FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

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:	2
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:

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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Impacto de la desaparición del hielo Ártico en la circulación troposférica
Title:	Impact of Arctic sea ice loss on tropospheric circulation
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
- Estudiar los cambios en la circulación troposférica de latitudes medias como consecuencia del deshielo 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 de latitudes medias en reanálisis y modelos climáticos en el periodo presente.
3. Análisis de los cambios en la troposfera 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. Guión elaborado por la profesora responsable 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. Ayarzagüena, B., y J. Screen (2016) Future Arctic sea ice loss reduces severity of cold air outbreaks in midlatitudes, Geophys. Res. Lett., 43, 2801-2809.
5. 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

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Cambios futuros en los calentamientos súbitos estratosféricos
Title:	Future changes in sudden stratospheric warmings
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 uno de los fenómenos más importantes de la variabilidad estratosférica como son los calentamientos súbitos estratosféricos.
- Conocer los cambios en la estratosfera polar en el futuro en distintos escenarios de cambio climático.
- Estudiar los posibles cambios en los calentamientos súbitos estratosféricos 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 los calentamientos súbitos estratosféricos en el pasado reciente en modelos climáticos y su comparación con las observaciones.

3. Estudio de los cambios en los calentamientos súbitos estratosféricos en el futuro bajo distintas condiciones prescritas de cambio climático antrópico mediante el uso de simulaciones climáticas y aplicando herramientas estadísticas. Asimismo, se aislará el efecto del aumento del CO2 en estos cambios detectados.

Bibliografía:

1. Guión elaborado por la profesora responsable 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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Impacto de ENSO (El Niño-Oscilación del Sur) en el vórtice polar
Title:	ENSO impact on the polar vortex
Tutor/es:	Natalia Calvo
E-mail tutor/es:	nataliac@ucm.es
Número de plazas:	2
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 Niño 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 (reanálisis) y de simulaciones con modelos de clima para estudiar los posibles impactos que distintos tipos de Niño tienen sobre el vórtice polar de ambos hemisferios, así como su posible influencia en el clima en superficie .

Metodología:

1. Se realizará una búsqueda bibliográfica de artículos científicos relacionados con la propagación de El Niño en troposfera y estratosfera, así como sobre los distintos tipos de Niño y sus características.
2. Cada alumno se encargará de analizar los impactos en un hemisferio.
3. Se identificarán los distintos tipos de episodios Niño en los datos utilizados basándonos en diversos índices.
4. Se estudiarán los efectos de los distintos tipos de Niño sobre el vórtice polar, atendiendo entre otros aspectos a su simetría, linearidad y su posible impacto en el clima en superficie. Para ello cada 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 2025-26

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:	2
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 en 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.

Se ofertan dos trabajos. El primero tendrá un enfoque teórico/matemático, con el siguiente contenido:

- Derivación de las ecuaciones de Lorenz a partir del sistema de convección de Rayleigh-Bénard.

- Análisis cualitativo de los sistemas dinámicos no lineales: puntos fijos, estabilidad, bifurcaciones.

- Estudio del atractor de Lorenz: estructura, sensibilidad a condiciones iniciales, dimensión fractal.

- Introducción a conceptos clave de teoría del caos: espacio de fases, exponentes de Lyapunov.

- Simulaciones numéricas del sistema de Lorenz en distintos regímenes .

El segundo tendrá un enfoque aplicado a la meteorología, con el siguiente contenido:
- Biografía y contribución de Edward Lorenz al modelado atmosférico.

- Interpretación física del sistema de Lorenz como modelo simplificado de convección atmosférica.

- Aplicación del concepto de sensibilidad a condiciones iniciales en 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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Estudio sobre modelos de viento de hiperalta resolución para terreno complejo
Title:	Study on hyper-high resolution wind models for complex terrain
Tutor/es:	Luis Durán Montejano
E-mail tutor/es:	luduran@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Análisis sobre el estado del arte de los modelos de simulación física y empírica del viento en terreno complejo de muy alta resolución
- Realización de campañas de observación de viento en terreno complejo con cubierta de nieve
- Aplicación de modelos de muy alta resolución y validación frente a las observaciones

Metodología:

Se hará un estudio bibliográfico de los modelos existentes y más comúnmente utilizados para la evaluación del viento en terreno complejo a partir de observaciones. Se estudiarán los modelos dinámicos que simulan los fenómenos físicos involucrados en la formación y propagación del viento junto al suelo así como aquellos que resultan de aplicar algoritmos empíricos de tipo aprendizaje automático

Se diseñarán y desarrollarán sistemas de observación basados en microcontroladores y sensores de viento para poder realizar campañas de medición de alta resolución de alta densidad pero de corta duración.

