



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



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	
Supervisor/es:	Marta Ábalos Álvarez	
E-mail supervisor/es	mabalosa@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

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. Es deseable una buena comprensión lectora de inglés, y 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 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica	
Título:	Efectos del cambio climático antrópico en eventos extremos de temperatura	
Title:	Climate change effects on temperature extremes	
Supervisor/es:	Blanca Ayarzagüena Porras	
E-mail supervisor/es	bayarzag@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

- Aprender los aspectos básicos de la dinámica troposférica.
- Comprender los mecanismos físicos involucrados en eventos extremos de temperatura.
- Investigar los cambios futuros en las olas de frío (TFG1) y olas de calor (TFG2) en latitudes medias del hemisferio norte.
- Adquirir conocimientos en el manejo de salidas de modelos climáticos.

Metodología:

En primer lugar, el estudiante se servirá de la bibliografía facilitada por la tutora para aprender los conocimientos básicos sobre los mecanismos físicos involucrados en la ocurrencia de eventos extremos de temperatura, así como de los efectos del cambio climático antrópico en la troposfera. Una vez adquiridos estos conocimientos, el estudiante realizará una búsqueda bibliográfica de los estudios más recientes sobre dichos efectos en eventos extremos de temperatura en latitudes medias del hemisferio norte.

A continuación, el estudiante identificará los eventos extremos fríos (TFG1) y cálidos (TFG2) en distintas simulaciones con modelos climáticos tanto en condiciones de clima presente como en el futuro bajo condiciones de cambio climático antrópico. Seguidamente, el alumno estudiará las características físicas de los correspondientes eventos extremos de temperatura en el clima presente. Finalmente, comparará dichas características en el presente con aquéllas en el futuro.

Se recomienda que los alumnos hayan cursado las asignaturas “Física de la Atmósfera” y “Estadística y análisis de datos” de 3º del Grado en Física y/o alguna de las asignaturas de “Fundamentos de Meteorología” y “Bases Físicas del Cambio Climático” de 4º del Grado en Física.

Bibliografía:

1. Guión elaborado por la profesora responsable de la dirección del trabajo.
2. J. Gorgas, N. Cardiel y J. Zamorano: Estadística básica para estudiantes de Ciencias. UCM.
3. Martin J.E. (2006). Mid-Latitude Atmospheric Dynamics. J Wiley.
4. Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766, doi:10.1017/9781009157896.013.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica	
Título:	Impacto de El Niño en el vórtice polar	
Title:	El Niño impact on the polar vortex	
Supervisor/es:	Natalia Calvo Fernández	
E-mail supervisor/es	nataliac@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

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) 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 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.

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.

Otros recursos:

<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites>

<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>

Bibliografía:

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.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24

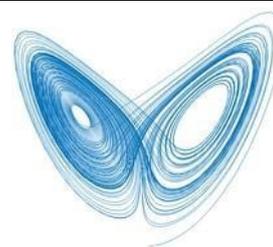


Ficha de Trabajo de Fin de Grado

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.
Supervisor/es:	Álvaro de la Cámara Illescas
E-mail supervisor/es	acamarai@ucm.es
Número de plazas:	2
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/> Selección por expediente <input type="checkbox"/>

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: 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 Berruete, C. (Ed.), 2018: Física del caos en la predicción meteorológica. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid. DOI: [10.31978/014-18-009-X](https://doi.org/10.31978/014-18-009-X).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica	
Título:	Regionalización de predicciones numéricas del tiempo usando técnicas de aprendizaje automático	
Title:	Machine learning techniques used for numerical weather prediction downscaling	
Supervisor/es:	Luis Durán Montejano	
E-mail supervisor/es	luduran@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Analizar la eficacia de métodos de regionalización de predicciones numéricas del tiempo mediante técnicas de aprendizaje automático.

Metodología:

Se partirán de las predicciones numéricas suministradas por el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo y los datos procedentes de una estación meteorológica de superficie con un histórico de datos de varios años. Se estudiarán las diferentes técnicas existentes para la regionalización de pronósticos meteorológicos basados en técnicas de aprendizaje automático tomando como referencia el trabajo de Bochenek y Ustrnul (2022). Tras una análisis y discusión de aquellos métodos que, a priori, pueden dar un mejor resultado, se desarrollará un sistema de regionalización de las predicciones. Este sistema deberá considerar de forma implícita los principales forzamientos existentes a nivel micro-escalar utilizando técnicas de aprendizaje automático. Se deberán utilizar, por ejemplo los métodos de potenciación del gradiente y del bosque aleatorio (Goutham et al. 2021). Se analizarán los resultados obtenidos, en particular, su grado de destreza y desempeño. Finalmente, se deberán extraer las conclusiones correspondientes.

