UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

OBSERVATORIO DEL ESTUDIANTE

Proyectos POE-UCM 2024

Informe final

OBSERVATORIO
DEL ESTUDIANTE
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FÍSICAS ANTE LA EMERGENCIA CLIMÁTICA Y LA CRISIS ECOSOCIAL

Autores/as: Miguel Hernández Calleja, Mercedes Martín Benito y Marta Peris Rubert

Nº de proyecto: 26

Centro gestor: Facultad de Ciencias Físicas

RESUMEN

El principal objetivo de este proyecto es visibilizar entre nuestro estudiantado uno de los problemas más graves que ha generado la humanidad en el último siglo: el cambio climático. Éste encuentra su causa en el calentamiento global provocado por la emisión de gases de efecto invernadero producidos en la combustión de hidrocarburos. El cambio climático afecta ya a prácticamente todas las regiones y ecosistemas del planeta. La defensa de la vida en la Tierra pasa por revertir el calentamiento global. La sociedad actual todavía está aprendiendo a comprender esta problemática y a entender que debemos trabajar urgentemente por buscar soluciones o pronto será demasiado tarde. Dichas soluciones pasan por reducir nuestro consumo de combustibles fósiles así como de los recursos naturales en general. La Facultad de Físicas de la UCM está firmemente comprometida en contribuir a resolver esta problemática, desde el trabajo de muchos de nuestros grupos de investigación, como a través de la formación impartida, como mediante actividades académicas encaminadas a concienciar sobre este problema. Es en esta línea en la que se plantea este proyecto, que ha buscado involucrar de manera central a nuestro estudiantado en el desarrollo de diversas iniciativas enfocadas a visibilizar el problema del cambio climático y la necesidad de llevar a cabo una transición verde en nuestro marco socio-económico. Estas actividades incluyen jornadas de presentaciones y de debate que fomenten la concienciación sobre el desarrollo sostenible.

INTRODUCCIÓN

Incluye pregunta de investigación y objetivos definidos

La principal pregunta que aborda este proyecto es si nuestro estudiantado es consciente de la emergencia climática y crisis ecosocial que atraviesa nuestro Planeta, así como de sus consecuencias futuras.

Este proyecto se plantea desde la Facultad de Ciencias Físicas de la UCM, con colaboración además de la Facultad de Ciencias Químicas. Como centros donde se hace investigación puntera en muchas áreas que encuentran aplicación directa en cuestiones medioambientales y de sostenibilidad, nos parece importante contribuir a la conciencia del estudiantado en estas cuestiones y a que ellos mismos se planteen cómo su formación y su desarrollo profesional futuro se puede dirigir a ayudar a resolver las problemáticas derivadas de la crisis climática y medioambiental.

De manera más específica, los objetivos generales del proyecto planteados en su inicio eran:
1) Concienciar al estudiantado sobre los principales problemas medioambientales que sufre nuestro planeta: calentamiento global, cambio climático, sobreexplotación de recursos, crisis energética, y sobre sus consecuencias.
2) Dar a conocer los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, como marco de referencia de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia.
3) Visibilizar la importante contribución que podemos realizar los y las egresadas en las titulaciones impartidas en la Facultad de CC. Físicas tanto para estudiar las problemáticas medioambientales como para buscar soluciones.
4) Analizar el nivel de preocupación frente a los diversos problemas medioambientales, incluso de eco-ansiedad, que sufre nuestro estudiantado.
5) Darle visibilidad al grupo de sostenibilidad de la Facultad de CC. Físicas, a Meteolab, y a las diversas asociaciones de estudiantes comprometidas con el medio ambiente.

Estos objetivos los hemos abordado a través de la organización de las **II Jornadas Universitarias ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial**, que tuvieron lugar en la Facultad de Ciencias Físicas los días 5, 6 y 7 de mayo. Durante esos tres días organizamos actividades de cuatro tipos distintos:

1) **Presentación de pósteres** a cargo del estudiantado de las asignaturas de “Bases Físicas del Cambio Climático” y de “Energía y Medioambiente”, de cuarto curso del Grado en Física, y de “Cambio Climático”, de cuarto curso del Grado en Ingeniería Química.

2) **Ponencias** a cargo de expertas y expertos, tanto de la UCM como externos, en diversas problemáticas relacionadas con el tema de las jornadas.

3) Demostraciones de **Meteolab**.

4) **Actividades** organizadas por algunas de las **asociaciones de estudiantes** de la Facultad de Ciencias Físicas.

El programa detallado puede consultarse en el Anexo I de este documento.

DISEÑO METODOLÓGICO

Estas jornadas partían de una experiencia previa recabada en años anteriores. Por una parte, el Grupo de Sostenibilidad de La Facultad de Físicas ya había organizado en los años 2023 y 2024 una presentación de pósteres a cargo del estudiantado de la asignatura “Bases Físicas del Cambio Climático”. Esas presentaciones se planearon cercanas al 22 de abril, Día Internacional de la Madre Tierra, en conmemoración del mismo. Por otra parte, uno de los IPs de este proyecto, Miguel Hernández Calleja, organizó en 2024 las **I Jornadas Universitarias ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial**, enmarcadas en el programa de voluntario de la Unidad de Campus y Medioambiente de la UCM. El presente proyecto ha buscado dar continuidad a ambas iniciativas, además fusionándolas y ampliándolas al involucrar al estudiantado de más asignaturas y también a las asociaciones estudiantiles.

Nos hubiera gustado que estas II jornadas hubieran sido cercanas al 22 de abril, por seguir recordando el Día de la Tierra, pero el hecho de que cayera justo a la vuelta de Semana Santa dificultaba de su organización. Por ello inicialmente las planteamos la semana del 29 de abril, pero la convocatoria de huelga marcada para ese día provocó que tuviéramos que desplazar todas las actividades a una semana más tarde.

Estas **II Jornadas Universitarias ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial** contaron con cuatro tipos de actividades distintas:

1) Presentaciones de pósteres: En la mañana del lunes 5 de mayo se presentaron los pósteres de las asignaturas de “Energía y Medioambiente” y de “Cambio Climático”. De la primera asignatura participaron 37 estudiantes repartidos en 8 grupos, y de la segunda 23 estudiantes repartidos en 5 grupos. Por su parte, el estudiantado de “Bases Físicas del Cambio Climático” presentó el miércoles 7 de mayo. Participaron 60 estudiantes repartidos en 10 grupos. Cada grupo elaboró un póster que fue previamente revisado por el profesorado de las asignaturas y luego expuesto y presentado en el Gabinete de Física. Las presentaciones coincidieron con su horario de clase de la asignatura. Los profesores de las asignaturas concursantes eligieron un póster ganador, y de esos tres finalistas los organizadores elegimos un ganador absoluto. A sus autores les regalamos una sudadera, al resto de los finalistas una botella, y al resto de participantes les obsequiamos con una bolsa de algodón ecológico. Todos estos premios llevan impresos el escudo de la Facultad de Físicas.

2) Ponencias: Los tres días hubo dos o tres ponencias, dependiendo del día, en el Aula Magna de la Facultad de Ciencias Físicas. El diseño del programa y las invitaciones a los distintos ponentes corrieron a cargo de los IPs del proyecto, pero también de los estudiantes Alex Martínez y Celia Amorrortu que, aunque inicialmente no estaban en la propuesta, se involucraron activamente.

3) Demostraciones de Meteolab: La mañana del martes 6 de mayo nuestras compañeras de Meteolab, junto con alumnos del Máster en Meteorología y Geofísica, instalaron varios de sus experimentos en el Gabinete de Física con los que ilustrar de manera divulgativa diferentes consecuencias del cambio climático.

4) Actividades de las asociaciones estudiantiles: la guinda de las jornadas la pusieron un par de asociaciones estudiantiles que se involucraron en la organización de varias actividades de un modo más lúdico. La asociación “Rolatividad” coordinó partidas de juegos de mesa que buscan concienciar sobre el cambio climático, y por otra parte la asociación de astrónomos aficionados ASAAF primero impartió una charla sobre el efecto de la radiación solar sobre el clima y luego coordinó una observación solar.

RESULTADOS

Uno de los resultados más relevantes que se han obtenido en el desarrollo de este proyecto es la elaboración de pósteres de temática muy diversa a cargo del estudiantado implicado. Hemos conseguido involucrar a un gran número de estudiantes, casi todos los que han cursado las asignaturas “Energía y Medioambiente”, “Bases Físicas del Cambio Climático” y “Cambio Climático”. Ya los nombres de estas asignaturas evidencian su relevancia al tratar temas relacionados con este proyecto. Los respectivos pósteres se han podido realizar gracias a que el profesorado de estas asignaturas ya planificó en sus fichas docentes la elaboración de los mismos, como actividad a evaluar dentro de sus asignaturas. A continuación, detallamos los títulos de los pósteres y los autores de estos. Los pósteres se pueden consultar en el Anexo II.

Pósteres de la asignatura Energía y Medioambiente

1) *Del viento a la electricidad*, elaborado por Alejandro Carrasco Ordejón, Lydia Flores Gigante, Edgar Suárez Díaz, Paula Sira Mafé Jiménez, Santiago Marín Gutiérrez.
2) *Las células fotovoltaicas para un futuro sostenible*, elaboradoro por Omar Bentaleb Ruiz, Sergio Corral Andrés, Ariadna Martínez Estévez, Marcos Mondejar Fernandez, Sara Ocaña Muñoz.
3) *Almacenamiento de energía*, elaborado por Neli Georgieva Ilieva, Claudia Palero San Román, Lucía Rodríguez Bethencourt, Paula Simón Ávila.
4) *Arquitectura Bioclimática*, elaborado por Marcos García Sánchez, Juan José Moreno Mena, Gabriel Reyes Rodríguez, Francisca Serra Gelabert, Claudia Zayas García.
5) *La energía del mar*, elaborado por José Luis Imaña Barragán, Mar López Iglesias, Ignacio Montes Ramos, Eduardo Sánchez Ramos.
6) *Motores de vehículos alternativos*, elaborado por Alfredo Caniego González, Sergio Martín Rives, Juan De Las Rivas Gámez, Jesús Rodríguez Sánchez.
7) *Aprovechamiento energético de los residuos*, elaborado por Alejandra Díaz Sánchez, Lucía Egurcegui Apiñaniz, Javier García Durán, Claudia Menéndez Pérez, Jaime Nogueira Fuentes.
8*) La sostenibilidad de la IA en el punto de mira*, elaborado por Guillermo Nicolás Díaz Mata, Álvaro Gómez-Álvarez Lobon, Marcos González Cruz, Antonio Linares Antolinos, Marta Sevillano Ruiz.

Pósteres de la asignatura Cambio Climático

1) *Movilidad urbana sostenible*, elaborado por Carlota Albarrán Sánchez, Alejandro Blázquez Pacheco, Andrew Colquhoun Pavón, Alexandra De Miguel Puente, Adrián Gómez García.
2) *Usos y transformación del CO2*, *e-fuels y urea*, elaborado por Gabriela Valentina Cedraro Vieira, Jonathan Thera Sánchez, Stefano Andrés Yacoub Lattanzio, Paulina Zahonero Navarro, Eduardo González-Sotoca Fernández.
3) *Descarbonización de la industria química con H2 verde*, elaborado por Jose Carlos Checa Martínez, Silvia Díaz Flores, Manuel Navarro Barreira, Rubén Rey Calvo, Alberto Velasco Benavent, Diego Aceituno Villar.
4) *Energía nuclear y cambio climático*, elaborado por Eunjae Choi, César Fernández Ruiz, Zeng Liu.
5) *Descarbonización en el transporte aéreo*, elaborado por Daniel Delgado Jaramillo, Álvaro Díaz-Regañón Sánchez, Ana María Pinili Eumague, Yaiza Sainz Balado.

Pósteres de la asignatura Bases Físicas del Cambio Climático
1) *Bulos sobre el cambio climático*, elaborado por Omar Bentaleb Ruiz, Marcos Mondéjar Fernández, Jorge Escobal Celaya, David Payo Carrasco, Celia Sánchez Egea, Ariadna Martínez Estévez.
2) *Bulos sobre el cambio climático II*, elaborado por Claudia Menéndez Pérez, Alejandra Díaz Sánchez, Lucía Egurcegui Apiñaniz, Marcos López Yebra, Alfredo Caniego González, Javier García Durán.
3) *Eventos climáticos extremos*, elaborado por Izhan Cañas Marrodán, Javier Bayona, Edgar Suárez, Andrea Dimitrova, Daniel Pozo Pucci, Jorge Huerta Toledo, Teresa Latas Prieto.
4) *Grandes cambios climáticos en la historia de la Tierra*, elaborado por Neli Georgieva Ilieva, Jael Stephanie Ortiz Arteaga, Iván Sánchez-Pascuala López, Daniel Mohedas Calero, Marta Díaz Pérez, Ana Hernández Salas, Claudia Tejada Callejón.
5) *Cambio climático y su impacto en enfermedades de transmisión vectorial*, elaborado por Pablo Cornwall Rivas, Álvaro de Fernando de Miguel, Pablo Künzle Álvarez, Ángel Molero García, Marta Sevillano Ruiz, Ángela Shaw Angulo.
6) *Puntos de no retorno: el reloj avanza sin pausa*, elaborado por Gonzalo Puente, Ignacio Peñas Bustos, Teresa Alcázar Alonso, Lucía Rodríguez Bethencourt, Ignacio Montes Ramos, Paula Simón Ávila.
7) *Geoingeniería: la controversia de la modificación climática*, elaborado por Carla Quintana Doña, Alba Benito García, Paula Sira Mafé Jiménez, Juan de las Rivas Gámez, Juan José Moreno Mena, Guillermo Nicolás Díaz Mata.
8*) AMOC: desaceleración y posibles consecuencias*, elaborado por Gabriel Reyes Rodríguez, Sergio Sánchez García, Francisca Serra Gelabert, Claudia Zayas García, Marcos García Sánchez, Santiago Marín Gutiérrez, Pilar González Furió.
9) *El cambio climático y la biodiversidad*, elaborado por Eduardo Martínez, Gonzalo Mateos, Jaime Nogueira, Clara Peláez, Laura Redondo, Gabriel Vicente Albasini, Hugo Sainz.
10) *Financiando la lucha contra el cambio climático*, elaborado por Alejandro Rodríguez Cervera, Walter Alzurutt Bordón.

Además, también se presentaron varios pósteres de la asignatura "**Análisis de Datos en Meteorología**" del Máster en Meteorología y Geofísica:
1) *Análisis de los cambios en los eventos extremos en el área Mediterránea en simulaciones de alta resolución.* Julio Cuadrado, Miguel Hernández, Alex Martínez, Álvaro Martín-Caro, David Rodríguez, Elsa Mohino, Irene Polo, Belén Rodríguez-Fonseca
2) *Análisis de los cambios en los eventos extremos en la Península Ibérica en simulaciones de alta resolución.* Julio Cuadrado, Miguel Hernández, Alex Martínez, Álvaro Martín-Caro, David Rodríguez, Elsa Mohino, Irene Polo, Belén Rodríguez-Fonseca
3) *Análisis de temperatura y precipitación en la región Mediterranea* Estudiantes Máster en Meteorología y Geofísica UCM

Las ponencias fueron grabadas y se subirán a la web del Grupo de Sostenibilidad cuando su edición esté concluida. Se inauguraron con la mesa redonda "Investigación Climática en la Universidad Pública", que fue moderada por el investigador del IGEO-CSIC/UCM Jesús Fidel González Rouco, y en la que participaron Jorge Jesús Gómez Sanz, Vicerrector de Tecnología y Sostenibilidad de la UCM, y las investigadoras Marta Ábalos, Teresa Losada y Marisa Montoya, todas de la Facultad de Físicas de la UCM expertas en diversos aspectos de la física del clima. Del resto de charlas (detalladas en el Anexo I) destacamos la presentación de los compañeros Celia Díaz e Igor Sabada, IPs de otro POE de la convocatoria de 2024 titulado "Percepción Estudiantil del Cambio Climático: Desinformación y Negacionismo", que presentaron un resumen de sus resultados.

CONCLUSIONES/DISCUSIÓN

El desarrollo de este proyecto se ha materializado en las **II Jornadas Universitarias ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial**, que aglutinaron un elenco de intensas actividades de divulgación científica durante los días 5, 6 y 7 de mayo de 2025, en la Facultad de Ciencias Físicas de la UCM.

Las presentaciones de los pósteres a cargo del estudiantado de las asignaturas “Energía y Medioambiente” y “Bases Físicas del Cambio Climático” del Grado en Física y “Cambio Climático” del Grado en Ingeniería Química tuvieron una alta asistencia. Fue un acierto hacer coincidir las presentaciones con el horario de clases de las respectivas asignaturas, ya que eso garantizó la asistencia de todos los estudiantes de estas. La mayoría eran autores de algún póster, y no solo hicieron su parte presentándolo, sino que también se interesaron por los trabajos de sus compañeros. Además, también asistió público no directamente relacionado con la propuesta de este proyecto, como por ejemplo más estudiantes y profesorado de la Facultad de Ciencias Físicas. En las semanas previas al evento lo anunciamos acordemente por email, en las redes sociales de la Facultad de Físicas, y con carteles impresos y en las pantallas digitales. De entre todos los pósteres se eligió un finalista de cada asignatura, siendo los elegidos *La sostenibilidad de la IA en el punto de mira* (de la asignatura de Energía y Medioambiente), *Usos y transformación del CO2* (de la asignatura de Cambio Climático) y *Bulos sobre el cambio climático II* (de la asignatura Bases Físicas del Cambio Climático). Estos trabajos destacaron por su originalidad y capacidad de abordar problemáticas no vistas con detalle en sus clases. Destacamos que los autores del póster *Bulos sobre el cambio climático II* lanzaron una encuesta previa entre sus conocidos con la que recabaron información para su póster, y los autores de *La sostenibilidad de la IA en el punto de mira* llegaron a hacer estimaciones por su cuenta de gasto energético. Estos últimos fueron los ganadores globales del concurso a mejor póster. En general esta actividad supuso una muy buena experiencia para todo el estudiantado participante, tanto por la elaboración propia del póster como por tener que presentarlo en público.