Se llevarán a cabo campañas de medición sobre suelo con nieve en la Sierra de Guadarrama y bajo diferentes condiciones sinópticas.

Se harán simulaciones con código propio en Python o procedente de la bibliografía para evaluar el viento en un pequeño dominio espacial con una resolución de pocos metros.

Se modificarán y validarán los modelos utilizados a partir de las observaciones realizadas durante las campañas.

Bibliografía:

Reynolds, D., Gutmann, E., Kruyt, B., Haugeneder, M., Jonas, T., Gerber, F., ... & 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(17), 5049-5068.

Quéno, L., Mott, R., Morin, P., Cluzet, B., Mazzotti, G., & Jonas, T. (2023). Snow redistribution in an intermediate-complexity snow hydrology modelling framework. EGUsphere, 2023, 1-32.

Chen, S., Li, L., Wei, Z., Wei, N., Zhang, Y., Zhang, S., ... & Dai, Y. (2024). Exploring Topography Downscaling Methods for HyperResolution Land Surface Modeling. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 129(20), e2024JD041338.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Estudio de la meteorología de montaña mediante técnicas de modelización y observación
Title:	Study of mountain meteorology by means of modeling and observational techniques
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:

- Análisis bibliográfico sobre la climatología y meteorología de montaña en un cordillera de la península Ibérica
- Recopilar las observaciones en superficie existentes
- Preparar los datos de forzamiento para la simulación dinámica de la meteorología de una cordillera de la península Ibérica utilizando un modelo dinámico de alta resolución.
- Análisis de las simulaciones y comparación con las observaciones.

Metodología:

Se hará un estudio bibliográfico de los trabajos previos existentes que permitan conocer la climatología de una cordillera de la península Ibérica

Se recopilarán y analizarán las observaciones existentes en la zona. Se garantizará su calidad mediante técnicas de validación de datos.

Se preparan mediante funciones "bash" y Python los datos de entrada tales como topografía, usos de suelo y los datos de forzamiento meteorológico a partir del reanálisis ERA5

Se analizarán los resultados de las simulaciones frente a las observaciones disponibles desarrollando funciones propias en Python

Bibliografía:

Reynolds, D., Gutmann, E., Kruyt, B., Haugeneder, M., Jonas, T., Gerber, F., ... & 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(17), 5049-5068.

Gutmann, E., Barstad, I., Clark, M., Arnold, J., & Rasmussen, R. (2016). The intermediate complexity atmospheric research model (ICAR). Journal of Hydrometeorology, 17(3), 957-973.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Estudio sobre técnicas de asimilación de observaciones en resultados de modelos meteorológicos
Title:	Study on techniques for assimilation of observations into meteorological model outputs
Tutor/es:	Luis Durán Montejano
E-mail tutor/es:	luduran@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Análisis sobre el estado del arte de las técnicas de asimilación de observaciones en salidas de modelos de simulación meteorológica
- Pruebas de asimilación de datos observados sobre simulaciones realizadas en la Sierra de Guadarrama
- Análisis crítico de las distintas técnicas de asimilación de datos y su grado de aplicabilidad.

Metodología:

Se hará un estudio bibliográfico de las técnicas existentes y más comúnmente utilizadas para la asimilación de datos observados en simulaciones de modelos de alta resolución.

Se diseñarán y desarrollarán sistemas sencillos y prototipos de asimilación de datos basados en la bibliografía o se utilizará código existente y de código abierto.

Se harán pruebas de asimilaciones de datos observados reales sobre simulaciones de alta resolución.

