura de la bibliografía para aprender sobre los mecanismos físicos involucrados en la definición de la dinámica troposférica, así como de los efectos del deshielo ártico en la troposfera.
2. Estudio de las estructuras más importantes de la circulación troposférica y estratosférica en invierno en el periodo presente.
3. Análisis de los cambios en la circulación troposférica y en el vórtice polar como consecuencia de la desaparición del hielo ártico mediante el uso de simulaciones climáticas de la iniciativa Polar Amplification Model Intercomparison Project (PAMIP)

Bibliografía:

1. Dessler, A. (2022) Introduction to Modern Climate Change, Cambridge University Press.
2. Gorgas, J., N. Cardiel y J. Zamorano: Estadística básica para estudiantes de Ciencias. UCM.
3. Kim, B-M et al. (2014) Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss, Nat. Comm., 5.
4. Smith, D. M., Screen, J. A., Deser, C., Cohen, J., Fyfe, J. C., García-Serrano, J., Jung, T., Kattsov, V., Matei, D., Msadek, R., Peings, Y., Sigmond, M., Ukita, J., Yoon, J.-H., and Zhang, X. (2019). The Polar Amplification Model Intercomparison Project (PAMIP) contribution to CMIP6: investigating the causes and consequences of polar amplification, Geoscientific Model Development, 12, 1139–1164, https://doi.org/10.5194/gmd-12-1139-2019