Las demostraciones de Meteolab y las ponencias tuvieron menos asistencia. Suponemos que esto se debió a que coincidían con horario de clases y pocos estudiantes presentes en la presentación de pósteres asistieron a ellas. Además, el hecho de que tuviésemos que retrasar las jornadas en la semana del 5 de mayo no fue lo óptimo. Inicialmente estaban programadas para la semana del 29 de abril, pero al enterarnos de la programación de una huelga general en el sector de la educación superior, nos movimos rápidamente para reprogramarlas. Al retrasarlas una semana ya nos metimos en la última semana de clases, en la que típicamente tanto profesorado como estudiantado está muy ocupado finalizando temarios y actividades de clase.

Las actividades de las asociaciones fueron muy originales. Sin embargo, al desarrollarse por la tarde en la semana previa a los exámenes, pocos alumnos fueron los que pudieron participar en ellas. De nuevo, una fecha más temprana mejoraría la asistencia.

En general valoramos muy positivamente el resultado de las jornadas. Difundir el conocimiento sobre el cambio climático es una responsabilidad que va más allá del ámbito científico: es un compromiso ético con la sociedad y con el futuro. Cada espacio de reflexión y cada persona que se llevó consigo una idea, una inquietud o una motivación para actuar, justifican plenamente el esfuerzo realizado.

PROPUESTA DE POLÍTICAS DERIVADAS DEL PROYECTO

Una de las principales propuestas que emanan de este proyecto es la consolidación y continuidad de las **Jornadas Universitarias ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial** como un evento anual, integrado de manera estable en el calendario académico de la Facultad de Ciencias Físicas, e idealmente extendido al conjunto de la Universidad Complutense de Madrid.

Dado el éxito y la buena acogida de las ediciones celebradas hasta la fecha, consideramos fundamental establecer un marco institucional que garantice su organización periódica, así como su evolución y crecimiento progresivo. Esto permitiría no solo mantener el nivel de concienciación alcanzado, sino también generar un espacio permanente de reflexión, diálogo y aprendizaje en torno a los retos medioambientales y ecosociales a los que nos enfrentamos como comunidad universitaria.

Proponemos que este evento tenga lugar cada año en fechas próximas al 22 de abril, Día Internacional de la Madre Tierra, como una forma de anclarse a una conmemoración reconocida a nivel mundial y con gran carga simbólica. Para ello, será necesario prever su planificación con suficiente antelación, a fin de evitar conflictos con períodos académicos intensos como la Semana Santa, las evaluaciones finales, o posibles movilizaciones estudiantiles que puedan interferir en su desarrollo.

Además, esta continuidad permitiría afianzar sinergias entre asignaturas, departamentos, grupos de investigación, asociaciones estudiantiles y otras facultades, promoviendo una visión interdisciplinar y comunitaria de la sostenibilidad. También facilitaría la implicación creciente del estudiantado, que año tras año podría participar con nuevas propuestas, proyectos y contenidos, reforzando su papel activo en la construcción de una universidad comprometida con el medio ambiente.

De forma complementaria, proponemos que estas jornadas se integren en los programas formativos y de voluntariado ambiental que impulsa la Universidad Complutense, en particular aquellos gestionados desde la Unidad de Campus y Medioambiente. Esto permitiría reconocer la participación del estudiantado en estas actividades como parte de su formación transversal en sostenibilidad, mediante certificados de participación, créditos optativos o su inclusión en itinerarios de formación ambiental reconocidos por la universidad.

Finalmente, institucionalizar estas jornadas facilitaría también la búsqueda de financiación estable y el apoyo logístico por parte de la UCM, elementos clave para asegurar la calidad, la continuidad y el impacto de las actividades organizadas.

ANEXO I: Cartel anunciador con el programa de actividades

II JORNADAS UNIVERSITARIAS ANTE LA EMERGENCIA CLIMÁTICA Y LA CRISIS ECOSOCIAL



LUNES 5 MAYO

Posters Energía y Medio Ambiente, Cambio Climático (10:30–12:00) [1]

Investigación Climática en la Universidad Pública (12:00–13:00) [2]
Mesa Redonda.

El Cambio Climático en los Barrios de Madrid (13:00–14:00) [2]
Luis Durán (TROPA–Físicas UCM)

La Mesa Verde (Juegos de mesa) (15:00–17:00)
Rolatividad [1]

MARTES 6 MAYO

Experimentos de MeteoLab + Posters Master Meteorología (10:00–11:30) [1]

¿Qué narrativas existen sobre el cambio climático y qué narrativas alternativas podemos construir?(11:30–12:30) [2]
Jesús Sánz (Antropología Social UCM)

Percepción Estudiantil del Cambio Climático (12:30–13:00) [2]
Celia Diaz e Igor Sabada (UCM)

Agroecología en serio para una transición ecosocial justa (13:00–14:00) [2]
Pilar Galindo (Garbancita Ecológica, SEAE)

MIÉRCOLES 7 MAYO

Posters Bases Físicas del Cambio Climático (10:30–12:00) [1]

Descarbonizar y desmilitarizar (12:00–13:00) [2]
Enrique Quintanilla (Ecologistas en Acción)

El Sahel: una mirada interdisciplinar de la crisis climática y migratoria (13:00–14:00) [2]
Red MASCARAS

¿La Actividad Solar causa el Calentamiento Global? + Observación Solar (15:00–16:00 + 16:00 –19:00) [2]
Asociación de Astrónomos Aficionados (ASAAF)

Ubicaciones
[1] Gabinete, Facultad de CC Físicas UCM
[2] Aula Magna, Facultad de CC Físicas UCM

ANEXO II: Pósteres presentados

Pósteres de la asignatura Energía y Medioambiente

Del viento a la electricidad

ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE
GRADO EN FÍSICA

Edgar Suárez Díaz, Lydia Flores Gigante, Santiago Marín Gutiérrez, Alejandro Carrasco Ordejón y Paula Sira Mafé Jiménez

Introducción

La energía eólica es una de las protagonistas en la transición hacia un modelo energético más sostenible. Aprovecha la energía cinética del viento, originada por fenómenos atmosféricos complejos como el calentamiento desigual de la superficie terrestre, la rotación planetaria y la fricción con el suelo. Comprender estos procesos es clave para mejorar la eficiencia de los aerogeneradores y ubicar estratégicamente los parques eólicos [4].

Pero más allá del recurso natural, la verdadera revolución está en la tecnología: hoy existe una **amplia variedad de aerogeneradores** , desde los clásicos de eje horizontal hasta cometas eólicos. Cada uno presenta características únicas que permiten adaptarse a distintos entornos, necesidades energéticas y desafíos técnicos y ambientales.

Fig. 1. Aerogeneradores onshore y offshore

Funcionamiento de un aerogenerador

Convierte energía cinética del viento en electricidad

El diseño de las palas está cuidadosamente optimizado para maximizar el coeficiente de potencia. Estas están conectadas a un sistema de **multiplicación de velocidad**, que aumenta la velocidad de rotación. [1]

El viento mueve las palas del rotor, diseñadas para captar la mayor cantidad posible de energía cinética del aire. [1]

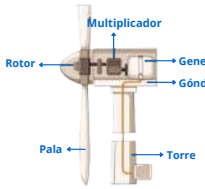


Fig. 2. Elementos de un aerogenerador [1]

El generador convierte la energía rotacional en electricidad. [1]

Potencia (C_p)

El coeficiente de potencia indica la eficiencia que se llega a obtener en un primer proceso de conversión de energía cinética del viento a mecánica de rotación depende en gran medida de la geometría de las palas. El límite de Betz marca el coeficiente de potencia máximo que se puede llegar obtener, siendo de 0,59. [2]

$$C_p = \frac{P_{rotor}}{P_{dinámica}} = \frac{P_{rotor}}{\frac{1}{2}\rho A U^3}$$

Parámetros físicos

Un parámetro que influye en el coeficiente de potencia es la velocidad específica. Indica la relación entre la velocidad de la punta de las palas y la velocidad del viento incidente (U).

$$\lambda = \frac{V_{punta,pala}}{U} = \frac{\omega R}{U}$$

Eficiencia

Existe una eficiencia de la conversión de energía mecánica a eléctrica o energía útil (η_g) . El proceso completo va a tener una eficiencia igual al producto de las eficiencias en cada paso ($C_p \cdot \eta_g = \eta_{tot}$)

$$\eta_g = \frac{P_{eléctrica}}{P_{rotor}} \qquad \eta_{tot} = \frac{P_{eléctrica}}{\frac{1}{2}\rho A U^3}$$

Tipos de aerogeneradores

De eje horizontal

- Son los más comunes y tienen **3 o más palas**.
- El coeficiente de potencia máximo dependerá de dicho número, ya que afecta directamente a la velocidad específica y a su vez determina el coeficiente de potencia máximo alcanzable. [2]
- Con más palas, el rotor capta más energía del viento en cada rotación, por lo que no necesita girar tan rápido para ser eficiente. Esto hace que el coeficiente de potencia máximo se alcance a una velocidad específica más baja. [2]

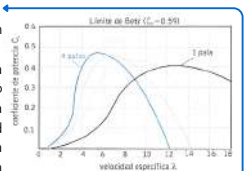


Fig. 3 Influencia del numero de palas sobre el coeficiente de potencia [2]

De eje vertical

Dos tipos:

- Savonius:

Las aspas de estos dispositivos se mueven **por arrastre.** Vistos desde arriba, se construyen con forma de S, y el viento hace que las aspas giren. Debido a la curvatura, las palas experimentan menos resistencia cuando se mueven en contra del viento que a favor de él, haciendo que giren. [9]

- Darrieus:

En las palas, la forma aerodinámica hace que el viento corra más rápido por una cara que por la otra, creando una diferencia de presiones. Según el principio de **Bernoulli**: la mayor velocidad del aire en un lado de la pala reduce la presión, generando sustentación que impulsa su giro. [7]



Fig. 5. Aerogenerador Savonius [9]



Fig. 6. Aerogenerador Darrieus [10]

Sin aspas

Las vibraciones causadas por el viento inician el movimiento de ciertas partes del aerogenerador. La frecuencia de resonancia se controla con unos imanes, los cuales están colocados en una **estructura resonante** por inducción electromagnética. [8]

Fig. 7. Aerogenerador sin aspas [11]

Cometas eólicos

Se basa en utilizar una cometa unida a una estación en tierra por unos cables, con un generador cíclico. [12]



Fig 8. Cometa eólico [12]

Energía onshore vs offshore

- Hay un viento más estable y de mayor potencia (>10 MW vs. 6-7 MW en tierra).
- Obtienen un **mejor rendimiento**.
- Instalaciones más complejas. [3]



Fig. 4. Esquema offshore vs. onshore [3]

- Alcanzan el 75-80 % del límite de Betz.
- La rugosidad del suelo (vegetación, edificios) reduce su eficiencia. [3]

Estado actual de la energía eólica en España

- Con más de 30.000 MW de potencia acumulada en 2023, supera el **24%** de la demanda en España.
- Existen más de 22.000 aerogeneradores en 1371 parque eólicos que generan **61.000 GWh** eólicos.
- Tiene una aportación de un 0.5% al PIB, lo que se traduce en 5896 millones de euros y la creación de más de 39015 empleos.
- España es el **quinto país** en producción de energía eólica **a nivel mundial**. [6]



Fig. 9. Potencia acumulada por CCAA en 2023 [6]

Impactos positivos, negativos y en el medio ambiente

Impactos positivos

- Tiene una **alta adaptabilidad** a diferentes orografías, permitiendo el desarrollo sostenible de poblaciones aisladas, lo que reduce la importación de electricidad, disminuyendo la contaminación.
- Es una **fuente inagotable** y de sencilla instalación. [5]

Impactos negativos y en el medio ambiente

- Requiere grandes extensiones de tierra y la instalación de líneas de alta tensión, pudiendo alterar rutas migratorias de **aves** y a la **fauna marina**, además de requerir la **tala** de árboles.
- Genera un gran impacto **visual** y **auditivo** en el medio ambiente. [5]

Conclusiones

La energía eólica sigue evolucionando con innovaciones que reducen su impacto ambiental y mejoran su eficiencia. Tecnologías nuevas como aspas retráctiles o cortinas de burbujas para aerogeneradores offshore prometen un futuro más sostenible, minimizando la contaminación acústica y protegiendo la fauna terrestre y marina.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

Referencias

[1] Garcia, A. (2021b, junio 23). Funcionamiento de un aerogenerador - ALTTION Ronergy Wind Services.
[2] J.L.L. Energía Eólica terrestre y marítima. Escuela universitaria ingeniería técnica de Zaragoza (2010)
[3] Eolivertical. EÓLICA ONSHORE VS OFFSHORE ¿CUÁL ES MEJOR? (2021)
[4] M. J. F. et al. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application. (2009).
[5] Admin. (2024c, septiembre 3). El impacto ambiental de la energía eólica. MINT.
[6] Asociación Empresarial Eólica. (2024, 29 julio). La eólica en España - Asociación Empresarial Eólica.
[7] M. F. Voneschen. Breve introducción a las turbinas eólicas Darrieus. (2010).
[8] D. J. Yáñez Villarreal. Green Paper. Vortex Bladeless. (2018).
[9] Steves3D. (2010). Aerogenerador Helicoidal Savonius VAWT Modelo 3D.
[10] Bauer, L. (s. f.). Dornier Darrieus 55 - 55,00 kW - Aerogenerador.
[11] Aerogeneradores sin aspas, innovación eólica | Repsol. (2025, 2 abril). REPSOL.
[12] David Plaza, D. P. (2023, 15 marzo). EnerKite: la revolución en la energía eólica que utiliza una cometa y cabe en un contenedor. Motor.es.

LAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS PARA UN FUTURO SOSTENIBLE

ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

GRADO EN FÍSICA

A. M. Estévez O. B. Ruiz M. M. Fernández S. O. Muñoz S. C. Andrés

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

1.¿QUÉ ES UN CÉLULA FOTOVOLTAICA?

Una **célula solar fotovoltaica** es un dispositivo electrónico que convierte la energía procedente de la radiación solar que llega a la Tierra en forma de luz (fotones) en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico.

El material más utilizado para su fabricación es el Si y su estructura se basa en una **unión p-n** de silicio dopado (tipo p y tipo n). Cuando la luz solar incide sobre la célula, se excitan electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, generando **pares electron-hueco**.

La zona de carga espacial en la unión P-N actúa como un campo eléctrico interno que separa electrones y huecos: los electrones son acelerados hacia la región N y los huecos son arrastrados hacia la región P. Al conectarlos a un circuito externo, los electrones fluyen de la capa N a la P, generando **corriente eléctrica** utilizable.

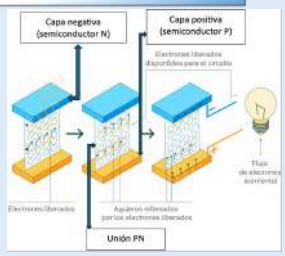


Figura 1: Funcionamiento de una célula fotovoltaica **[1]**

Ventajas células fotovoltaicas:

- No emiten gases de efecto invernadero (directos)
- Independencia de combustibles fósiles
- Mejora de la eficiencia constante
- Solución para el suministro energético del futuro

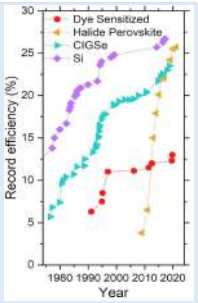


Figura 2: Eficiencia de células fotovoltaicas de distintos materiales **[2]**

2. CONVERSIÓN DE RADIACIÓN TÉRMICA A ENERGÍA QUÍMICA

DEFINICIÓN DE LAS ENERGÍAS

-**Energía térmica**: energía asociada al movimiento de las partículas por su temperatura. En este caso, proviene de la radiación solar.

-**Energía química**: energía almacenada en los pares electrón-hueco, caracterizada con el potencial químico de estos (μ_{eh}). Puede utilizarse para realizar un trabajo como generar electricidad.

GENERACIÓN DE PARES ELECTRÓN HUECO

El semiconductor absorbe fotones, que tienen mayor energía que el GAP(ϵ_G), generando **pares electrón-hueco (eh).** Estos ocuparan estados superiores a los límites de las bandas.

Si no hubiese interacción con la red, estarían en equilibrio térmico con el sol ($T_{eh} = T_S$). Y tendría un potencial químico igual a cero.

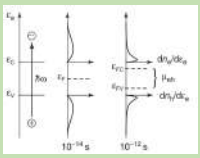


***Figura 3**: Densidades de portadores en cada nivel energético **[3]**. 1) generación de portadores. 2)Equilibrio con el sol. 3) termalización.*

TERMALIZACIÓN

Al tener en cuenta los fonones los portadores transfieren parte de su energía a la red. En este proceso, llamado **termalización**, los pares eh y la red igualan su temperatura. Los pares mantienen sus concentraciones, bajando de estado de energía y lo que hace que aparezcan los pseudoniveles de Fermi (ϵ_{FC}; ϵ_{FV}).

Tras esto, el potencial químico ya no es cero y la energía química obtenida depende de la relación entre la temperatura de la red (T_0) y la del sol (T_S). Este potencial químico es el que creará una corriente eléctrica útil.

Tras termalización $\mu_{eh}(T_{eh} = T_0) = \epsilon_{FC} - \epsilon_{FV} \neq 0 \implies \mu_{eh}(T_0) = \epsilon_G\left(1 - \frac{T_0}{T_S}\right)$

3. CONVERSIÓN DE ENERGÍA QUÍMICA A ENERGÍA ELECTRICA

SEPARACIÓN DE LOS PARES E^- - H^+

Cuando los eh se eliminan por pares de la misma ubicación y a lo largo del mismo camino, no hay corriente de carga asociada con la extracción. Por lo tanto, los eh deben ser expulsados del absorbedor en direcciones opuestas.