Bibliografía:

Alonso-González, E., Aalstad, K., Baba, M. W., Revuelto, J., López-Moreno, J. I., Fiddes, J., ... & Gascoin, S. (2022). The multiple snow data assimilation system (MuSA v1. 0). Geoscientific Model Development, 15(24), 9127-9155.

Wang, X., Barker, D. M., Snyder, C., & Hamill, T. M. (2008). A hybrid ETKF–3DVAR data assimilation scheme for the WRF model. Part II: Real observation experiments. Monthly Weather Review, 136(12), 5132-5147.

Wang, X., Tolksdorf, V., Otto, M., & Scherer, D. (2021). WRFbased dynamical downscaling of ERA5 reanalysis data for High Mountain Asia: Towards a new version of the High Asia Refined analysis. International Journal of Climatology, 41(1), 743-762.

Wang, X., Barker, D. M., Snyder, C., & Hamill, T. M. (2008). A hybrid ETKF–3DVAR data assimilation scheme for the WRF model. Part II: Real observation experiments. Monthly Weather Review, 136(12), 5132-5147.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

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

Objetivos:

El objetivo del TFG es identificar patrones de circulación atmosférica que dan lugar a extremos de generación renovable y/o demanda eléctrica en España. Para ello el alumno deberá adquirir las siguientes habilidades:

1) Uso de un reanálisis meteorológico para la obtención de datos
2) Representación de campos meteorológicos
3) Conocer los fundamentos de interpretación de campos meteorológicos

Metodología:

Los estudiantes seleccionarán varios eventos extremos de una lista proporcionada por los supervisores. Se llevará a cabo una presentación por parte de los supervisores para instruir sobre el manejo de un reanálisis y los procedimientos a seguir. Dependiendo del evento extremo elegido, los alumnos identificarán las variables relevantes para su análisis y representarán los campos de esas variables, incluyendo sus anomalías si es necesario, utilizando el reanálisis. Luego, realizarán un análisis meteorológico para identificar los principales procesos sinópticos asociados al evento estudiado.
Finalmente, los estudiantes elaborarán conclusiones y participarán en discusiones sobre los resultados.

Bibliografía:

Manual para interpretación de campos meteorológicos: https://stream-ucm.es/MONOGRAFIAS/2014_Gonzalez-Roji_MsC.pdf
- Presentaciones en campus virtual
- Martin J.E. {2006). Mid-Latitude Atmospheric Dynamics. J Wiley

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

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:	1
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).
- 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 2025-26

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, procesar, analizar y sintetizar para establecer los objetivos concretos o/y generales relativos a constataciones fiables del efecto del cambio climático en la salud a través de variables meteorológicas, la relación contaminación-cambio clima-salud-medio ambiente, asentando inicialmente la línea del tipo de trabajo que posteriormente decida.

El trabajo puede orientarse bien por la realización de un trabajo bibliográfico en donde el alumno ahondará en la información a través de publicaciones científicas y ampliarlo a otras áreas como los costes económicos, índices de mortalidad, estimaciones de incrementos de enfermedades, etc. Otras posibles orientaciones podrían ser más prácticas analizando fenómenos puntuales acaecidos, relacionar fuentes de emisión-inmisión-salud en localizaciones o áreas concretas que afecten al bienestar humano o del entorno.

Metodología:

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

Climate Change, Drought and Human Health in Canada. Yusa A, Berry P, et al. Int J Environ Res Public Health 2015. https://doi.org/10.3390/ijerph120708359

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Creación de un esquema de clasificación de industrias basado en las emisiones de carbono
Title:	Creation of an industry classification scheme based on carbon emissions
Tutor/es:	Teresa Losada Doval
E-mail tutor/es:	tlosadad@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Desarrollar un esquema basado en datos para la categorización industrial de empresas, con el potencial de afinar las clasificaciones utilizando datos de intensidad de carbono. Las clasificaciones estándar actuales pueden no reflejar con precisión la naturaleza cambiante de las industrias, especialmente en contextos como la sostenibilidad, la convergencia tecnológica o los mercados emergentes. Nuestro enfoque aprovechará representaciones latentes de características empresariales y técnicas de aprendizaje automático no supervisado para proponer un sistema de clasificación más dinámico e informativo.