Bibliografía:

Bochenek, B., & Ustrnul, Z. (2022). Machine learning in weather prediction and climate analyses applications and perspectives. *Atmosphere*, 13(2), 180.

Goutham, N., Alonzo, B., Dupré, A., Plougonven, R., Doctors, R., Liao, L., & Drobinski, P. (2021). Using machine-learning methods to improve surface wind speed from the outputs of a numerical weather prediction model. *Boundary-Layer Meteorology*, 179, 133-161.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica	
Título:	Análisis histórico y crítico de la física de la meteorología y el clima.	
Title:	Historical and critical analysis of the physics of meteorology and climate.	
Supervisor/es:	Luis Durán Montejano	
E-mail supervisor/es	luduran@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Analizar la evolución histórica de la física de la meteorología y el clima en el contexto de los avances científicos en general, de la matemática y del contexto social y político.

Metodología:

Se hará una revisión histórica de los diferentes modelos de atmósfera que han existido para explicar el tiempo atmosférico y el clima. Se analizará la evolución histórica de los diferentes modelos de atmósfera existentes en cada época así como las leyes que la gobiernan. Se analizará cómo estos modelos se relacionan con el tipo de sociedad existente y el estado del conocimiento en otras ramas de la física y las matemáticas. Se abordarán aspectos tales como el determinismo, el caos y la entropía y su implicación en la física de la meteorología y el clima. Se hará un análisis crítico de la evolución de las ciencias del clima en el contexto actual de cambio climático

Bibliografía:

Dalmedico, A. D. (2001). History and epistemology of models: Meteorology (1946–1963) as a case study. *Archive for history of exact sciences*, 55, 395-422.

Heymann, M., & Dahan Dalmedico, A. (2019). Epistemology and politics in Earth system modeling: Historical perspectives. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(5), 1139-1152.

Lusk, G. (2015). *Quantifying nature: Epistemology for climate science*. University of Toronto (Canada).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Física de la Tierra y Astrofísica	
Título:	Desarrollo de un sistema de medida meteorológica para la monitorización de micro-ambientes	
Title:	Development of a meteorological measurement system for micro-environment monitoring.	
Supervisor/es:	Luis Durán Montejano	
E-mail supervisor/es	luduran@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El objetivo es diseñar, instalar y operar un sistema de observación meteorológica de bajo coste, pequeño tamaño y bajo consumo que permita la medida simultánea en un gran número de localizaciones para poder caracterizar los micro-climas presentes en un entorno semi-urbano.

Metodología:

Se proponen las siguientes fases:

1. Estudio del estado del arte. Recopilación bibliográfica sobre métodos de observación meteorológica automática. Procedimientos de medida, calibración y control de calidad. Redes IoT.
2. Diseño e integración del sistema de observación. Diseño de los nodos de observación utilizando Raspberry Pi y sensores de bajo coste.
3. Instalación de los sistemas en el exterior.
4. Análisis del desempeño del sistema, micro-climas y fenomenología detectada y conclusiones.

Bibliografía:

- Brock FV and Richardson S.J. Meteorological Measurement Systems. Oxford Scholarship Online: November 2020. ISBN-13: 9780195134513
- WMO. (2018). Guide to Instruments and Methods of Observation.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



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 atmospheric circulation on the Spanish energy system	
Supervisor/es:	Ricardo García Herrera, José Manuel Garrido Pérez	
E-mail supervisor/es	rgarciah@ucm.es , josgarri@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

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:

- Uso de un reanálisis meteorológico para la obtención de datos
- Representación de campos meteorológicos
- Conocer los fundamentos de interpretación de campos meteorológicos

Metodología:

- Los alumnos elegirán uno o varios eventos extremos entre el listado proporcionado por los supervisores o de su elección aprobado por los mismos.
- Manejo de un reanálisis. Para ello se realizará una presentación, de asistencia obligatoria, por parte de los supervisores. En ella se describirán los procedimientos a seguir.
- Identificación de las variables relevantes para su análisis. Dependiendo del tipo de evento extremo escogido, el alumno elegirá las variables de interés para realizar el análisis.

- Representación de los campos de variables y, si fuera necesario, de sus anomalías. Usando el reanálisis, los alumnos representarán las variables representativas del fenómeno, así como sus anomalías respecto a la climatología.
- Análisis meteorológico. Se identificarán los principales procesos sinópticos asociados al evento estudiado.
- Análisis climático. Si fuera necesario, se analizarán las anomalías de los diferentes campos, valorando las mismas respecto a las respectivas climatologías.
- Elaboración de conclusiones

Bibliografía:

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