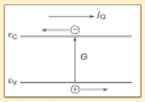


Figura 4**: Movimiento de los pares eh en las bandas de la célula **[3]

FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE LOS PORTADORES

1) Si el campo eléctrico es la única fuerza que actúa, la corriente de carga es proporcional a: $j_f \propto grad\ \varphi$ — Potencial eléctrico

2) Si solo existe un gradiente de concentración de partículas, la corriente de difusión es: $j_d \propto grad\ \mu$ — Carga del e^- / Potencial químico

$\varphi + \Phi \propto \epsilon_{FC/FV}$ — Conductividad de e^- o h^+

$j_e = \frac{\sigma_e}{q} grad\,\epsilon_{FC}$

$j_h = \frac{\sigma_h}{q} grad\,\epsilon_{FV}$

Los eh se mueven debido a **los gradientes de los pseudoniveles de Fermi.**

SELECCIÓN DE ELECTRONES Y HUECOS

Los gradientes de los pseudoniveles no dirigen a los e^- y h^+ en direcciones opuestas, como si lo haría un campo eléctrico. Por ello, **el transporte selectivo** solo puede resultar de establecer **conductividades distintas a través del dopado** para cada tipo de portador cerca de sus respectivos contactos.

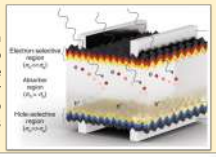


Figura 5**: Regiones selectivas para cada portador en una célula solar **[4]

4. ESTRUCTURA Y MATERIALES

TIPOS DE CÉLULAS

Las células fotovoltaicas de silicio se clasifican según su estructura, lo que define su eficiencia, costo y aplicaciones.

Monocristalinas
- Eficiencia: **20-25%**
- Coste alto

Policristalinas
- Eficiencia: **15-20%**
- Coste medio

Perovskita
- Híbrida
- Eficiencia **>25%**
- Bajo costo, inestable

Amorfas
- Silicio no cristalino
- Eficiencia: **6-10%**
- Flexibles, bajo costo



Figura 5:** Estructuras atómicas dentro de las células fotovoltaicas **[5]

ESTRUCTURA Y DOPADO

Tipo N
- Dopado con fósforo
- Base en células de alta eficiencia

Tipo P
- Dopado con boro
- Usada en células ms comúnmente

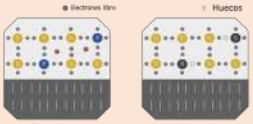


Figura 6:** Estructura electrónica dopado Capa N y P **[6]

FABRICACIÓN

Las células de silicio tradicionales requieren purificación y corte en obleas, mientras las perovskitas se fabrican depositando soluciones líquidas.

Perovskita
- Bajo costo, escalable
- Desafío: Estabilidad

Silicio
- Dopado (N/P)
- Encapsulado en vidrio

5. PERSPECTIVA SOCIAL Y MEDIOAMBIENTAL

CRECIMIENTO GLOBAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

El **costo de la energía fotovoltaica ha disminuido un 85%** desde 2010 y la industria solar podría generar más de **20 millones de empleos** a nivel mundial para 2025.

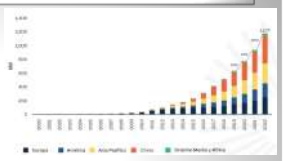


Figura 7: Evolución de la potencia solar fotovoltaica instalada **[7]**

ENERGÍA LIMPIA Y RENOVABLE

- No emite gases de efecto invernadero.
- No contamina el aire ni el agua.
- Reduce la dependencia de combustibles fósiles.
- No genera ruido.
- Puede instalarse en techos, evitando ocupar suelo adicional.

REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO_2

En 2023, la energía fotovoltaica evitó la emisión de más de **10 millones de toneladas de CO_2** en España.

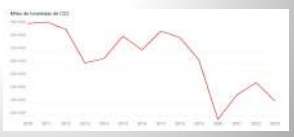


Figura 8: Emisiones de CO_2 **[8]**

CONCLUSIONES: En este trabajo se explica el verdadero funcionamiento físico de una célula solar. Se ve que la transformación de la energía no es directa, sino que se divide en 2 procesos, además, se demuestra que la fuerza que desplaza los portadores dentro de la célula, son los gradientes de los niveles de Fermi, y no el campo eléctrico como comúnmente se cree. Por último, se presenta la energía solar fotovoltaica como la alternativa renovable más prometedora de todas, debido a la gran relación coste-eficiencia que poseen, y que, en los próximos años, va a seguir mejorando.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

REFERENCIAS:

[1] https://www.iberdrola.com/innovacion/celulas-fotovoltaicas-fotoelectrica Último acceso: 19/03/25

[2] Dale, P. J., & Scarpulla, M. A. (2022). Efficiency versus effort: A better way to compare best photovoltaic research cell efficiencies? *Solar Energy Materials And Solar Cells*, *251*, 112097. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.112097

[3] Würfel, P., & Würfel, U. (2016). *Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts*. John Wiley & Sons.

[4] Allen, T. G., Bullock, J., Yang, X., Javey, A., & De Wolf, S. (2019). Passivating contacts for crystalline silicon solar cells. *Nature Energy*, *4*(11), 914-928.

[5] MJK Power. https://mjkpower.com/how-to-distinguish-mono-poly-and-amorphous-silicon-solar-panels/

[6] Jinsung Power. https://es.jingsun-power.com/info/how-to-differentiate-between-n-type-solar-cell-91107944.html

[7] Energías Renovables, el Periodismo de las Energías Limpias. https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/estos-son-los-diez-graficos-que-muestran-20230614/

[8] Días, C., Días, C., & Días, C. (2025, 25 febrero). La transición energética en España, en gráficos. *El País*.

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE – GRADO EN FÍSICA

Neli Georgieva Ilieva, Claudia Palero San Román, Lucía Rodríguez Bèthencourt, Paula Simón Ávila

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

¿Qué es el almacenamiento de energía? ¿Por qué es necesario?

La producción y la demanda de energía no son constantes a lo largo del día ni coinciden temporalmente, lo que implica una dificultad para cubrir la necesidad energética. Para resolver este problema se ha acudido a **los combustibles fósiles** quemando más cuando hacía falta. Por otra parte, la producción de **energía solar y eólica no coincide con los picos de demanda** (Fig. 1). Por lo tanto, si se desee **reducir las emisiones de gases de efecto invernadero** mediante la sustitución de los combustibles fósiles por **energías renovables**, es imprescindible contar con un **sistema de almacenamiento energético adecuado**.[1]

¡Es la clave para un **futuro sostenible** y asegura un **suministro energético fiable y eficiente**!

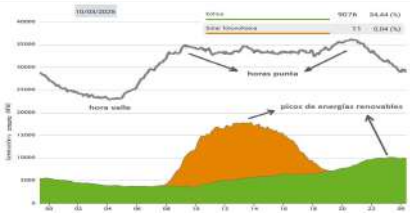


Fig.1:Generación y demanda en MW a lo largo del día 10 de marzo de 2025. La línea negra representa con la demanda energética total [2]

Sin embargo, el reto de conseguir tener una reserva de energía en vez de usarla solo en tiempo real requiere una solución compleja que implementa muchos métodos diferentes. Su esencia es **la conversión entre diferentes tipos de energía** en procesos que siempre tienen pérdidas que definen su **eficiencia.**

Almacenamiento Electroquímico

BATERÍAS: ENERGÍA QUE FLUYE ENTRE ELECTRODOS

Transforma energía eléctrica ⇄ energía química para su almacenamiento y posterior liberación

Reacciones Redox entre electrolito y electrodos para Batería de Ion-Litio

DURANTE LA DESCARGA (cuando usamos la batería)

Ánodo (-): $LiC_6 \rightarrow Li^+ + e^- + C_6$

Cátodo (+): $CoO_2 + Li^+ + e^- \rightarrow LiCoO_2$

e^-: Ánodo → circuito externo → cátodo

Li^+: Ánodo → electrolito → cátodo

DURANTE LA CARGA (cuando conectamos la batería a un voltaje externo)

Ánodo (+): $Li^+ + e^- + C_6 \rightarrow LiC_6$

Cátodo (-): $LiCoO_2 \rightarrow CoO_2 + Li^+ + e^-$

e^-: Cátodo→ circuito externo → ánodo

Li^+: Cátodo → electrolito → ánodo

Tipos de baterías convencionales

- **Iones de Litio:** Alta eficiencia y uso extendido en coches eléctricos y dispositivos, aunque costosas y degradables con el uso
- **Sales fundidas:** Gran capacidad de almacenamiento industrial, pero requieren altas temperaturas
- **Plomo-ácido**: Barata y robusta, ideal para automoción y respaldo

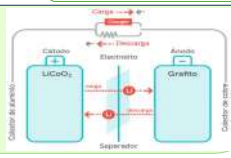


Fig. 2: Esquema del funcionamiento de una batería de Litio [3]

Almacenamiento Mecánico

BOMBEO HIDRÁULICO: FUERZA DE LA GRAVEDAD EN ACCIÓN

Fig. 3: Esquema de una central hidroeléctrica de bombeo [6] y formulas de la eficiencia



Es una de las maneras más antiguas y potentes de almacenar energía. Las desventajas principales son el coste alto de construcción y las limitaciones geográficas - los dos reservorios de agua deben tener una diferencia de elevación significativa, pero, además, estar relativamente cerca uno del otro. Sin embargo, las centrales hidráulicas de bombeo son sostenibles con un coste de mantenimiento bajo y una vida útil larga. [3,4,5]

Almacenamiento Térmico

MATERIALES DE CALOR DE CAMBIO DE FASE

¿Qué es un PCM?

Sustancias con la capacidad de absorción (**fusión**) o liberación (**solidificación**) de calor latente durante el cambio de fase de forma reversible, sin que se produzcan variaciones de temperatura durante dicho proceso [7].

Aplicación

Integración en sistemas de climatización pasiva de edificios, almacenando el exceso de calor durante el día y su liberación por la noche [8].

Antes del cambio de fase

Q = m c (T2-T1)

- **Calor sensible :** se **absorbe / cede**
- **Temperatura :** **aumenta / disminuye**
- **Almacenamiento térmico:** **crece / decrece** lentamente proporcional a la diferencia de temperatura

En el cambio de fase

Q = m l

- **Calor latente:** se **absorbe / cede**
- **Temperatura :** constante
- **Almacenamiento térmico:** **crece / decrece** debido al cambio de fase (**fusión / solidificación**)

Después del cambio de fase

Q = m c (T2-T1) [9]

- **Calor sensible :** se **absorbe / cede**
- **Temperatura :** **aumenta / disminuye**
- **Almacenamiento térmico:** **crece / decrece** lentamente proporcional a la diferencia de temperatura

Almacenamiento Químico

HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO

Permite almacenar y transportar energía química que luego puede liberarse de forma controlada. Su uso implica **tres etapas físicas clave:**

1. Producción : Electrólisis del Agua

Descompone el agua en hidrógeno y oxígeno usando electricidad $H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$

2. Almacenamiento El H_2 es un gas muy ligero, así que almacenarlo eficientemente es un reto [10,11]

Gas comprimido

Ley gases ideales $PV = nRT$

Implica compresión mecánica → gasto energético

Líquido Criogénico

Basado en la ecuación de *Clausius-Clapeyron* para el equilibrio líquido-gas $ln(\frac{P_2}{P_1}) = -\frac{\Delta H_{vap}}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$

Enfriamos el H_2 a ~20 K. Se requiere mucha energía para la licuefacción

Hidruros Metálicos

Almacenamiento en materiales: reacciones adsorción/desorción $M + H_2 \rightleftharpoons MH_x$

Son más seguros y densos, pero más pesados

3. Liberación de Energía: Celdas de Combustible

Emisiones cero si el H_2 se produce con renovables

Alta densidad energética ≈ 142MJ/kg
¡3 veces más que la gasolina!
Referido al hidrógeno puro, independiente del método de almacenamiento.

Reacciones **redox** en una celda de combustible de hidrógeno

Ánodo (oxidación) $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Cátodo (reducción) $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$

El rendimiento de la generación electricidad es del 83%
¡¡Más eficiente que quemar combustibles!! [12]

Almacenamiento Eléctrico

SUPERCONDENSADORES: VELOCIDAD DE RESPUESTA

Almacena energía en campos eléctricos o magnéticos, lista para liberarse al instante. *Principales tipos:*

- **Supercondensadores** (almacenan energía mediante separación de carga electrostática en doble capa eléctrica, con electrodos en electrolito separados por una membrana dieléctrica, permitiendo cargas y descargas ultrarrápidas)
- **Imanes superconductores** (almacenan energía en un campo magnético generado por una corriente eléctrica en bobinas superconductoras)

Cuando se necesita potencia inmediata, larga vida útil y alta eficiencia... ¡los ***SUPERCONDENSADORES*** son la solución!

Aplicaciones de los supercondensadores:

Sistemas de recuperación de energía en frenado regenerativo (trenes, autobuses eléctricos e híbridos). Almacenan y liberan rápidamente la energía generada al frenar, mejorando la eficiencia energética del vehículo

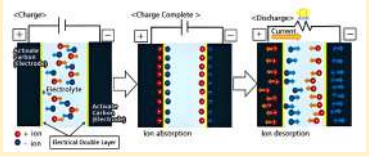


Fig. 4: Funcionamiento de un supercondensador [13]

Ninguna es mejor que otra, depende de la aplicación que queramos implementar

Bombeo hidráulico

Redes eléctricas

(Alta eficiencia y almacenamiento a largo plazo)

Vehículos eléctricos y sistemas domésticos

(Alta densidad energética y fácil recarga)

Baterías de iones de litio

PCM

Climatización de edificios y procesos industriales

(Alta densidad energética)

Aplicaciones de alta potencia y respuesta rápida

(Descargas rápidas, ideal para picos de demanda y frenado regenerativo)

Supercondensadores

Hidrógeno H_2 H_2

Almacenamiento a largo plazo y transporte sostenible

(Alta capacidad, aunque con retos de eficiencia y costos)

Referencias

[1] N. Dhanesha, "The power grid of the future needs clean energy — and big, weird batteries", *Vox*, 2022.
[2] Red Eléctrica, "Negocio eléctrico en España", 2025.
[3] International Hydropower Association, "Pumped Storage Hydropower.", 2025
[4] Iberdrola, "Central hidroeléctrica de bombeo.", 2025.
[5] U.S. Department of Energy, "Pumped storage hydropower: A key part of our clean energy future", 2022.
[6] Drax, "What is pumped storage hydro?", 2025
[7] F. Agyenim *et al., Renew. Sustain. Energy Rev.*, 14, 615–628, 2010.
[8] H. M. Chinnasamy et al., Appl. Therm. Eng., 2023.
[9] I. Medved' *et al., arXiv:1609.01853v1*, 2016.
[10] U.S. Department of Energy. (n.d.). *Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office*. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
[11] Züttel, A. Materials for hydrogen storage. *Materials Today,* 6(9), 24–33, 2003.
[12] Larminie, J., & Dicks, A. *Fuel cell systems explained* (2nd ed.). John Wiley & Sons, 2003.
[13] Barrett, P. *Diseño Estaciones Meteorológicas*. 2014.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad

Arquitectura Bioclimática

Energía y Medio Ambiente

Grado en Física

Claudia Zayas García, Francisca Serra Gelabert, Gabriel Reyes Rodríguez, Juan José Moreno Mena y Marcos García Sánchez

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

El término arquitectura bioclimática se refiere a un método alternativo de construcción de edificios en el que se tienen en cuenta las condiciones climáticas locales y se emplean diversas tecnologías pasivas con el objetivo de mejorar la eficiencia energética. Además de estos mecanismos, este trabajo tiene como objetivo mostrar diferentes alternativas de producción y de ahorro energético para disminuir el impacto de los hogares en el cambio climático.

Energía solar y eólica

Una alternativa para disminuir la huella de carbono en un hogar podría ser lograr la independencia de las redes eléctrica y de gas.

Los colectores solares: agua caliente sanitaria sin combustión [1].

- Podrían **disminuir 1,4 t CO_2/año por habitante.** Incluidos en la legislación europea, que establece que la demanda energética de los nuevos edificios se compense parcialmente con su propia producción.
- Instalaciones **muy viables**: 600€/m^2 y **tiempo de retorno energético** de **2 a 3 años**, considerando vida media entre 15 y 20 años.

Sistemas eólico-fotovoltaicos: producción eléctrica.

- **Aerogeneradores** de baja potencia (2 kW).
- Módulos de **paneles solares** ajustables (demanda).
- Almacenamiento en **baterías** y **supercapacitores.**

El principal **obstáculo**: de noche, el sistema debería ser capaz de **abastecerse** con las **baterías** y si no, recurrir a la red eléctrica.
Falta **desarrollo** para ser **viables** en domicilios [2].

Eólica y solar **se complementan muy bien,** coincidiendo los periodos de máxima generación de una con los de mínima generación de la otra.



Aprovechamiento del entorno

Aleros y ventanas **grandes** influyen en la radiación solar incidente.

Orientación hacia el sur (hemisferio norte) supone un ahorro energético ya que incide más radiación solar.

Correcto aislamiento en paredes y ventanas
Uso de poliuretano proyectado, SATE en paredes y doble acristalamiento en ventanas [3].

Vegetación y humedad
La cercanía de vegetación se usa como protección frente al sol (Figura 1) y como fuente de humedad natural [4].

PCMs
Introducirlos en los materiales de construcción (yeso, hormigón) aumentan la inercia térmica de las paredes. Permiten mantener una temperatura interior constante al absorber y liberar energía en su cambio de fase [5].

Ej: parafina, hidratos de sales de NaCl o de KCl, PCMs metálicas.

Características:

$$T_{fusión} \in [T_{min}, T_{max}]$$
$$altas\ \Delta H_f,\ c\,(J/kg\cdot K),\ \rho,\ \kappa$$

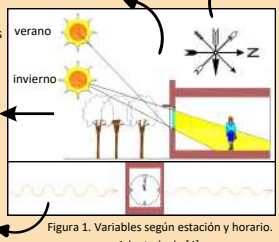


Figura 1. Variables según estación y horario. Adaptada de [4].