Se usarán los siguientes conjuntos de datos:

RBICS (FactSet Revere Business Industry Classification System): Base de datos del porcentaje de ingresos que una empresa deriva de distintas actividades económicas.
Descripciones de Empresas: Datos textuales que describen las actividades de cada empresa extraídos de informes oficiales o bases de datos comerciales.
GICS (Global Industry Classification Standard): Standard internacional para la clasificación de empresas en industrias, que se usará como punto de referencia.
Datos de Emisiones a Nivel Empresa: Datos reportados por empresas de emisiones de carbono.

Metodología:

Construcción de representaciones latentes de empresas a partir de datos estructurados y no estructurados, seguidas de técnicas de agrupamiento no supervisado para identificar patrones emergentes de clasificación industrial.

1 **Construcción del espacio latente**:
Técnicas de reducción de dimensionalidad (como PCA o PLS) para transformar las características de las empresas en un espacio latente que capture de forma compacta la similitud entre ellas.

2 **Agrupamiento no supervisado**:
Una vez obtenidas las representaciones latentes, se aplicarán algoritmos de clustering (como k-means) para identificar agrupaciones naturales de empresas. Estas agrupaciones reflejarán similitudes estructurales y funcionales más allá de las divisiones tradicionales establecidas por esquemas como GICS.

3 **Asignación de etiquetas y caracterización de clústeres**:
Para interpretar y describir los clústeres resultantes, se explorarán distintas estrategias automáticas y semi-automáticas. Entre ellas, se contempla el uso de modelos de lenguaje (LLMs).

Bibliografía:

Hastie et al. (2009) The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction. Second edition. Springer.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. the Journal of machine Learning research, 12, 2825-2830.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

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 2025-26

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 desempeña 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 extremos 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. Algunos eventos de alto impacto que entran dentro de la ventana temporal simulada (desde 2017) son por ejemplo la borrasca Filomena o las riadas extremas ocurridas en el Valle del Lozoya (Madrid) en diciembre de 2020, donde la precipitación abundante sobre un manto de nieve abundante dio lugar a una descarga extrema de agua sobre los ríos de la región. Los eventos de fusión rápida de mantos de nieve producidos por lluvia podrían ser buenos candidatos para este tipo de análisis, al estar muy influidos por la componente termodinámica.

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 candidatos seleccionados 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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Modelos conceptuales de los ciclos glaciales
Title:	Conceptual models of glacial cycles
Tutor/es:	Marisa Montoya Redondo
E-mail tutor/es:	mmontoya@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Los mayores cambios climáticos de la historia geológica reciente de la Tierra son las sucesiones de épocas glaciales e interglaciales o ciclos glaciales. Los cambios en los parámetros orbitales de la Tierra juegan un papel crucial en estos ciclos. Sin embargo, existen ciertos problemas en la teoría astronómica clásica del paleoclima. Así, los registros paleoclimáticos muestran un comportamiento altamente no lineal, con una periodicidad principal cercana a los 100,000 años (100 ka). Sin embargo, no existen cambios significativos en el forzamiento radiativo de la Tierra en este rango de frecuencias (la paradoja de los cien mil años). Asimismo, hace aproximadamente un millón de años se produjo un cambio en la periodicidad dominante de 41 ka a 100 ka. Este cambio no se entiende bien porque no estuvo asociado a cambios importantes en el forzamiento orbital o en la configuración de la Tierra (el problema de la transición del Pleistoceno medio). Debido al gran coste computacional de los modelos climáticos que representan el estado del arte, hasta hoy prácticamente no existen simulaciones climáticas en estas escalas largas de tiempo, por lo que se ha recurrido con frecuencia al uso de modelos conceptuales para identificar los principales mecanismos responsables de estos ciclos. El objetivo de este trabajo es analizar los modelos conceptuales de ciclos glaciales existentes, sus concordancia con los registros paleoclimáticos e identificar los mecanismos responsables de la no linearidad que produce la variabilidad glacial-interglacial.