Un aislamiento térmico adecuado supone entre un 31% y un 80% de ahorro energético [3].

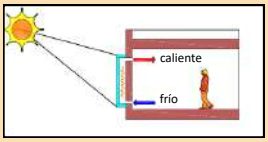


Figura 2. Izquierda: Muro Trombe [4].

Chimenea solar
Distribución (invierno) o **expulsión** (verano) del aire caliente mediante ventilación natural [4].



Figura 3. Tejado ventilado.

Tejados ventilados evitan el sobrecalentamiento en verano y las pérdidas de calor en invierno.

Energía solar pasiva

Aprovechamiento de los elementos de la construcción para obtener energía de la radiación solar.

Muro Trombe
Día: se produce **convección en la cámara** y se distribuye aire en la habitación.
Noche: **radia calor almacenado** por el día. [4]

Invierno
Circulación natural por aberturas internas. Aprovecha la radiación por la noche.

Verano
Abertura exterior arriba para extraer aire caliente.
Persianas para evitar acumulación de calor.

Energía geotérmica

Esta es una fuente de **energía primaria renovable** que proviene del calor de las profundidades del planeta. Es una energía limpia, segura y de poco mantenimiento [6].

En casas, se necesitaría de excavación en un terreno próximo a estas para inyectar depósitos de agua, contando con poco impacto visual generando así **agua caliente sanitaria** (hasta 150ºC en los depósitos) y **climatización** (hasta 30ºC). Se describe así la energía geotérmica activa [7].

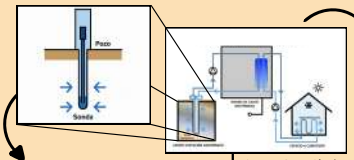


Figura 4. Captación de calor y sistema de climatización [9].

La energía térmica del agua caliente del depósito es captada por la sonda geotérmica. Esta es transportada por una bomba de calor hacia la vivienda calentándola. En verano, el proceso se efectúa de forma inversa [7].

La geotermia pasiva se centra en aprovechar la fuente de calor para mantener una temperatura óptima durante todo el año sin máquinas térmicas [8].

Esta transferencia de energía se da lugar gracias a varios **intercambiadores de calor**, que consisten en un receptor que absorbe la energía para después transferírsela a un fluido de trabajo [7].

Una central geotérmica de 10 MW podría abastecer en un año a **23,000 viviendas** [7].

Si quieres saber más sobre la geotermia escanea este QR :)

Aplicaciones y ejemplos

Arquitectura Mediterránea

Persianas mallorquinas que protegen del calor en verano al permitir la entrada de aire fresco y del frío en invierno.

Patios interiores utilizados en Andalucía para acumular calor mediante la radiación solar.

Toldo para cubrir el patio en verano



Figura 5. Patio interior andaluz [10].

Fachadas blancas que reflejan la radiación en verano.

Muros gruesos de piedra caliza o marés que aíslan la vivienda del calor [11].

Geotermia Islandesa

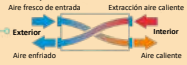
- Uso de **sistemas de calefacción urbana** en Reykjavik, evitando hasta 110 millones de toneladas de emisiones de CO_2 desde 1940.
- 90% de las viviendas se calientan con energía geotérmica [12].

Passivhaus

Objetivo: Optimización de las ganancias solares.

Ahorro energético de hasta un 90% respecto a una casa convencional.

1. Aislamiento térmico.
2. Puertas y ventanas de altas prestaciones.
3. Ventilación manteniendo la temperatura de la estancia.



4. Eliminación de puentes térmicos.
5. Estanqueidad del aire [13].



Figura 6. Esquema Passivhaus.

Este símbolo representa sostenibilidad y medioambiente

REFERENCIAS

[1]Perea-Moreno et al. (2017). Journal of Cleaner Production. 148, 545-554.
[2]Castellanos et al. (2020). Pistas Educativas. 42(137).
[3]TotalEnergies. https://www.totalenergies.es/es/hogares/blog/eficiencia-ahorro/ventajas-aislamiento-termico-ahorro-energia
[4]Manzano-Agugliaro et al. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort.
[5]Wikipedia. (2024,March 17). https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-change_material
[6]Keith et al (2007). Handbook of energy efficiency and renewable energy.
[7]Repsol. https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-geotermica/index.cshtml
[8]Geoclim. Refrescamiento directo. Frío pasivo. http://www.geoclim.es/media/download/2851
[9]Geotermia Vertical. https://www.geotermiavertical.es/climatizacion-geotermica/
[10]Toldos huerta abajo. https://www.toldoshuertabajo.com/
[11]Garrido Abalos et al. (2014). (Doctoral dissertation, UPV).
[12]Gunnlaugsson et al. (2010). In Proceedings world geothermal congress.
[13]Moreno-Rangel et al. (2020). Encyclopedia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

La Energía del Mar

ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

GRADO EN FÍSICA

Eduardo Sánchez Ramos, Ignacio Montes Ramos, Mar López Iglesias, José Luis Imaña Barragán

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

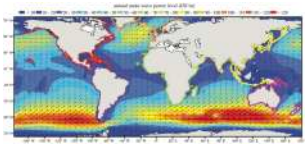
INTRODUCCIÓN

El 71% de la superficie terrestre está cubierta por agua, siendo un importante recurso para suplir la creciente demanda energética de forma sostenible. Este póster explora cinco de las principales tecnologías que aprovechan el recurso del mar: **energía undimotriz**, **energía mareomotriz**, **energía de gradiente térmico**, **energía de gradiente salino** y **energía de las corrientes marinas**.

ENERGÍA UNDIMOTRIZ

La energía undimotriz es la conversión de la energía cinética y potencial de las olas en electricidad mediante convertidores de energía de las olas (WECs, de Wave Energy Converter) y sistemas de toma de energía (PTOs, de Power Take-Off).

Fundamentos teóricos



Las olas se generan por la fricción del viento sobre el mar. Su energía es mayor en aguas profundas y varía según su altura (H), período (T), profundidad (h) y longitud de onda (λ)

Fig (1): Distribución global del recurso undimotriz [1]

La energía de las olas combina energía cinética y potencial. La energía por unidad de área viene dada como $E = \frac{1}{2}\rho g H^2$ [1], mientras que la potencia en condiciones reales es $P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H^2 T$ [1].

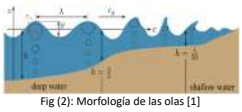


Fig (2): Morfología de las olas [1]

Tecnologías de energía undimotriz

El WEC convierte la energía de las olas en energía mecánica mediante diferencias de presión, cuerpos oscilantes o sistemas de desbordamiento. El PTO es el sistema de conversión interna del WEC que transforma el movimiento irregular de las olas en energía eléctrica útil con turbinas de aire, sistemas hidráulicos o mecánicos (Fig. 3). Las tecnologías de energía undimotriz integran ambos componentes, existiendo también diversas combinaciones y tipos (Fig 4).



Fig (3): Sistemas de tecnología PTO [1]

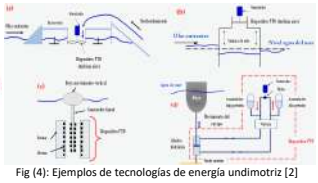


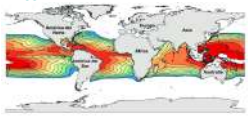
Fig (4): Ejemplos de tecnologías de energía undimotriz [2]

Ventajas e inconvenientes

- ✅ Alta densidad energética.
- ✅ Predictibilidad y disponibilidad.
- ❌ Costes de instalación y mantenimiento.
- ❌ Alteración de ecosistemas marinos.

GRADIENTE TÉRMICO

La OTEC (del inglés *Ocean Thermal Energy Conversion*) es un recurso energético que aprovecha la diferencia de temperatura entre la superficie del mar y aguas más profundas para producir energía.



Fundamentos teóricos

Esta diferencia de temperaturas se debe al calentamiento del agua por el sol, y debido al gran calor específico del agua esta diferencia se mantiene casi constante todo el año.

Para aprovechar esta energía se pueden utilizar dos ciclos termodinámicos: el de Rankine (Fig. 6), basado en dos procesos adiabáticos y otros dos isobáricos, o el de Kalina, similar al Rankine, pero utilizando una mezcla binaria de fluidos.

Permite obtener una potencia de: $P_T = \frac{3\rho c_P Q_{WW} \Delta T^2 E}{16 T_S (1+\frac{Q_{WW}}{Q_{CW}})}$ [4] ,

donde Q es el caudal de agua fría (CW) o agua caliente (WW), T_S es la temperatura del agua superficial y ΔT es la diferencia de temperatura entre las aguas.



Fig (5): Distribución global del gradiente térmico oceánico entre superficie y 1km de profundidad [3]

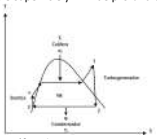


Fig (6): Gráfico de temperatura-entropía específica de un ciclo de Rankine real [5]

Funcionamiento de los sistemas OTEC

① CC-OTEC (circuito cerrado): Como se muestra en la Fig.7, se usa el agua de mayor temperatura para evaporar un fluido con bajo punto de ebullición. El vapor producido mueve una turbina conectada a un generador para producir electricidad. Finalmente, se condensa el fluido con el agua fría, cerrando el ciclo.

② OC-OTEC (circuito abierto): Descrito por la Fig.8, se evapora directamente el agua caliente en una cámara de baja presión. Un separador permite solamente al vapor pasar hacia la turbina, conectada a un generador. Tras generar electricidad, el vapor se condensa y se obtiene agua desalinizada.

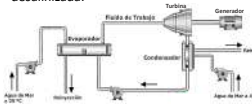


Fig (7): Sistema CC-OTEC [6]

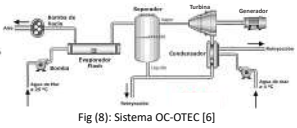


Fig (8): Sistema OC-OTEC [6]

Ventajas e inconvenientes

- ✅ Fuente de energía constante.
- ✅ Permite hibridar con otras energías renovables.
- ❌ Posible liberación de CO_2 disuelto en aguas profundas.
- ❌ Alteración térmica y contaminación de ecosistemas.
- ❌ Impacto visual de centrales marinas.

ENERGÍA DE LAS CORRIENTES MARINAS

Consiste en convertir el movimiento del agua en electricidad mediante tecnologías submarinas.

Funcionamiento de centrales de corrientes marinas

La corriente provoca el movimiento de una hélice, que hace girar un generador conectado, generando la electricidad.



Fig (9): Turbina SeaGen [7]



Fig (10): Componentes turbina [7]

Aunque en el Estrecho de Gibraltar haya potencial suficiente, en España no es una fuente destacable.

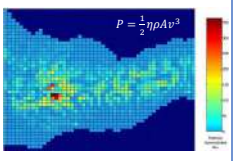


Fig (11): Evaluación de la potencia aprovechable en el Estrecho de Gibraltar [8].

Ventajas e inconvenientes

- ✅ Alta densidad energética del recurso.
- ✅ Tecnología menos invasiva que otras energías marinas.
- ❌ Mayores riesgos para la fauna: colisiones, ruido.
- ❌ Aplicabilidad geográfica limitada.

MAREOMOTRIZ

Aprovecha el movimiento del agua generado por las mareas. Mediante el uso de turbinas submarinas y embalses, convierte el flujo de las mareas en electricidad.

Fundamentos teóricos

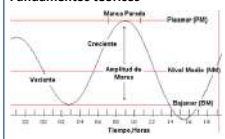


Fig (12): Componentes de las mareas [9]

La amplitud de las mareas (diferencia entre pleamar y bajamar) varía desde unos pocos centímetros hasta 21 metros. Estas variaciones son más evidentes en océanos abiertos, bahías y estrechos.

Centrales mareomotrices

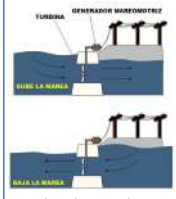


Fig (13): Funcionamiento central mareomotriz [9]

Mediante compuertas se consiguen ΔP, accionando turbinas. Existen cuatro métodos principales de operación:

- Ciclo de efecto simple (pleamar/bajamar)
- Ciclo de doble efecto
- Ciclos por acumulación por bombeo (vector energético)

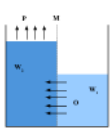
Ventajas e inconvenientes

- ✅ Energía limpia.
- ✅ Predictibilidad del recurso.
- ❌ Alteración sistemas costeros.
- ❌ Impacto visual.

GRADIENTE SALINO/ENERGÍA AZUL

Aprovechamiento energético de gradientes salinos naturales: Desembocaduras de ríos, estuarios, lagunas y lagos...

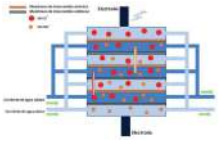
Osmosis Retardada por Presión (PRO)



Una membrana semipermeable separa dos módulos que contienen disoluciones con distinta salinidad. El agua fluye de la solución menos concentrada a la más concentrada, aumentando P. Se acopla a un sistema de turbinas que generan energía eléctrica.

Fig (14): Principio de la tecnología PRO [10]

Electrodiálisis Inversa (RED)



La diferencia de concentración iónica actúa como fuerza impulsora de los iones. La corriente iónica que atraviesa las membranas se convierte en corriente eléctrica en los electrodos.

Fig (15): Principio de la tecnología RED [10]

Ventajas e inconvenientes

- ✅ No requiere de grandes estructuras.
- ✅ Alto potencial de generación.
- ✅ Recurso constante.
- ❌ Eficiencia actual limitada.
- ❌ Mantenimiento de las membranas.
- ❌ Gran inversión en desarrollo.

CONCLUSIONES

Las energías marinas representan una alternativa prometedora para la transición hacia fuentes renovables. Su principal ventaja es el aprovechamiento de recursos **abundantes**, **constantes** y **predecibles**. Sin embargo, enfrentan desafíos como **altos costos de instalación**, **limitaciones tecnológicas** y **posibles impactos ambientales en ecosistemas marinos**.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

REFERENCIAS

[1] B. Guo and J. V. Ringwood, IET Renewable Power Generation, vol. 15, no. 12, pp. 3065–3090, 2021.
[2] H. Bouhrim et al., Journal of Marine Science and Engineering, vol. 12, no. 1922, 2024.
[3] García, Alex et al., Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. 61. 30-34, 2022.
[4] García-Santiago et al., Tecnología y ciencias del agua, 13(5), 287-325, 2022.
[5] Gómez, Alejandro et al., Termodinámica de Procesos y Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, 2020.
[6] Página web IIDEA: http://proyectos2.iingen.unam.mx/IIDEA/plantas.html
[7] Á.B.L., Proyecto Fin de Carrera, Univ. Sevilla, 2016.
[8] Juanes González, J.M., Doctoral dissertation, Navales, 2007.
[9] A. Espejo Sabariego, Trabajo Fin de Máster, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2021.
[10] EJ.M.C et al., CEMIE-Océano, "Colección Energías Renovables del Océano", Energía del Gradiente salino, 2020.

Motores de vehículos alternativos

ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

GRADO EN FÍSICA

Alfredo Caniego González, Juan de las Rivas Gámez, Sergio Martín Rives y Jesús Rodríguez Sánchez

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

En un mundo donde la concienciación ecológica redefine nuestro desarrollo, el sector del transporte trata de convertirse en un reflejo de nuestra responsabilidad con el planeta. Desde los primeros motores impulsados por combustibles fósiles hasta los innovadores sistemas de movilidad sostenible, estamos inmersos en un viaje fascinante que une tecnología, ecología y sociedad.

Transporte convencional (Gasolina y Diésel)

Joseph Etienne Lenoir, fabrica el primer motor de combustión interna en 1859. Nikolaus August Otto (1876), construyó el primer motor en cuatro tiempos y una variante a ese ciclo fue propuesta por Rudolf Diesel (1895). Este desarrollo tecnológico llega hasta nuestros días, con nombres claves en su comercialización como Henry Ford, Karl Benz o Ferdinand Porsche **[5]**.

Ciclo Otto (Gasolina): $2\ C_8H_{18} + 25\ O_2 \rightarrow 16\ CO_2 + 18\ H_2O$

Motores de encendido provocado (MEP). Una mezcla de combustible y aire homogénea se comprime en el motor. La batería genera electricidad, amplificada en la bobina de encendido y transmitida a la bujía, esta genera una chispa que prende la combustión. La potencia producida depende de la cantidad de reactivos, la compresión y la potencia de la chispa.

Ciclo Diesel (Gasoil): $2\ C_{16}H_{34} + 49\ O_2 \rightarrow 32\ CO_2 + 34\ H_2O$

Motores de encendido por compresión, se comprime aire en exceso, hasta una T ≈ 700-900 °C. Se inyecta el gasoil, se autoinflama e inicia la combustión. La potencia generada se puede modificar con gran precisión como en el ciclo anterior **[6]**.



Figura 1. Motor de gasolina **[1]**



Figura 2. Motor Diésel **[2]**

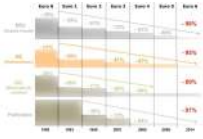


Figura 3. Reducción de emisiones de subproductos por regulaciones europeas **[3]**

Eficiencia energética y contaminación:

En motores de gasolina comerciales es del 25% - 35%. Ocurren pérdidas caloríficas en la combustión, en producir la chispa, en el proceso de refrigeración. Además de la energía perdida en expulsar los gases. En los motores Diésel, presentan una mayor eficiencia, del 30% - 45%. Estos operan a presiones más altas, mejorando la conversión de energía en trabajo útil y sufriendo menores pérdidas térmicas.

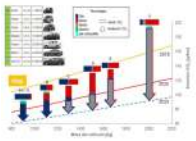


Figura 4. Objetivos de reducción de motores convencionales **[4]**

Los motores Diésel producen menor cantidad de CO_2 por litro, obteniendo mayor cantidad de energía al poseer una densidad energética mayor. En otros medidores, como las partículas en suspensión, NO_x y SO_x, la gasolina es menos contaminante. Además del calentamiento global, estos subproductos pueden degradar la calidad del aire y favorecen la lluvia ácida.

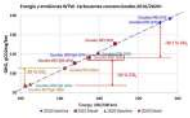


Figura 5. Evolución de rendiumiento y consumo del automovil **[4]**

Principales alternativas

Eléctrico, híbrido

Introducción

Tres principales tipos de vehículos, centrándonos en el aspecto eléctrico:

- **Híbridos convencionales**: Combinan un motor de combustión con uno o más motores eléctricos. Estos vehículos no pueden recargarse externamente, regeneran energía mediante el frenado y el excedente de energía creado por el motor térmico.
- **Híbridos enchufables:** Funcionan de manera similar a los híbridos convencionales. Sin embargo, cuentan con una batería de mayor capacidad que puede recargarse en la red eléctrica (externamente), permitiendo más kilómetros en modalidad 100% eléctrica.
- **Eléctricos**: Funcionan únicamente con motores eléctricos alimentados por baterías recargables.

Fundamento físico



Figura 6. Batería **[7]**



Figura 7. Inversor **[8]**



Figura 8. Motor eléctrico **[9]**

Transmisión de energía: En los vehículos eléctricos, la energía eléctrica se extrae de las baterías y pasa del inversor al motor eléctrico, que la transforma en energía mecánica generando movimiento. El inversor lo que hace es convertir la corriente continua (CC) de la batería en corriente alterna (CA) con la frecuencia y el voltaje adecuados para el motor eléctrico.

Frenado regenerativo: En este caso cuando se suelta el acelerador o se pisa el freno, el motor eléctrico actúa como un generador, invirtiendo el flujo de energía. El inversor cambia su función y el motor convierte la energía cinética del vehículo en electricidad, que se almacena de nuevo en la batería.

Eficiencia y contaminación

	Eficiencia energética (%)
Híbridos	25% - 39%
Híbridos enchufables	31% - 49%
Eléctricos	76%

Tabla 2. Comparación eficiencia energética **[10]**

	Emisiones de CO_2 (g/km)
Híbridos	145,7
Híbridos enchufables	89,4
Eléctricos	0

Tabla 3. Comparación emisiones directas CO_2 **[10]**

Viabilidad práctica y otros factores

Los híbridos enchufables requieren entre 1,45h y 3 horas en cargarse y tienen una autonomía de 30km-100km, mientras que los vehículos eléctricos tardan entre 7 y 10 horas en una carga completa y tienen una autonomía de 100km a más de 500km **[10]**.

A finales de 2024, España contaba con 38.725 puntos de carga operativos, un 32% más que en 2023 **[11]**, lo cual refleja el auge y la apuesta por la movilidad eléctrica.

Finalmente, los híbridos enchufables representan una opción más versátil para la mayoría de los usuarios. Su autonomía eléctrica permite cubrir trayectos diarios sin emisiones, y la presencia del motor de combustión elimina la preocupación por la infraestructura de carga en viajes largos.

Pilas de combustible

Introducción

Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico de conversión de energía que transforma directamente la energía química en electricidad mediante suministro de combustible, a diferencia de una batería. Existen cinco tipos principales diferenciados por su electrolito, pero el más común es la celda de hidrógeno tipo PEM (*Proton Exchange Membrane*) con *Nafion* como electrolito y Platino como catalizador en los electrodos.

Fundamento Físico

Está compuesta por dos electrodos (ánodo y cátodo) separados por un electrolito y su funcionamiento se basa en dos semirreacciones acopladas: una reacción de oxidación en el ánodo, que libera electrones; y una de reducción en el cátodo, que los consume.

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \quad \text{(ánodo)}$$

$$\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \quad \text{(cátodo)}$$

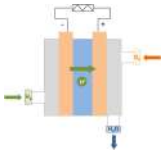


Figura 9. Esquema PEM **[12]**

Eficiencia y contaminación

Las pilas de combustible convierten energía con una eficiencia del 40 – 60 %, pero producir hidrógeno para alimentarlas (*Power to Gas*) solo tiene una eficiencia del 20 – 40 % **[12]**. Aunque su única emisión es vapor de agua, la producción de hidrógeno puede generar emisiones si no se obtiene de fuentes renovables. Según *IEA (2022)* **[13]** solo el 4% del hidrógeno producido a nivel mundial es mediante electrólisis del agua, siendo menos del 1% a partir de energías renovables (hidrógeno verde). El resto procede de combustibles fósiles (hidrógeno gris), siendo el Reformado del Gas Natural el más común (48%), que generan 9 - 10 kg de CO_2 por cada kg de H_2 (cada kg de gasolina emite 3 kg de CO_2). También existen otras alternativas: hidrógeno azul (Gas Natural con técnicas de captura de carbono), rosa (energía nuclear) o negro (carbón).

Viabilidad práctica y otros factores

Las pilas de combustible operan de manera silenciosa, requieren menos mantenimiento que los motores de combustión y tienen una rápida respuesta de carga. Sin embargo, la infraestructura, distribución y almacenamiento de hidrógeno es muy limitado en comparación con otras alternativas. Además, su vida útil actualmente es inferior a la de baterías avanzadas y el uso de platino encarece su fabricación y limita su sostenibilidad a largo plazo. En España se venden el Hyundai NEXO y el Toyota MIRAI (~170 CV y ~660 km de autonomía) aunque su adopción es limitada por la escasa red de hidrogeneras.

	Precio ($/kg)
H_2 verde	3-8
H_2 azul	0,5-1,7
H_2 gris	1-2

Tabla 4. Precio H_2 **[14]**

Alternativas futuras

Biocombustibles avanzados (residuos y aceites usados) o **combustibles sintéticos**, (generados a partir de captura de CO_2 y electrólisis del agua), son una solución para sectores difíciles de electrificar (aviación) y permite reducir emisiones con los motores actuales. Grandes compañías (Porsche, Repsol) están invirtiendo en esta tecnología.



Figura 10. Proyecto REPSOL Biocombustibles en Cartagena **[16]**

Gas Natural Licuado o Gas Licuado de Petróleo ofrecen menores emisiones que el diésel, pero carecemos de infraestructuras y una captura eficiente de metano. Innovaciones derivadas de la **Fórmula 1** podrían integrarse en vehículos comerciales para mejorar la eficiencia, como el MGU-H, que aprovecha el calor de los gases de escape para generar electricidad.



Figura 11. Lightyear 0 **[17]**

Energías renovables: vehículos solares (Lightyear 0), aerogeneradores en embarcaciones optimizan el consumo de combustible. **Energía nuclear:** misiones espaciales, propulsión marítima en aplicaciones militares (submarinos de EE.UU., Rusia o China) y de exploración. Hay proyectos para motores de fisión térmica o propulsión eléctrica basada en radioisótopos.

CONCLUSIONES: Los motores convencionales siguen siendo los más usados ya que la actual infraestructura ralentiza el progreso, pero el desarrollo de la autonomía de los motores eléctricos, la producción sostenible de hidrógeno y, en definitiva, una inversión tanto económica como cultural hacia un cambio en el sector del transporte es clave para garantizar su sostenibilidad a futuro y el correcto uso de nuestros recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

REFERENCIAS:

[1] https://www.ro-des.com/mecanica/motores-gasolina/ [2] Web goconqr.com [3] revistacesvimap.com/control-de-emisiones [4] Estudio de carburantes
[5] Gaviria-Ríos, J. E., Mora-Guzmán, J. H., & Agudelo, J. R. (2002). Historia de los motores de combustión interna. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (26), 68–78. https://doi.org/10.17533/udea.redin.326361
[6] González Calleja, D. (2022). *Motores* (3.ª ed.). Ediciones Paraninfo, S.A.
[7] «El Mundo,» 24 Abril 2020. [En línea]. Available: https://www.elmundo.es/motor/2020/04/24/5ea2d80e21efa073398b4570.html.
[8]«Hibridos y eléctricos,» 28 Marzo 2022. [En línea]. Available: https://www.hibridosyelectricos.com/coches/nuevos-inversores-800-voltios-mas-potencia-mas-autonomia-coches-electricos_55818_102.html.
[9]«Autodoc Club,» 31 Diciembre 2020. [En línea]. Available: https://club.autodoc.es/magazin/motor-electrico-coche-funcionamiento-tipos-y-partes.
[10] E. Gilabert Malonda, «TFM: Análisis comparativo de sistemas de tracción para,» Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona, 2024.
[11] «Auto Build,» 25 Enero 2025. [En línea]. Available: https://www.autobild.es/noticias/puntos-recarga-coche-electrico-espana-verdad-cuantos-hay-cuantos-funcionan-cuantos-llegan-2025-243692.
[12] Barbir, F. PEM Fuel Cells: Theory and Practice. Elsevier, 2013.
[13] International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2022.
[14] Centro Nacional del Hidrógeno (CNH2). Pilas de Combustible.
[15] Enel Green Power. El papel del hidrógeno verde en un futuro de cero emisiones.
[16] Repsol. *Combustibles renovables: solución inmediata para descarbonizar el transporte*. Repsol Cartagena. Available: https://cartagena.repsol.es/es/actualidad/combustibles-renovables/index.cshtml
[17] Licarco. Lightyear One: el coche solar que recorre hasta 725 km con una sola carga. Available: https://licarco.com/lightyear-one

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS

ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

GRADO EN FÍSICA

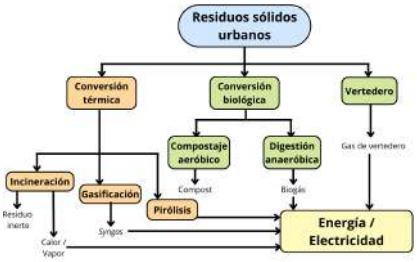
Alejandra Díaz Sánchez, Lucía Egurcegui Apiñaniz, Javier García Durán, Claudia Menéndez Pérez y Jaime Nogueira Fuentes

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Actualmente, tenemos una gran cantidad de residuos sólidos en el mundo. Se estima que, en 2020, se generaron $2{,}13 \cdot 10^9$ toneladas de MSW (*Municipal Solid Waste*); y que para 2050 se generarán $3{,}78 \cdot 10^9$ toneladas [1]. Como método para tratar con esta cantidad de residuos, proponemos el WtE. Un estudio de la IRENA (International Renewable Energy Agency) mostró que se podrían generar aproximadamente 13 GW solamente del sector WtE [1]. Precisamente por el potencial que presenta este método en algunos países se están empezando a modernizar las tecnologías WtE para que sea un método viable de tratamiento de residuos. Por ejemplo, en EEUU se generaron (en 2012) $14{,}5 \cdot 10^6$ MWh en 84 centros de WtE [1]. A pesar de lo prometedor que resulta este método, aún presenta limitaciones [2]:

- Todavía no es tan eficiente como para competir con los combustibles fósiles.
- No siempre es posible tener la fuente de residuos cerca de la planta de producción de energía.
- Elevado coste de recolección, transporte y procesamiento de MSW.



1. Tecnologías de conversion térmica de MSW

1.1. Incineración

Combustión controlada de residuos a altas temperaturas, adecuada para convertir MSW combustibles no biodegradables con bajo contenido en humedad en energía. [1]



Proceso de incineración:

1. Procesamiento de MSW
2. Combustión (secado, desvolatilización, combustión de volátiles)
3. Generación de energía (aprovechamiento gases calientes)
4. Control de emisiones

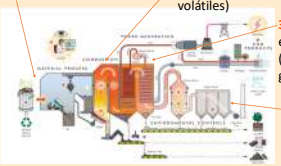


Fig. 1: Esquema del proceso de incineración [7]

Para contrarrestar la **contaminación del aire** debida a emisiones de SOx, NOx, COx, dioxinas y furanos, se han desarrollado significativamente las tecnologías de control de emisiones. [1]

↳ Se reduce el impacto ambiental.

1.2. Pirólisis

La pirólisis es una técnica especializada de conversión térmica en la que los MSW se descomponen a temperaturas entre los 300 y 1000ºC, en **ausencia de oxígeno**. En este proceso se generan productos como [3]

- gas de síntesis
- **aceite**
- **carbón**

Para obtener productos de buena calidad, la materia prima debe ser un tipo concreto de residuos como plásticos, neumáticos, **residuos electrónicos** y madera. [1]

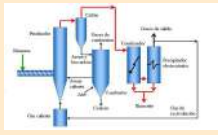


Fig. 2: Esquema del reactor de pirólisis [6]

Esta técnica ha cobrado mayor importancia en los últimos años en el **reciclaje de neumáticos** usados, para así recuperar aceite, negro de carbón y gas. Sin embargo, hay muy pocos estudios sobre la recuperación de energía a partir de los MSW mediante pirólisis a escala comercial. Cabe destacar que hay plantas operativas en Alemania, Japón, Reino Unido y Francia. [1]

1.3. Gasificación

Materia prima → Gas de síntesis (syngas)

- Calentada a temperaturas muy elevadas. [3]
- Entorno controlado y presencia de oxígeno. [3]

Principales componentes [3]: CO, H_2, CH_4, CO_2

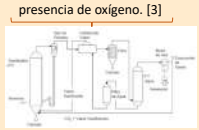


Fig. 3: Esquema de una planta de gasificación [5]

Usos del syngas [3]

- Generación de energía térmica y eléctrica.
- Producción de combustibles líquidos.
- Producción de químicos especializados.

Aún no es una tecnología madura, pero es muy versátil. Otro de sus aspectos prometedores es la producción de hidrógeno, combustible limpio con un elevado poder calorífico. [3]

Retos: filtrado del syngas [4]

- Heterogeneidad de partículas: reduce el rendimiento.
- Se requieren maquinas especializadas.

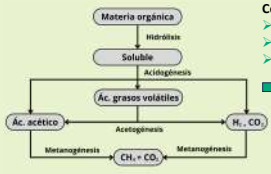
Ventajas ambientales [4]

La gasificación produce menos óxidos de nitrógeno y de azufre que la incineración.

2. Tecnologías de conversion biológica

La tecnología de conversión biológica se basa en la descomposición microbiana del contenido orgánico del MSW. Lo ideal es usar residuos con un alto contenido de materia biodegradable (i.e.: **residuos putrescibles**). Para generar energía a partir de estos residuos, la principal opción es la **digestión anaeróbica** o biometanización [1].

La digestión anaeróbica es un proceso de descomposición microbiana que se da en ausencia de oxígeno y que produce **biogás** . La calidad de este depende del proceso con el que se genere y de la composición del sustrato que usemos [1].



Composición del biogás [1]:

- 50-75% de CH_4
- 25-50% de CO_2
- Otros gases: vapor de agua, NH_3, H_2S, etc.

Este proceso sucede en el digestor

Rendimiento energético del biogás [1]:

- $1m^3$ genera 2.04 kWh de electricidad
- Eficiencia del 35%

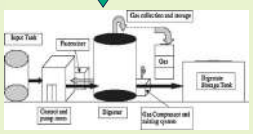


Fig. 4: Sistema de digestión anaeróbica [2]

Dos **tipos de digestión anaeróbica** [1]:

1. **Seca:** 24-40% de residuos secos
2. **Húmeda:** 10-15% de residuos húmedos.

Para la digestión húmeda hace falta un menor volumen de residuos que para la digestión seca.

3. Comparación de métodos WtE

Temperatura de operación (rango térmico de las reacciones de un proceso)

- Incineración: **alto consumo energético.**
- Pirólisis: Equilibrio entre **rapidez** y **calidad** del producto.
- Gasificación: Balance adecuado entre **rendimiento** y **costos.**
- Digestión anaeróbica: Muy **eficiente** energéticamente, aunque genera más **residuo**.

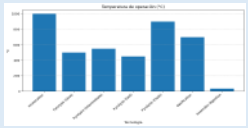


Fig. 5: Temperatura de operación de las tecnologías [1]

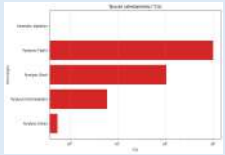


Fig. 6: Tasa de calentamiento de las tecnologías [1]

Tasa de calentamiento (velocidad a la que se incrementa la temperatura del sistema)

- Pirólisis flash: Favorece una rápida volatilización, aunque sacrifica selectividad.
- Pirólisis intermedia o rápida: Mejora la **selectividad**.
- Pirólisis lenta: Permite una **mayor precisión** en la conversión.
- Digestión anaeróbica: Al **no tener tasa de calentamiento**, reduce los requerimientos energéticos.

Tiempo de residencia (período durante el cual el material permanece en el sistema de procesamiento)

- Pirólisis : Es el proceso más **rápido**.
- Pirólisis lenta y gasificación: Favorecen un **buen rendimiento** sin comprometer la calidad.
- Digestión anaeróbica: Logra una **transformación completa** del MSW.