Metodología:

Se revisarán los modelos conceptuales propuestos en la literatura para reproducir los ciclos glaciales, se construirán modelos conceptuales para los casos más importantes y se integrarán estos. Se analizarán las propiedades estadísticas de las soluciones en función de los valores de los parámetros empleados así como sus concordancias y discrepancias con los registros.

Habrá una reunión inicial con los alumnos en la que se explicará en detalle el trabajo a realizar, se facilitará el guion del trabajo a desarrollar y se proporcionará la bibliografía necesaria para construir los modelos. Posteriormente, cada alumno podrá interaccionar con el profesor responsable a través de tutorías.

El modelo numérico y el análisis de resultados podrán hacerse en cualquier lenguaje de programación a elegir por el alumno, pero se recomendará el uso de Python y/o Julia.

Bibliografía:

Ganopolski, A.: Toward generalized Milankovitch theory (GMT), Clim. Past, 20, 151–185, https://doi.org/10.5194/cp-20-151-2024, 2024.

Paillard, Didier. "Glacial cycles: toward a new paradigm." Reviews of Geophysics 39.3 (2001): 325-346, https://doi.org/10.1029/2000RG000091

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Modelado estadístico de la contaminación atmosférica
Title:	Statistical modelling 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, óxidos de nitrógeno).

Identificar las variables meteorológicas que 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 alrededor de unos 10 años de duración con concentraciones diarias de uno o varios contaminantes y valores diarios de diversas variables meteorológicas. Cada estudiante trabajará con datos procedentes de una estación distinta.

Los estudiantes crearán modelos de regresión múltiple 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.

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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Estudio de la Circulación oceánica del Atlántico: variabilidad de los transportes observados y simulados en 26°N
Title:	Atlantic Ocean Circulation Study: variability of observed and simulated transports at 26°N
Tutor/es:	Irene Polo Sánchez, Víctor Galván Fraile
E-mail tutor/es:	ipolo@ucm.es, vgalva01@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Entender la circulación Meridional de Retorno del atlántico (AMOC) media y en particular en latitudes subtropicales (26°N)

- Entender su importancia en el clima global y cómo se está observando la AMOC en 26°N

- Identificar años anómalos de la AMOC y su posible forzamiento atmosférico y/o de su impacto en otras variables físicas y/o biogeoquímicas del océano superior.

- Identificar años anómalos de la AMOC y su posible forzamiento atmosférico y/o de su impacto en otras variables físicas y/o biogeoquímicas del océano superior.

Metodología:

- Revisión bibliográfica sobre la AMOC. Definición, impactos y causas de su variabilidad. Cómo se realiza la observación de la AMOC en 26°N.
- Uso de las series temporales de la AMOC observada y simulada a 26°N. Cálculo de la media y de las desviaciones. Cálculo de las anomalías interanuales y decadales. Identificación de eventos extremos.
- A partir de análisis estadístico se evaluarán los posibles forzamientos (patrones de vientos superficiales asociados) y/o de los posibles impactos (como por ejemplo impactos en la temperatura del océano Atlántico, variables biogeoquímicas, ecosistemas marinos).

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.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Impacto de la variabilidad climática en la sociedad
Title:	Impact of climate variability on society
Tutor/es:	Belén Rodríguez de Fonseca
E-mail tutor/es:	brfonsec@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Este trabajo se abre a explorar y analizar de forma analítica, el impacto que tiene la variabilidad climática en aspectos que afectan a la sociedad como la aparición de brotes de enfermedades vectoriales, enfermedades relacionadas con el cambio climático, las precipitaciones, los ecosistemas marinos y terrestres, la agricultura, la energía, la economía o los conflictos, entre otros. El trabajo pretende establecer los mecanismos físicos que explique dichos impactos. Se emplearan datos de simulaciones realizadas con modelos de impacto y datos observacionales, así como los reanálisis y los datos de las simulaciones de proyecciones climáticas.

Metodología:

La personas seleccionadas elegirán un aspecto sobre el que quieran abordar el impacto de la variabilidad climática. Se proponen las siguientes fases:

1. Estudio del estado del arte. Recopilación bibliográfica sobre la influencia de la variabilidad climática en un aspecto social.
2. Diseño e integración de metodología y datos. Se compilarán datos, modelos y metodologías para comprobar física y estadísticamente la realidad de la relación encontrada en la bibliografía
3. Se establecerá un mecanismo físico que explique la relación entre las variables climáticas y sus impactos sociales.

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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Análisis de la influencia del polvo del Sahara en la variabilidad de la precipitación y los ecosistemas marinos
Title:	Impact of Saharan dust on rainfall and marine ecosystem variability
Tutor/es:	Belén Rodríguez de Fonseca, Victor Galván
E-mail tutor/es:	brfonsec@ucm.es, vgalva01@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

Olvidado durante mucho tiempo por la ciencia, ahora se sabe que el polvo mineral es uno de los principales impulsores de la atmósfera, que desempeña un papel en el tiempo, la radiación solar y el clima. El principal efecto directo del polvo suspendido en la atmósfera es el bloqueo de la radiación solar. El aerosol de polvo actúa como sombra de la luz solar con un efecto refrigerante para la superficie terrestre. Sin embargo, la absorción de radiación infrarroja dentro de la capa de polvo puede provocar un efecto de calentamiento localizado. La cuestión de si el polvo tiene una contribución neta de calentamiento o de enfriamiento sigue abierta.

Las partículas de polvo desempeñan un papel en la formación de nubes, actuando como un núcleo alrededor del cual se agregan partículas de agua (núcleos de condensación de agua). En determinadas condiciones, el polvo puede influir en la composición atmosférica mediante reacciones fotoquímicas, al limitar la cantidad de luz solar, y reacciones químicas en la superficie de las partículas de polvo.

Se considera que la capa de aire sahariano tiene un efecto moderador de los ciclones tropicales en el Atlántico. Por otra parte, como las partículas favorecen la formación de nubes, los transportes de polvo sahariano también pueden aumentar las precipitaciones en determinadas condiciones. Además, el polvo del Sáhara podría tener una profunda influencia en los ecosistemas mucho más allá de su punto de origen. Al cruzar el Atlántico, parece desempeñar un papel crucial en el enriquecimiento de los océanos con hierro, nutriente esencial para determinadas funciones biológicas (como la fotosíntesis y la respiración), pero a menudo limitado.

El objetivo de este trabajo será establecer las relaciones entre la variabilidad del polvo del Sahara y otras variables climáticas, tanto del océano como de la atmósfera. En particular se analizará el efecto en regiones remotas (como la cuenca del Amazonas) en concreto, sobre la lluvia, la calima, y la biogeoquímica oceánica. Se analizarán los mecanismos que relacionan las relaciones entre el polvo y sus impactos.

Metodología:

Se van a tomar datos de satélite de polvo del Sáhara (de datos de la profundidad óptica de los aerosoles (AOD) y del índice de materia particulada (PM10)) y se van a relacionar con variables atmosféricas como la radiación solar, la temperatura de la superficie del mar, la cubierta nubosa, el viento y la precipitación, a partir de datos de observaciones y reanálisis.

También se emplearán datos de clorofila satelital, como variable que refleja la función fotosintética

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.

Se realizarán mapas globales y se establecerá el mecanismo físico mas plausible.

Finalmente, se emplearán técnicas de aprendizaje profundo con el fin de conocer si el polvo del Sáhara tiene un valor predictivo de eventos extremos tanto en el océano como en atmósfera (episodios de calima, ciclones tropicales, lluvias en la cuenca del Amazonas, o floración pythoplanckton).

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.
ISO 690

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

Yu, H., Chin, M., Yuan, T., Bian, H., Remer, L. A., Prospero, J. M., ... & Zhao, C. (2015). The fertilizing role of African dust in the Amazon rainforest: A first multiyear assessment based on data from Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations. *Geophysical Research Letters*, *42*(6), 1984-1991.

Hernández Ayala, J. J., & Méndez-Tejeda, R. (2024, September). Analyzing Trends in Saharan Dust Concentration and Its Relation to Sargassum Blooms in the Eastern Caribbean. In *Oceans* (Vol. 5, No. 3, p. 36). MDPI.
ISO 690

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Eventos convectivos de alto impacto en la Península Ibérica
Title:	High impact convective events in the Iberian Peninsula
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 los sistemas convectivos que dan lugar a tiempo severo.
- Entender los conceptos clave involucrados en un análisis sinóptico y mesoescalar relativo a la formación de sistemas de este tipo en la Península Ibérica.
- Familiarizarse con el uso de bibliografía específica de Física de la Atmósfera.
- Adquirir destreza en el manejo de datos meteorológicos utilizando algún lenguaje de programación.