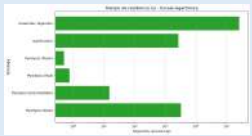


Fig. 7: Tiempo de residencia de las tecnologías [1]

CONCLUSIONES: Las tecnologías WtE son una solución viable para la gestión de MSW, pues permiten la generación de energía a partir de estos, reduciendo a su vez el impacto ambiental. No obstante, presenta ciertos desafíos como la eficiencia, los costos de algunas de las tecnologías y el impacto ambiental de ciertos procesos que aún tienen que ser optimizados. La combinación de diversos tipos de tecnologías WtE, como las expuestas en este póster, y la investigación para la mejora de estas tecnologías pueden hacer que suponga una alternativa clave dentro de un modelo energético sostenible.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

REFERENCIAS:

[1] Atul Kumar y S.R. Samadder. "A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste". En: Waste Management 69 (2017), pags. 407-422. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.046.
[2] Richa Kothari et al. "Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development". En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14.9 (2010), pags. 3164-3170. DOI: 10.1016/j.rser.2010.05.005.
[3] Varjani, S., Shahbeig, H., Popat, K., Patel, Z., Vyas, S., Shah, A.V., Barceló, D., Hao Ngo, H., Sonne, C., Shiung Lam, S., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Sustainable management of municipal solid waste through waste-to-energy technologies, Bioresource Technology (2022), DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127247
[4] Pérez, J., Borge, D., & Agudelo, J. (2010). Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico-experimentales. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 52, 95-107. Universidad de Antioquia. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43016342009
[5] AGROWASTE, «Gasificación», 2013. URL: http://www.agrowaste.eu/wpcontent/uploads/2013/02/GASIFICACIÓN.pdf
[6] Encinar, J. M. (2015). *Figura 48. Esquema del reactor de pirólisis rápida en lecho circulante* [Imagen]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-48-Esquema-del-reactor-de-pirolisis-rapida-en-lecho-circulante_fig8_281976634
[7] Hockenos, P. (2021, mayo 26). *Waste to energy – Controversial power generation by incineration*. Clean Energy Wire. https://www.cleanenergywire.org/factsheets/waste-energy-controversial-power-generation-incineration

LA SOSTENIBILIDAD DE LA IA EN EL PUNTO DE MIRA

ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

GRADO EN FÍSICA

Díaz Mata, Guillermo Nicolás; Gómez-Álvarez Lobón, Álvaro; González Cruz, Marcos; Linares Antolinos, Antonio; Sevillano Ruiz, Marta

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

La inteligencia artificial (IA) generativa se ha integrado de manera profunda y vertiginosa en nuestras vidas. Su fugaz EVOLUCIÓN EN LA ÚLTIMA DÉCADA ha permitido que alcance a prácticamente todas las personas. Apenas hemos tenido tiempo de asimilar que nos hallamos inmersos en una nueva revolución tecnológica, y mucho menos de ser plenamente conscientes de su alcance y de sus dimensiones. Se trata de una vorágine sin precedentes.

1943 — McCulloch y Pitts conciben el primer modelo de **neurona artificial**.

1950 — **Turing** diseña un **test** para probar si una máquina puede hacer creer que es humana.

1956 — McCarthy utiliza por primera vez el término de **inteligencia artificial**.

1961 — General Motors instala el primer **robot que sustituye a humanos** en tareas industriales.

1964 — Nace ELIZA, primer programa informático de **procesamiento de lenguaje natural**.

1966 — Se desarrolla Shakey, el primer **robot capaz de razonar** sobre sus propias acciones.

1997 — El superordenador **Deep Blue** de IBM **derrota a Kasparov** en una partida de ajedrez.

2011 — El sistema Watson de IBM gana el **primer premio** del concurso de televisión ***Jeopardy!***

2014 — El programa computacional Eugene **consigue pasar el test de Turing**.

2022 — OpenAI lanza al público **ChatGPT**.

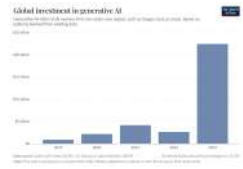


Figura 1: Evolución de la inversión global en IA generativa del último lustro. Quid via AI Index (2024); U.S. Bureau of Labor Statistics (2024) – *with major processing by Our World in Data.*

AHORA ESTAMOS AQUÍ

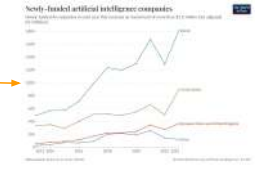


Figura 2: Empresas de inteligencia artificial fundadas en la última década. Quid via AI Index (2024) – *with minor processing by Our World in Data.*

Dada su condición de tecnología emergente, la IA generativa enfrenta no pocos desafíos y limitaciones. Uno de los principales es el elevado **CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS CHIPS** requeridos en las fases de entrenamiento y de ejecución (inferencia) de los modelos. El objetivo de este proyecto consiste, por tanto, en analizar el impacto energético de la IA generativa. Expondremos los principales **PROBLEMAS** a los que se enfrenta esta tecnología en la actualidad y plantearemos **SOLUCIONES** enfocadas en la eficiencia energética y en la disminución del consumo de recursos.

Consumo de un chip y centros de datos

El consumo de un chip está determinado por la energía que disipan los **transistores MOSFET** que lo componen. Esencialmente, todo el consumo de energía eléctrica de un chip se transforma en calor por efecto Joule ($Q = I^2 \cdot R \cdot t$). La potencia disipada en un chip está caracterizada por dos términos: $P_{Total} = P_{Dynamic} + P_{Static}$. El término $P_{Dynamic}$ hace referencia a la carga y la descarga capacitiva cuando un transistor permuta. Esta energía se pierde resistivamente, generando calor. El término P_{Static}, por su parte, hace referencia a la potencia que consume el chip constantemente debido a las corrientes de fuga en el propio transistor. En un chip, este consumo viene dado por el **TDP** (*Thermal Design Power*), que el fabricante especifica como la máxima cantidad de potencia calorífica que el chip puede disipar durante su funcionamiento, y que necesita ser extraída de su superficie para garantizar su estabilidad térmica.

Inferencia vs. Entrenamiento

- **Inferencia.** Centros de datos que conforman el grueso del consumo global de la IA, pero cuya infraestructura se puede distribuir de manera menos localizada.
- **Entrenamiento.** Centros de datos enormes con una demanda de energía muy concentrada, por lo que suelen construirse acompañados de plantas de energía. Este condicionante, unido al rápido crecimiento de la industria de la IA generativa, está provocando importantes problemas de sostenibilidad.



Figura 3: Centro de Google (azul) construyéndose junto a una central de carbón (rojo). https://www.google.es/maps/@41.176718,-95.8137387,3649m/

Sistemas de refrigeración

Los **sistemas de refrigeración** constituyen una parte crítica de la infraestructura de los centros de datos: son tan grandes que transportar el calor desde los chips hasta el exterior requiere de sistemas complejos con varios intercambiadores de calor.

La **eficiencia energética** y el **consumo de agua** se evalúan a partir de los siguientes parámetros, que deben reducirse lo máximo posible:

PUE (*Power Usage Effectiveness*)

$$\frac{\text{Consumo energía total}}{\text{Consumo energía electrónica}} > 1$$

WUE (*Water Usage Effectiveness*)

$$\frac{\text{Consumo agua (L)}}{\text{Consumo energía eléctrica (kWh)}}$$

Utilizar la evaporación del agua para extraer calor (Figura 4) resulta muy ventajoso energéticamente. El reto está en lograr centros de datos con un PUE y un WUE bajos **simultáneamente**. El diseño más eficiente es el *H* de Meta: PUE=1.08; WUE=0.2 L/kWh [1].

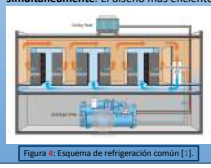


Figura 4: Esquema de refrigeración común [1].



Figura 5: Torres de enfriamiento abiertas [1].

Una estimación intuitiva

NVIDIA vendió, solo en un año, 3.6 millones de tarjetas gráficas únicamente de su última generación, *Blackwell* [2]. Teniendo en cuenta los componentes necesarios, cada una tendría un TDP de unos 1800 W/GPU. De esta manera:

$$3.6 \cdot 10^6\,(GPUs) \cdot 0.8\,(operativas) \cdot 1800\,\left(\frac{W}{GPU}\right) \cdot 1.2\,(PUE\ promedio) = 6.22\,GW$$

Estas GPUs, operando durante todo el año en servidores, consumirían una energía total de unos 54.5 TWh, **equiparable con el consumo anual de un país** como Rumanía [3].



Figura 6: Estimación del consumo anual de los centros de datos [1].

Problemas a los que se enfrenta la IA generativa

Responsabilidad de su uso

- Emplear la IA como **sustituto de los motores de búsqueda convencionales** implicaría un cierto peligro en la ciberseguridad [4].
- **Desafíos éticos**: Desinformación, contenido de baja calidad o erosión de la comunicación humana.

Es esencial **equilibrar innovación con responsabilidad ética**: el arte es esencialmente humano, no artificial [5].

Fiabilidad de su contenido

- Bondarenko et al. enfrentaron a ChatGPT-o1 y DeepSeek-R1 al motor de ajedrez más potente del mundo y demostraron que ambos modelos tendían a hacer **trampas** para lograr ganar sus partidas [6].
- ***Alucinaciones***: La IA generativa tiende a dar la razón al *prompt* inicial y, para ello, puede llegar a inventarse información y/o referencias. Hemos de ser críticos al emplearlas en nuestro día a día: no son 100% fiables.

Consumo de energía

La Agencia Internacional de Energía espera que el consumo de los centros de datos se duplique a **más de 1000 TWh en 2026**. Son cifras insostenibles.

Consumo de agua

Distinguimos dos tipos de **sistemas de refrigeración**:

- **Pasivos.** Presentan un TDP bajo (< 1000 W). Están basados en la convección. Ayudados por un disipador térmico metálico en los chips en contacto con el aire, son capaces de mover el calor generado con un consumo muy bajo de agua. El reto es hacerlo nulo.
- **Activos.** Presentan un TDP alto (> 1000 W). Están basados en la **refrigeración líquida**, lo que puede conllevar el consumo de grandes volúmenes de agua. Por ejemplo, si preguntamos al *chatbot Grok*, nos responderá que entre 0.01 y 0.05 L por cada respuesta en *X*. La **economización** de este recurso es fundamental: su acceso es un derecho humano.

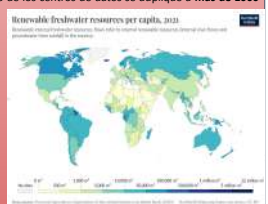


Figura 7: Mapamundi de recursos de agua dulce renovables (ríos y aguas subterráneas generadas por lluvias) per cápita por país, en metros cúbicos. Food and Agriculture Organization of the United Nations (via World Bank) (2025) – *processed by Our World in Data.*

Soluciones energéticas posibles

Disminuir el consumo de agua

Mediante la optimización de los sistemas de refrigeración, empresas como Microsoft prevén operar con centros de "consumo cero" en 2026: plantas que solo requieran un aporte inicial para funcionar [7]. Han logrado mejorar un 39 % su consumo de agua desde 2021 mediante diversas técnicas, entre las que destacan:

- **Enfriamiento adiabático asistido.** Combinación de los sistemas principales de refrigeración con aire exterior cargado de agua nebulizada.
- **Economizadores de aire.** Aprovechamiento del aire exterior con una filtración adecuada para reducir el uso de los sistemas de refrigeración mecánica.
- ***Dry coolers* con asistencia adiabática.** Uso de intercambiadores en seco que emplean aire exterior sin evaporar agua, pero que en condiciones extremas pueden rociarla para aumentar el enfriamiento.
- ***Waterside economizers.*** Enfrían el agua empleando sólo el aire exterior, sin necesidad de enfriadores mecánicos.

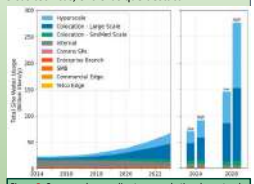


Figura 8: Consumo de agua directo por cada tipo de centro de datos [8].

Mejorar la eficiencia energética

- **Desconexión de la red eléctrica.** Debido a la gigantesca demanda energética de los centros de datos, la red eléctrica puede llegar a saturarse. En esta dirección, Google plantea instalar 7 reactores nucleares pequeños para satisfacer necesidades concretas [9]; sin embargo, ésta no es una estrategia renovable ni sostenible.
- **Ubicación óptima de servidores** en zonas donde la generación de energía sea mayoritariamente renovable. Más allá, proyectos como ASCEND, europeo, estudian la viabilidad de enviar los centros de datos al espacio.
- **Divulgación pública de datos.** La UE exige cada vez más transparencia del consumo energético empresarial.
- **Utilización de la propia IA.** Es el marco de investigación más potente en la actualidad. La IA puede realizar:
  - ❑ Elección óptima de la **ubicación idónea** de parques eólicos y solares.
  - ❑ **Análisis** de generación y consumo energético **en tiempo real** para conocer mejor el estado de la red.
  - ❑ Técnicas de **optimización, mantenimiento y predictibilidad** en las energías eólica y solar. Para ello, es fundamental el *machine learning* dominado por *software* libre (como *Pytorch* o *Tensorflow*).

CONCLUSIONES: El impacto energético de la IA generativa es un desafío creciente. La evolución de esta tecnología ha impulsado avances en múltiples sectores, pero su exigente demanda de agua y de energía plantea interrogantes sobre su viabilidad. La optimización de los sistemas de refrigeración, la migración hacia fuentes de energía renovables y el uso de la propia IA para mejorar el sistema energético son estrategias clave para mitigar sus efectos adversos. En última instancia, el futuro de la IA debe equilibrar su potencial transformador con una gestión responsable de los recursos, garantizando un desarrollo sostenible y accesible.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

REFERENCIAS:

[1] Patel, D.; Eliahou Ontiveros, J.; Nishball, D. (2025). *Datacenter Anatomy Part 2: Cooling systems & AI Datacenter Energy Dilemma: Race for AI Datacenter Space.* https://semianalysis.com/2025/02/13/datacenter-anatomy-part-2-cooling-systems/ & https://semianalysis.com/2024/03/13/ai-datacenter-energy-dilemma-race/

[2] Patel, D.; Chu, W.; Tseng, Chaolien; Xie, M.; Eliahou Ontiveros, J.; Nishball, D. (2024). GB200 Hardware Architecture-Component Supply Chain & BOM. https://semianalysis.com/2024/07/17/gb200-hardware-architecture-and-component/

[3] List of countries by electricity consumption. (2023). En Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_electricity_consumption

[4] Luo, Z. et al. (2025). The Rising Threat to Emerging AI-Powered Search Engines. arXiv preprint arXiv:2502.04951.

[5] Vyas, B. (2022). Ethical implications of generative AI in art and the media. International Journal For Multidisciplinary Research, 4(4), 1-11.

[6] Bondarenko, A. et al. (2025). Demonstrating specification gaming in reasoning models. arXiv preprint arXiv:2502.13295.

[7] Solomon, S. (2024). Sostenible por diseño: los centros de datos de próxima generación no consumen agua para la refrigeración. En Microsoft News Latinoamérica.

[8] Shehabi, A. et al. (2024). 2024 United States Data Center Energy Usage Report.

[9] Terrell, M. (2024). Google and Kairos Power announce a nuclear energy partnership agreement. En The Keyword (Google Blog).

Pósteres de la asignatura Cambio Climático

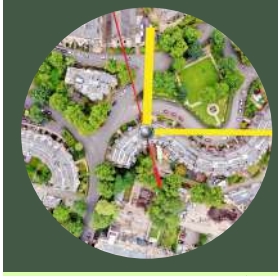
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

La electrificación del transporte urbano es una de las claves para un futuro más sostenible y eficiente en las ciudades.
La transición hacia vehículos eléctricos no solo reduce la huella de carbono, sino que también contribuye a la mejora de la calidad del aire y la reducción de la contaminación acústica, creando entornos urbanos más saludables.

MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE: MUCHO MÁS QUE CAMBIAR EL MOTOR



MOVILIDAD SOSTENIBLE PARA LAS CIUDADES DEL FUTURO



Ciudad de los 15 minutos

Se basa en la organización de ciudades de tal forma que se pueda llegar andando en un máximo de 15 minutos a los lugares más frecuentados por los habitantes. De esta forma, se reduciría el uso de vehículos para desplazamientos cortos y el sedentarismo. Los padres podrían recoger a sus hijos del colegio dando un paseo, podrían caminar por galerías comerciales o atender a su cita médica sin necesidad de movilizar ningún vehículo, evitando emisiones de GEI.
Otro beneficio sería mejorar la calidad del aire de las urbes urbanas y el posible proyecto de ampliar las zonas peatonales, disminuyendo el paso de coches, motos o camiones por los centros de las ciudades.

Centros sanitarios cercanos

Tiendas, supermercados y centros de ocio

Centros educativos y guarderías

Gimnasios y escuelas deportivas

Madrid hacia un transporte público sostenible

Objetivos clave:

- Cero emisiones directas: no emiten CO_2 ni contaminantes
- Menor contaminación acústica: más silenciosos que diésel
- Reducción de la dependencia de combustibles fósiles

Renovación del 62% de la flota (1.219 autobuses nuevos)

→ Emisiones reducidas al 60,3% (hasta 50 toneladas de CO_2 menos por autobús cada año)



- 100% de la flota será limpia en 2025
- Baterías recargables
- Motores eléctricos
- Mejora la calidad del aire
- Menor mantenimiento y costo operativo a largo plazo



Zona de bajas emisiones



Restricción de la circulación a vehículos sin etiqueta ambiental de la DGT en áreas urbanas con alta contaminación

La ZBE es un área en el centro de Madrid donde se limita el acceso a los vehículos más contaminantes, con el objetivo de mejorar la calidad del aire y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a la lucha contra el cambio climático

Impulsa una movilidad más limpia ya que fomenta el uso del transporte público, bicicletas y otros medios sostenibles.

Forma parte del Plan de Calidad del Aire y Cambio Climático de Madrid (Madrid 360)

Desplazamiento sostenible

En caso de que sea necesario el desplazamiento por medio de vehículos, se plantean medidas para implantar el uso de vehículos más sostenibles:

- Uso de transporte público siempre que sea posible.
- Electrificación del transporte público.
- Incentivar el uso de patinetes y bicicletas con la creación de aparcamientos destinados a este fin.
- Uso compartido de vehículos



Realizado por: Carlota Albarrán, Alejandro Blázquez, Andrew Colquhoun, Alexandra De Miguel y Adrián Gómez.
Estudiantes del grado de Ingeniería Química

USOS Y TRANSFORMACIÓN DEL CO_2

PAULINA ZAHONERO NAVARRO, GABRIELA CEDRARO VIEIRA, JONATHAN THERA, EDUARDO GONZÁLEZ-SÓTOCA FERNÁNDEZ Y STEFANO YACOUB LATTANZIO

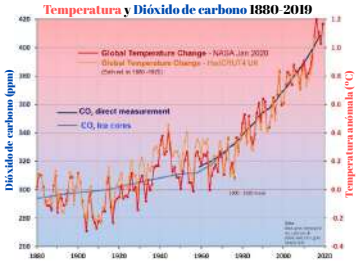
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

¿POR QUÉ SE NECESITA UN CAMBIO?