Metodología:

Se trabajará con bibliografía especializada para adquirir el marco conceptual adecuado. Se seleccionará el/los evento/s a estudiar, considerando que se cumplan las características y criterios especificados. Se analizarán las principales variables meteorológicas y campos atmosféricos involucrados.
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.
- Markowski, P., & Richardson, Y. (2011). Mesoscale meteorology in midlatitudes. John Wiley & Sons.
- Martín León, F. (2003). Las gotas frías/DANAs: ideas y conceptos básicos. Instituto Nacional de Meteorología.
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). Atmospheric science: an introductory survey (Vol. 92). Elsevier.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Procesos físicos en la atmósfera de Marte
Title:	Physical processes in the Martian atmosphere
Tutor/es:	Mariano Sastre Marugán, Gonzalo Barderas Manchado
E-mail tutor/es:	msastrem@ucm.es, gonzalobm@mat.ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Entender las nociones básicas de la aplicación de las leyes de la física en Marte, poniendo el foco en fenómenos de dicho planeta y de la Tierra.
- Familiarizarse con el uso de bibliografía específica.
- Introducirse en el manejo y tratamiento de datos y medidas de Marte, comprendiendo su alcance y limitaciones.

Metodología:

Se trabajará con bibliografía especializada para adquirir el marco conceptual adecuado. Se aprenderá cuáles son algunas de las fuentes de datos disponibles sobre el planeta Marte. Se realizará una comparativa entre fenómenos que tienen lugar en Marte y en la Tierra.

Es recomendable contar con un manejo básico de un lenguaje de programación, y haber superado o estar cursando la asignatura "Física de la atmósfera" (3º) y "Fundamentos de Meteorología" (4º).

Bibliografía:

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

- Forget, F., Hourdin, F., Fournier, R., Hourdin, C., Talagrand, O., Collins, M., Lewis, S. R., Read, P.L., Huot, J.-P. (1999): Improved general circulation models of the Martian atmosphere from the surface to above 80 km. Journal of Geophysical Research: Planets, 104(E10), 24155-24175. https://doi.org/10.1029/1999JE001025

- Haberle, R., Clancy, R., Forget, F., Smith, M., Zurek, R. (Eds.) (2017). The Atmosphere and Climate of Mars (Cambridge Planetary Science). Cambridge: Cambridge University Press.

- Sanchez-Lavega, A. (2010). An introduction to planetary atmospheres. CRC Press.

- Vazquez-Poletti et al. (2021). La gran aventura de la exploración en Marte (2021). Guillermo Escolar Editor SL.

- Zurek, R.W. (1992). Comparative aspects of the climate of Mars: An introduction to the current atmosphere, in Mars, edited by H. H. Kieffer, B. M. Jakosky, C. W. Snyder, and M. S. Matthews, pp. 799-817, Univ. of Ariz. Press, Tucson.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

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 Anguís
E-mail tutor/es:	carlos@ucm.es
Número de plazas:	2
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.

Dado que se ofrecen 2 plazas, comentar que uno de los estudiantes trabajará con datos del CIBA (Centro de Investigaciones de la Baja Atmósfera), situado en la provincia de Valladolid, y el otro con datos de la estación GuMNet-Herrería, en el entorno del Bosque de la Herrería en El Escorial (Madrid).