El CO_2, debido a ser uno de los subproductos de la industria con poca utilidad en comparación a su producción, provoca que sea uno de los principales gases causantes del efecto invernadero, es decir, un gas que almacena calor y altera el equilibrio climático, a causa de su exceso tiempo de degradación en la atmósfera.

¿Cuál es la alternativa?

Transformar el CO_2 en productos para evitar que llegue a la atmósfera y provoque efectos adversos duraderos.



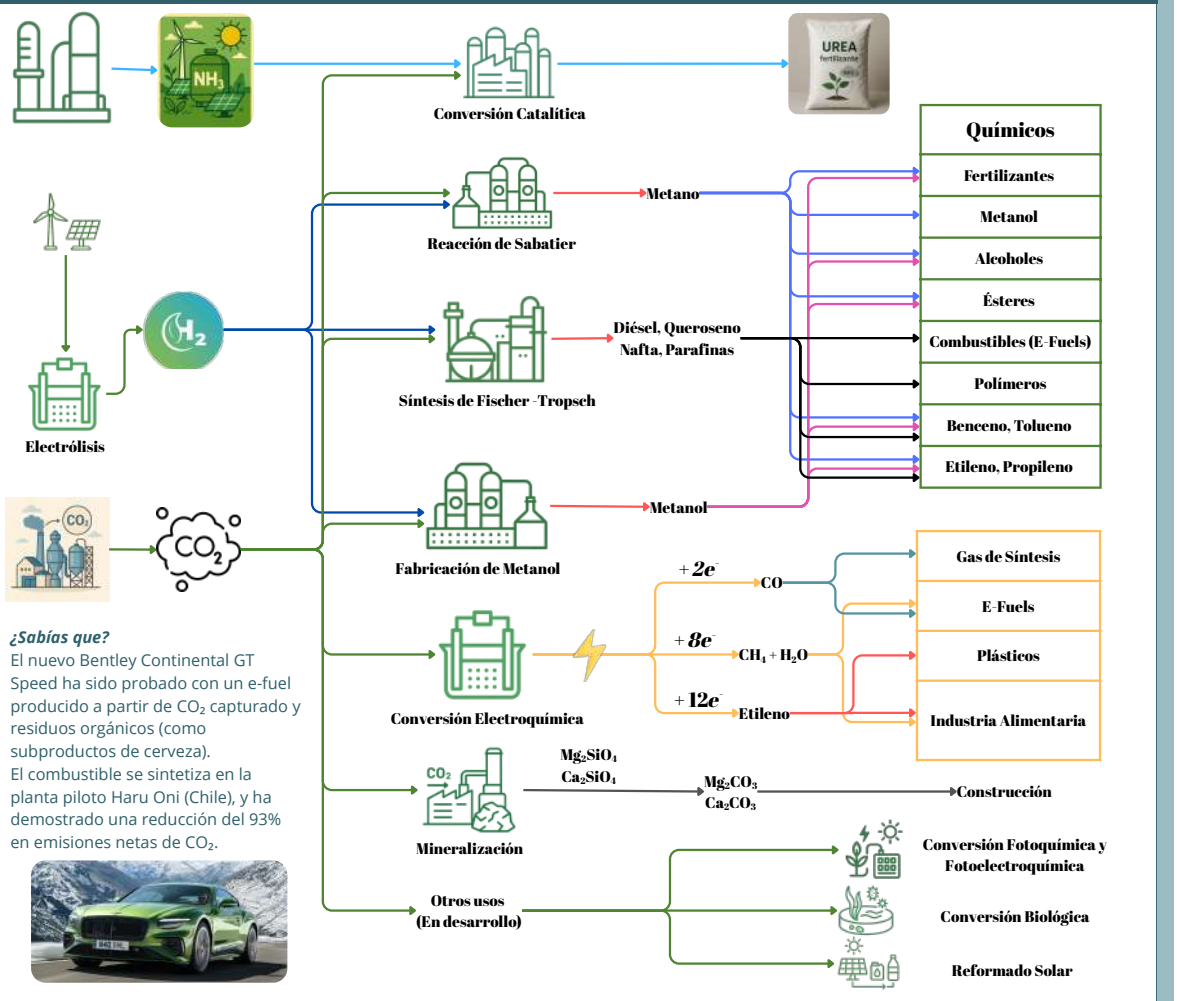








TRANSFORMACIONES DEL CO_2



¿Sabías que?

El nuevo Bentley Continental GT Speed ha sido probado con un e-fuel producido a partir de CO_2 capturado y residuos orgánicos (como subproductos de cerveza).

El combustible se sintetiza en la planta piloto Haru Oni (Chile), y ha demostrado una reducción del 93% en emisiones netas de CO_2.

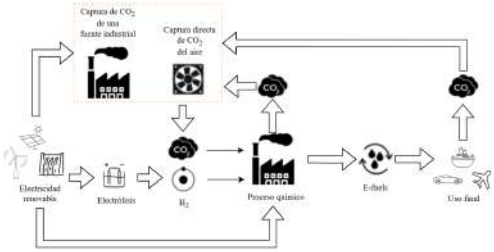
E-FUELS Y UREA

PAULINA ZAHONERO NAVARRO, GABRIELA CEDRARO VIEIRA, JONATHAN THERA, EDUARDO GONZÁLEZ-SÓTOCA FERNÁNDEZ Y STEFANO YACOUB LATTANZIO

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

¿QUÉ SON LOS E-FUELS?

Son combustibles producidos mediante procesos químicos a partir de hidrógeno verde y dióxido de carbono. Estos carburantes tienen emisiones netas cero, pueden ser líquidos o gaseosos y se pueden usar en motores de combustión convencionales, lo que permite aprovechar la infraestructura energética existente.



E-QUEROSENO

Se trata de un ***e-fuel*** útil en la ***descarbonización del sector de la aviación***. Se obtiene mediante la reacción de Fischer Tropsch:

$$nCO + (2n+1)H_2 \quad C_nH_{2n+1} + nH_2O$$

Mandato de la Comisión Europea: el 5 % del combustible de aviación sea SAF, con un subobjetivo del ***0,7 % para el e-queroseno, para 2030***. El objetivo propuesto para los SAF aumentaría al 63 %, con un mínimo del ***28 % de e-queroseno para 2050.*** Comisión Europea

Lufthansa Group ha realizado con éxito numerosos vuelos de prueba utilizando e-queroseno y ha anunciado su intención de usar este combustible de manera regular. Aerolíneas, como ***KLM*** y ***United Airlines***, están explorando el uso de e-queroseno. Lufthansa KLM UNITED AIRLINES

El e-queroseno (1,14-3,42 euros/L) es más caro que el queroseno convencional (0,65 euros/L). Sin embargo, se espera que, ***con avances tecnológicos y economías de escala, los costes de producción del e-queroseno disminuyan en el futuro***, haciéndolo más competitivo frente a los combustibles fósiles tradicionales.

TRL de (6-8)



Planta piloto de ***atmosfair gGmbH*** y camión cisterna, en Werlte, Alemania (inaugurada en 2021). La ***primera planta comercial a gran escala en el mundo en producir e-queroseno utilizando H_2 verde y CO_2 capturado del aire***.

nachdenken • klimabewusst reisen atmosfair

E-METANOL

¿Qué es?

Es un producto líquido obtenido a partir de hidrógeno verde y CO2 capturado mediante un proceso catalítico de un solo paso.

¿Cómo se obtiene?

1. Obtención de hidrógeno verde: Mediante electrólisis del agua.
2. Captura de CO_2: de emisiones industriales o extracción directa del aire.
3. Síntesis del metanol: Se forma a partir de esta reacción

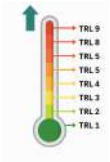
$$CO_2 + 3H_2O \quad CH_3OH + H_2O$$

Descarbonización del Transporte Marítimo

Maersk apuesta tener por una flota neutra en carbono para 2050 utilizando e-metanol. Además, desarrolla la infraestructura para su almacenamiento y distribución en puertos, impulsando su viabilidad en la industria. MAERSK

Desafíos

-Alto coste: Más caro que los combustibles fósiles.
-Disponibilidad: Falta producción.
-Eficiencia energética: pérdidas mayores que las alternativas.



Está en una fase avanzada de desarrollo (TRL 7-8) , pero su viabilidad económica sigue limitada por el alto coste de los electrolizadores y la captura de CO_2.

UREA VERDE

Es un compuesto químico orgánico que se utiliza en los fertilizantes para ayudar al desarrollo y crecimiento de las plantas al aportar un alto contenido de nitrógeno (46%).

Es el fertilizante más usado en el mundo ya que es seguro de almacenar y de transportar, además, la urea verde se libera lentamente, lo que permite reducir el número de aplicaciones, por lo que aumenta la producción y la calidad de los cultivos.

Desafíos

-Costes elevados en el precio final debido a las elevados inversiones de producción y en el transporte del producto.
-Al descomponerse en el suelo libera nitrógeno que genera emisiones de N_2O y NH_3, este último causa eutrofización contaminando las aguas.



Beneficios

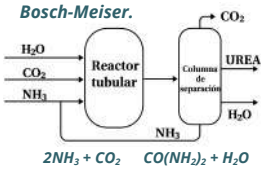
Ayudan a descarbonizar el sistema alimentario, reduciendo significativamente la huella de carbono en toda la cadena de valor alimentaria y sin necesidad de cambiar las prácticas agrícolas.

TRL de (6-8)

Empresas

KAPSOM YARA

Proceso de transformación Bosch-Meiser.



$2NH_3 + CO_2 \quad CO(NH_2)_2 + H_2O$

Otros usos de la urea:

Cosmética · Farmacéutica · AdBlue · Industria química · Industria textil

DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA QUÍMICA CON HIDRÓGENO VERDE

Renovables → Electrólisis → Transporte → Industria

¿Qué es el hidrógeno verde ?

El H_2 verde es se produce mediante una hidrólisis. El reactor tiene que ser alimentado por energías renovables para el que proceso global no emita CO_2

$$H_2O \xrightarrow{\text{Electricidad}} H_2 + O_2$$

Para 2023, la demanda de H_2 supuso 97 Mt, 2,5% más que en 2022, es un sector en constante crecimiento.

¿Cómo se puede transportar el hidrógeno?

Km de transporte por tubería en España[1]



Se puede transportar por hidroductos o por barcos, dependerá de la distancia y el volumen a transportar. Se puede reutilizar la infraestructura de gas natural.

1 Ministerio de Transporte, 2022

1 H 1.008 Hydrogen

Descarbonización de la industria del cemento

Situación y consumo

El cemento es, después del agua, el segundo producto más consumido en la tierra y debido al crecimiento demográfico, se esperan que el consumo de cemento aumente especialmente en China e India.

En España alcanzó la cifra de 3,58 Mt en el primer trimestre de 2025. Se estima que se requiere 4 GJ de energía por cada tonelada métrica (Mt) de cemento.

Producción y contaminación

Se produce CO_2 principalmente de la fase de la calcinación (inevitable) y las asociadas al combustible usado, lo que provoca del 5% al 7% de las emisiones globales de CO_2 además de ser el 65% de los gases de efecto invernadero. Se estima que los cementos europeos producen 1,54 t/año.

$$CaCO_3 \xrightarrow{\text{Calcinación}} CaO + CO_2$$

Otros contaminantes derivados de la industria se estimaron en 136 t de NOx, 4.83 t de SO_2 y 183 t de compuestos orgánicos volátiles (COVs) además de dioxinas, furanos y bifenilos policlorados. El tipo de combustible que se use para el horno de calcinación es clave para reducir el CO_2 emitido por la industria.

H_2 como combustible

El H_2 es considerado un combustible limpio (sin emisiones de COVs), su densidad energética gravimétrica y su buena inflamabilidad. Tiene especial interés en países donde no hay extracción doméstica de combustibles fósiles. La integración puede reducir 44 % de las emisiones de CO_2.



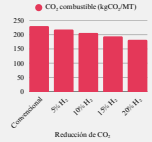
El O_2 que se forma puede ser aprovechado durante la oxicombustión integrada con captura y almacenamiento de carbono (CCS). Esto ayuda a una reducción de hasta el 90% de las emisiones.



Aumento del coste de operación



Aumento del coste de producción

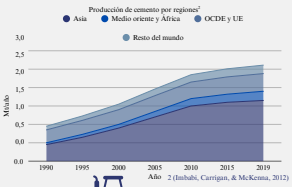


Reducción de CO_2

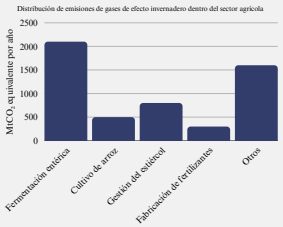
Reducción electroquímica de CO_2

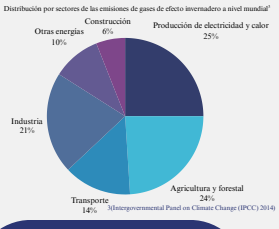
Se usa energía renovable para establecer un potencial entre dos electrodos lo que permite que el CO_2 se transforme en combustibles. Se utiliza un cátodo donde se produce la reducción del CO_2 y un ánodo que se produce la electrolisis del agua. Las reacciones son:

$2CO_2 + 2H^+ + 2e^-$	$H_2C_2O_4$
$CO_2 + 2H^+ + 2e^-$	$HCOOH$
$CO_2 + 2H^+ + 2e^-$	$CO + H_2O$
$CO_2 + 4H^+ + 4e^-$	$HCHO + H_2O$
$CO_2 + 6H^+ + 6e^-$	$CH_3OH + H_2O$



2 (Imbabi, Carrigan, & McKenna, 2012)





3(Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2014)



En el gráfico superior, se muestra cómo se reparten las emisiones totales de GEI en los diferentes sectores. Pese a no tener tan mala fama, el sector agrícola tiene unas emisiones de CO_2 muy superiores a otros sectores con peor reputación. En el sector agrícola, las emisiones aproximadas superan las 7200 Mt de CO_2 anuales, mientras que otros sectores como el de la aviación y el marítimo no alcanzan las 1000 Mt de manera conjunta

Descarbonización de la industria de los fertilizantes

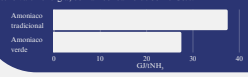
Situación y consumo

La industria de fertilizantes nitrogenados es responsable de aproximadamente el 1,5 % de las emisiones globales de CO_2, principalmente por la producción de amoníaco (NH_3) a partir de gas natural mediante el proceso Haber-Bosch. Este proceso requiere H_2, que se obtiene casi siempre por reformado de metano con vapor (SMR), generando 1,6 - 2,6 toneladas de CO_2 por tonelada de NH_3.

El nitrato amónico, la urea y otras formas de fertilizantes nitrogenados derivados del amoniaco representan la base de la fertilización moderna, pero su impacto es considerable. Se estima que producir 1 tonelada de urea convencional puede liberar hasta 4 toneladas de CO_2 equivalente, considerando la producción del amoniaco y las emisiones indirectas.

Producción y contaminación

El amoniaco es uno de los químicos más producidos del mundo, con más de 185 Mt en 2021, principalmente para uso agrícola. Europa produce unas 18 Mt al año, equivalente al 9% global. Su producción es muy intensiva en energía, con un consumo de 35-40 GJ/t.



Uso del H_2 verde

El H_2 verde permite sustituir al H_2 gris procedente del gas natural. Este cambio elimina las emisiones de CO_2 del proceso SMR, lo que puede reducir las emisiones de producción de NH_3 en más del 90%. Se estima que la integración en la industria permite:

- Reducción de 2,6 t de CO_2 por t de NH_3.
- Ahorro de emisiones en Europa de más de 46 $MtCO_2$/año si toda la producción se descarbonizara.
- Aprovechamiento de O_2 como subproducto en procesos industriales o tratamiento de aguas.

Co-Beneficios ambientales

El uso de hidrógeno verde, además de reducir CO_2, evita emisiones de metano, disminuye la dependencia del gas natural y limita la generación de NOx, COVs y partículas en la producción de amoniaco.

Descarbonización de la industria siderúrgica

Situación y consumo

La industria siderúrgica representa aproximadamente el **7-9% de las emisiones totales de CO_2**. La suma de la producción anual de hierro y acero es de 3,31 mil millones de toneladas. China concentra más del **50% de la producción global de acero**. Este crecimiento acelerado se ha mantenido con el uso masivo de carbón en los altos hornos, generando enormes volúmenes de emisiones de CO2. Por otro lado, el exceso de capacidad instalada del país ha impulsado el ***dumping***, exportando acero a precios de coste; desestabilizando las economías de este sector.

El ***dumping chino*** ha provocado debilitamiento de industrias siderúrgicas más limpias y más reguladas, especialmente en Europa y América. Como consecuencia se ha implantado un modelo de producción de acero incompatible medioambientalmente.

Producción y contaminación

El uso intensivo de carbón en los altos hornos, un consumo energético elevado y una demanda alta de hierro mineral y agua; convierte a este sector en un gran obstáculo para el objetivo de cero emisiones a 2050.

El **proceso tradicional (alto horno + convertidor al oxigeno) // (BF + BOF)**:

- Los **altos hornos** requieren de capacidades de producción muy elevadas para ser económicamente viables, usan coque como materia prima y combustible (culpable de las emisiones).
- El **convertidor al oxígeno** también tiene un impacto, genera emisiones de CO_2, polvo y partículas metálicas, gases tóxicos y escoria.

Uso del H_2 verde

Usando el H_2 para reducir el mineral de hierro de forma directa, se conseguiría descarbonizar este sector. El problema radica en el precio de la energía en Europa y la implementación masiva de este proceso dependerá del desarrollo de infraestructura para la producción y el almacenamiento de H_2 verde, así como del acceso a electricidad renovable a gran escala. Aunque existen desafíos técnicos y económicos, la transición hacia el proceso con cero emisiones con hidrógeno verde es fundamental para la descarbonización de la industria siderúrgica y el cumplimiento de los objetivos climáticos globales, convirtiéndolo en una solución clave para un futuro más sostenible

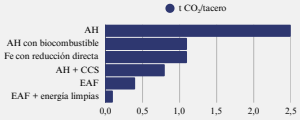
Cadena de valor

Para conseguir la transición hacia una industria siderúrgica con cero emisiones, depende de la participación activa de todas las partes involucradas. En ellas se encuentran: Institutos de investigación, reguladores, proveedores energéticos, empresas extractoras, inversores y gobierno, distribuidores y mercados.