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 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Introducción a los flujos térmicos mesoescalares: Brisas de Montaña
Title:	Introduction to Thermally-Driven Mesoscale Flows: Mountain Breezes
Tutor/es:	Carlos Yagüe Anguís, Pablo Ortiz Corral
E-mail tutor/es:	carlos@ucm.es, pabloo01@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo es comprender los procesos físicos asociados a los llamados flujos térmicos mesoescalares ('Thermally-Driven Mesoscale Flows'), y más concretamente aquellos que tiene lugar en zonas de montaña, desarrollando brisas. Estos flujos se originan por el diferente calentamiento/ enfriamiento de la atmósfera cerca de la superficie terrestre, que a su vez origina diferencias de presión. Después de un estudio bibliográfico de este fenómeno mesoescalar, el alumno dispondrá de una serie de datos reales, incluyendo datos de alta frecuencia (que le permitirá calcular parámetros turbulentos) y radiosondeos (que permiten estudiar la estructura vertical de la atmósfera) que le posibilitará caracterizar estos flujos medidos en campañas de campo.

Metodología:

- Documentación de los flujos térmicos mesoescalares ('Thermally-Driven Mesoscale Flows') y más concretamente de las brisas de montaña.
- Análisis de datos:
    a) Series temporales de alta frecuencia (10-20 Hz) procedentes de anemómetros sónicos instalados en campañas de campo micrometeorológicas.
    b) Perfiles verticales de distintas variables meteorológicas.

Bibliografía:

- Arrillaga, J. A. (2020). Thermally-driven mesoscale flows and their interaction with atmospheric boundary layer turbulence. Springer Nature.
- Arya, S.P.A. (2001). Introduction to Micrometeorology. Academic Press. 2nd edition.
- Barry, R.G. (2008). Mountain, weather and climate. Cambridge University Press, 3rd edition.
- Thorpe A.J., Volkert H., Ziemianski, M.J. (2003). The Bjerknes' circulation theorem: a historical perspective. Bull. Am. Meteor. Soc. 84:471–480.
- Whiteman, C. (2008). Mountain meteorology: fundamentals and applications. Oxford University Press.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Variabilidad climática y migraciones
Title:	climate variability and migrations
Tutor/es:	Irene Polo Sánchez
E-mail tutor/es:	ipolo@ucm.es
Número de plazas:	1
Asignación de TFG:	Asignación directa

Objetivos:

- Entender lo impactos del cambio climático en distintas regiones del planeta a partir de la revisión bibliográfica.
- A partir de datos climatológicos y sociales se evaluará la situación de vulnerabilidad y riesgo de distintas regiones del planeta

Metodología:

Usando datos climatológicos observados disponibles desde 1900 (lluvia, humedad del suelo, temperatura del aire…) y datos del banco mundial sobre variables sociales y migraciones en distintas partes del mundo, se describirán los eventos de variabilidad climática distinguiendo entre tendencias y variabilidad inter-decadal. Las variables climáticas y las variables sociales se usarán para definir los factores que influyen en la vulnerabilidad de las regiones. Algunas regiones de interés en las que centrar el estudio pueden ser América Central, área Mediterránea, Norte de África y el continente marítimo.

Bibliografía:

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis.Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/?msclkid=94d048b8c15d11eca677efaaa4f205f6

Pajares M. Refugiados Climáticos: Un reto del siglo XXI. 2020 Editorial Rayo Verde.

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica
Título:	Pista de borrascas Atlántica y precipitación en Iberia
Title:	Atlantic storm track and Iberian precipitation
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, su relación con borrascas y frentes, y su importancia para la precipitación extratropical.

-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 usando la bibliografía suministrada por el tutor.

Posteriormente, el alumno desarrollará un método para estimar la storm track Atlántica a partir de la velocidad meridiana de escala sinóptica filtrada y estudiará su relación con una variable similar que evalúe la intensidad de los frentes. Se analizará cómo varían estos campos para todos los inviernos del periodo pos-satelital usando datos de reanálisis. Cada alumno usará datos de un reanálisis distinto (NCEP o ERA). Finalmente, el alumno usará una base de datos de precipitación para seleccionar inviernos con precipitación más copiosa y escasa de lo normal en la Península Ibérica, y comparará la climatología de la storm track para ambas poblaciones, evaluando la significación estadística de los cambios.

Bibliografía:

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

Hoskins and Hodges, 2002: New perspectives on the Northern Hemisphere winter storm tracks. J. Atmos. Sci., 59, 1041-1061

Hoskins and Hodges, 2019: The annual cycle of Northern Hemisphere storm tracks. Part I: Seasons. J. Climate, 32, 1473-1460