Proceso cero emisiones (DRI + EAF)



El mineral de hierro se reduce directamente con H_2+CO en un reactor de reducción directa (DRI). Después se introduce el hierro sólido en un horno de arco eléctrico (horno EAF); el cual si usa energía procedente de fuentes renovables, se obtendría acero con prácticamente sin emisiones. Promoviendo la economía circular y disminuyendo la demanda de minerales de hierro. También se logra mayor eficiencia energética al evitar la combustión de carbón y aprovechar mejor el calor residual.



AH: alto horno; CCS: captura y almacenamiento de CO_2; EAF: horno de arco eléctrico.

Realizado por Diego Aceituno Villar, Jose Carlos Checa Martínez, Silvia Díaz Flores, Manuel Navarro Barreira, Rubén Rey Calvo y Alberto Velasco Benavent

ENERGÍA NUCLEAR
PUENTE HACIA UN FUTURO LIMPIO

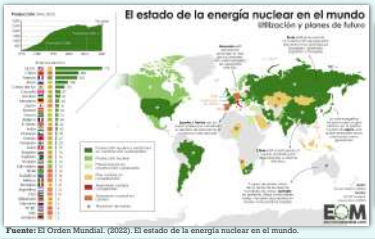
Choi, E., Fernández, C. & Zeng, R.

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

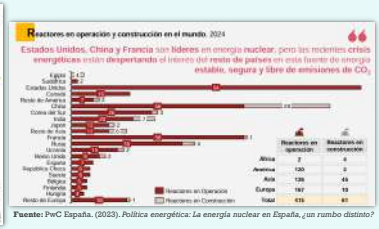
La energía nuclear es una energía limpia por fisión atómica sin emisiones directas de CO_2.

Hoy representa el 10 % de la electricidad mundial con más de 400 reactores activos.

Evita 2.000 millones de toneladas de CO_2 anuales en comparación con los combustibles fósiles.



Fuente: El Orden Mundial. (2022). El estado de la energía nuclear en el mundo.



Fuente: PwC España. (2023). *Política energética: La energía nuclear en España, ¿un rumbo distinto?*



URSULA VON DER LEYEN
"La energía nuclear es una parte esencial de nuestro mix energético limpio. Junto con renovables, nos ayudará a alcanzar la neutralidad climática" (2022)



SARA AAGESEN
"La energía nuclear, mientras permanezca operativa, contribuye a la estabilidad del sistema eléctrico. Nuestra prioridad son las renovables, pero gestionaremos el cierre de las centrales garantizando seguridad de suministro y transición justa" (2023)



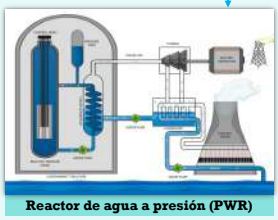
EMMANUEL MACRON
"Reactivaremos nuestra industria nuclear: es clave para nuestra independencia energética y la lucha climática" (2023)

EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DE LOS REACTORES NUCLEARES

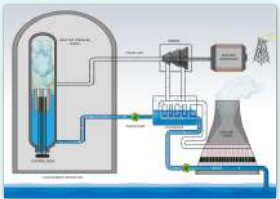
Generación I (1940s-1970s) → **Generación II (1970s-1990s)** → **Generación III/III+ (1990s-Actualidad)** → **Generación IV (2030s-)** - - - → **Reactor Modular Pequeño (SMR)**



Calder Hall



Reactor de agua a presión (PWR)

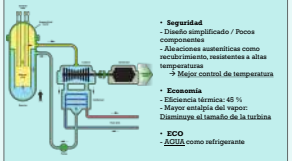


Reactor de agua en ebullición (BWR)



REACTORES TÉRMICOS

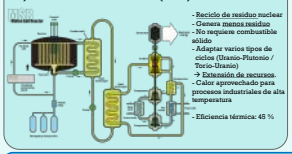
1) Reactor de agua supercrítica (SCWR)



2) Reactor de muy alta temperatura (VHTR)

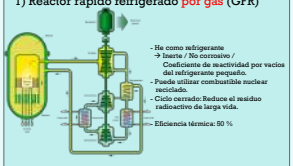


3) Reactor de sal fundida (MSR)



REACTORES RÁPIDOS

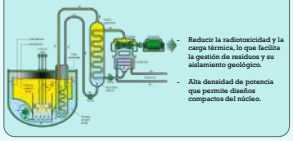
1) Reactor rápido refrigerado por gas (GFR)



2) Reactor rápido refrigerado por plomo (LFR)



3) Reactor rápido refrigerado por sodio (SFR)



Mayor Eficiencia
- Uso de uranio de forma más eficiente
- Sin necesidad de recargar combustible durante más tiempo

Mayor seguridad / Mejor control
- Sistemas pasivos de enfriamiento
- Menor riesgo en caso de fallos

Menos residuos generados | **Reutilización de residuos nucleares**



Convencional grande +700 MWe



Modular pequeño 10-300 MWe

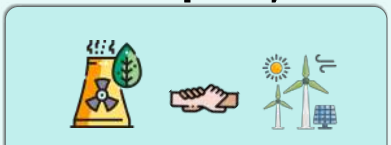


Reactor convencional grande
- Construcción en sitio: tarda 5-10 años
- Sistemas de refrigeración con PWR o BWR
- Dependencia de grandes infraestructuras eléctricas
- Altos costes iniciales
- Diseños grandes y centralizados

vs

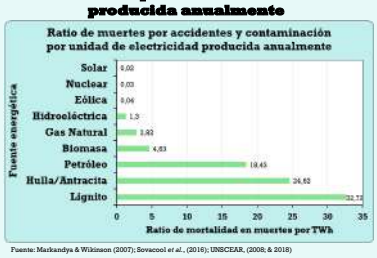
Reactor modular pequeño (SMR)
- Diseño compacto, fabricado en fábrica y ensamblado en el destino
- Construcción: 2-4 años
- Sistemas de seguridad pasivos → Reduce riesgos de accidente
- Flexibilidad en ubicación
- Uso en microrredes / cogeneración

Complementariedad con las energías renovables para cumplir con los objetivos establecidos para 2030 y 2050



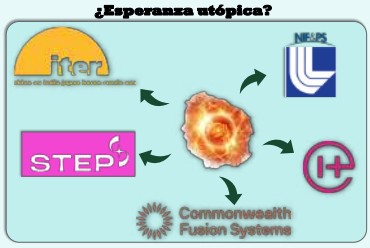
"No vamos a alcanzar las cero emisiones netas para 2050 sin la energía nuclear"
S.V. Arbogast

Ratio de muertes debido a accidentes y contaminación por unidad de electricidad producida anualmente



Fuente: Markandya & Wilkinson (2007); Sovacool *et al.*, (2016); UNSCEAR, (2008; & 2018)

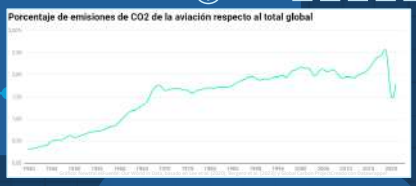
Fusión nuclear ¿Esperanza utópica?



DESCARBONIZACIÓN DEL TRANSPORTE AÉREO
A LARGO PLAZO

IMPACTO AMBIENTAL DEL QUEROSENO

Cada litro de queroseno produce 2,5 kg de $CO_{2\ eq.}$





2-3 % emisiones globales — CO_2
Ozono Troposférico — NO_x
Formación de nubes artificiales — PARTÍCULAS DE HOLLÍN
Potencial contribución al cambio climático — VAPOR DE AGUA

DISTRIBUCIÓN DE COSTES ANTE LA ELIMINACIÓN DEL QUEROSENO EN LA AVIACIÓN

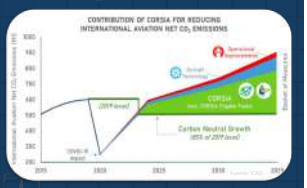
IMPACTO EN LAS INFRAESTRUCTURAS	ECONOMÍA	CONECTIVIDAD GLOBAL
30%	60%	10%

- **Transformación** significativa de los sistemas de abastecimiento de combustible, almacenamiento y distribución.
- **Impacto directo** en los costos de operación y , por ende, en el **precio de los billetes de avión**.
- **Efecto** en **la competitividad** de la industria aérea ante incertidumbre sobre la disponibilidad y el precio de combustibles alternativos.

POLÍTICAS Y REGULACIONES INTERNACIONALES

CORSIA
Busca compensar las emisiones de la aviación mediante la compra de créditos de carbono.

EU ETS
Imponer un límite a las emisiones de CO_2 en el sector aeronáutico dentro de Europa.



El objetivo es alcanzar para 2050 una reducción del 65 % en sus emisiones netas de dióxido de carbono (CO_2) respecto a niveles actuales.

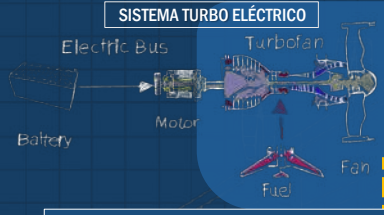
AVIACIÓN ELÉCTRICA

DESAFÍO PRINCIPAL
El combustible convencional de fuentes fósiles contiene 40 veces más de energía por unidad de peso que una batería, causando una limitada autonomía y capacidad de transporte.

SISTEMA ELÉCTRICO



SISTEMA TURBO ELÉCTRICO



	Queroseno (Jet A-1 a 15ºC)	Batería de Ion-Litio	H_2 gaseoso (700 bar, 0ºC)	H_2 líquido (-253 ºC)
Energía específica (W·h/kg)	12.386	100-265	33.333	33.333
Densidad energética (Wh/L)	9.909	250-670	1.400	2.367

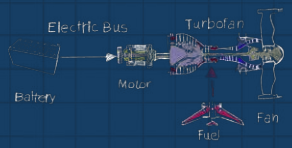
OTRAS INICIATIVAS ELÉCTRICAS
- *"More electric aircraft".*
- *E-taxi:* propulsión eléctrica en operaciones en tierra.
- Sistemas turbo eléctricos: mejor eficiencia y autonomía.

VIABILIDAD DE LAS PROPUESTAS DE DESCARBONIZACIÓN EN EL SECTOR AÉREO

OTRAS INICIATIVAS ELÉCTRICAS

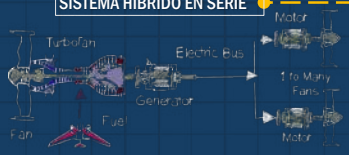
HÍBRIDOS

SISTEMA HÍBRIDO EN PARALELO



Sistema híbrido en paralelo
- Se mantiene intacta la capacidad propulsiva de los motores actuales, reduciéndose su tamaño.
- Reserva el uso de potencia eléctrica para condiciones de vuelo críticas.

SISTEMA HÍBRIDO EN SERIE



Sistema híbrido en serie
- Eliminación total de emisiones durante determinadas fases del vuelo.
- Dos fuentes energéticas aumentarían el coste, y añadiría complejidad al sistema.
- Mayor mantenimiento y aumento del peso.

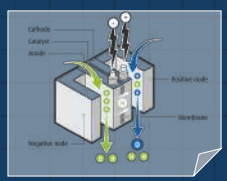
HIDRÓGENO VERDE

VENTAJAS PRINCIPALES
- Cada kg de H_2 tiene **2,7 veces más energía** que su equivalente de combustible convencional, Jet A-1.
- Dependiendo de la misión y configuración de la nave, el peso al despegue se encuentra entre un 4,4 % mayor y **un 14,8 % menor** que su equivalente convencional.

DESAFÍOS PRINCIPALES
- **Densidad energética** 4 veces inferior que la del queroseno.
- La **geometría de los depósitos** de almacenamiento es un desafío para la configuración y dimensiones de las aeronaves comerciales actuales.
- Gran inversión en **infraestructuras** y distribución para el **repostaje.**



INICIATIVAS A PARTIR DE HIDRÓGENO



PILAS DE COMBUSTIBLE
El almacenaje de energía en forma de hidrógeno elimina en gran medida las limitaciones de autonomía de las baterías.

COMBUSTIÓN DIRECTA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DANIEL DELGADO JARAMILLO, ÁLVARO DÍAZ-REGAÑÓN, ANA MARÍA PINILI EUMAGUE, YAIZA SAINZ BALADO

EL USO DEL SAF

ALTERNATIVA CORTO/MEDIO PLAZO



El sector de la aviación es responsable del 2,5 % de las emisiones globales de CO_2.
Se planifica un aumento del doble en la demanda para 2050.

SAF son las siglas de "Sustainable Aviation Fuel" (combustible de aviación sostenible):

- Biojet (biocombustible). Producido a partir de materias primas de origen renovable.
- E-jet (combustible sintético). Se obtiene a partir del hidrógeno verde producido por electrólisis y el CO_2 capturado.

Deben cumplir las especificaciones ASTM D7566 y ASTM D1655

"Drop-in": actualmente el SAF producido puede usarse mezclado hasta un 50 % con queroseno jet A1

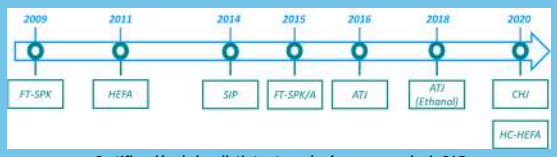
PROCESOS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE SAF

PROCESO	PORCENTAJE MÁXIMO DE MEZCLA (%V/V)	TRL	MATERIAS PRIMAS
FT & FT-SKA	50	7-8/6-8	Carbón, gas natural, CO_2 capturado, residuos sólidos urbanos o biomasa
SIP	10	7-8	Azúcares
HH-SPK o HC-HEFA	10	5	Aceites producidos a partir de algas (*Botryococcus braunii*)
HEFA	50	8-9	Aceite vegetal, residual, grasas animales, etc.
ATJ	50	7-8	Azúcares, almidón, etc.
CHJ	50	6	Ésteres de ácidos grasos y ácidos grasos libres
FOG	5	-	Grasas y aceites

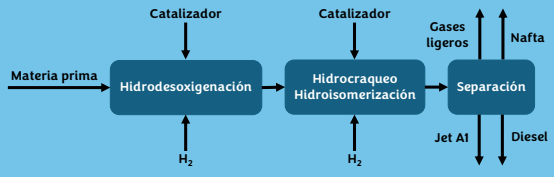
*FT: (Fischer Tropsch) SIP: (Synthesized iso-paraffins) HC-HEFA: (Hydrocarbon - hydroprocessed esters and fatty acids) HEFA: (Hydroprocessed esters and fatty acids) ATJ: (Alcohol-to-Jet) CHJ: (Catalytic hydrothermolysis jet fuel) FOG: (Fat, oil and greases co-processing)

PROCESO HEFA (HYDROTREATED ESTERS AND FATTY ACIDS):

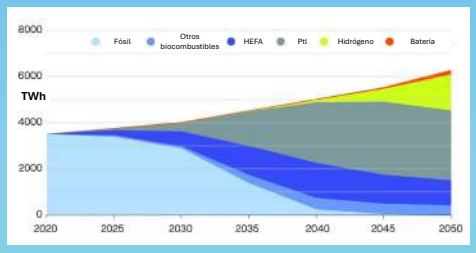
- Certificado en 2011, es el proceso más usado en la actualidad para la producción de SAF y el más viable en términos comerciales.
- Como materias primas principales destacan una gran variedad de aceites vegetales, residuales y grasas animales.
- El proceso comienza con la eliminación del oxígeno mediante hidrodesoxigenación, requiriendo de H_2 obtenido por reformado de gas natural o electrólisis. A continuación, las moléculas parafínicas se craquean e isomerizan hasta alcanzar la longitud de la cadena adecuada para combustible de aviación.



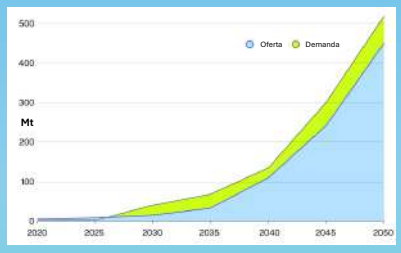
Certificación de las distintas tecnologías para producir SAF



ECONOMÍA Y COMERCIALIZACIÓN DE SAF



Energía del combustible para aviación (TWh) por tecnología según la Ruta de Ambición Climática de la IATA (2020-2050)



Demanda y suministro de SAF estimado hasta 2050 según Clean Skies for Tomorrow del World Economic Forum.

Dominan los combustibles fósiles hasta 2030, las tecnologías power-to-liquid se convierten en mayoría sobre 2040 y para 2050 destacan las tecnologías que todavía están en desarrollo (baterías eléctricas).

- En 2024, el precio del SAF se estima unas 1,5 a 6 veces el precio del queroseno, siendo el valor medio de unos 600 € por tonelada métrica.
- La aplicación del SAF en el sector de la aviación supondría un aumento a las compañías aéreas entre un 300-400 % más por litro de fuel, mientras que el precio de los billetes sufriría un aumento del 3-12 %.

RETOS DEL SAF

BIOJET

- Los biocombustibles de primera generación (1G), producidos a partir de cultivos alimentarios (caña de azúcar, maíz, etc.) interfiere en la producción de alimentos y provoca un aumento en el precio de los mismos.
- Los biocombustibles de segunda generación (2G) evitan la competencia con la industria alimentaria usando aceites vegetales no comestibles como el jatropha y residuos de distinta naturaleza.
- Tanto el uso de materias primas de primera generación, como el uso de cultivos energéticos, puede tener impactos ambientales notables debido a los cambios de uso del suelo.
- Los biocombustibles de tercera generación (3G) emplean los aceites de ciertas especies de algas, pero es un proceso complejo y caro respecto a las materias primas de primera y segunda generación.

EJET

- En la actualidad, la mayoría de H_2 es producido por reformado de gas natural y no por electrólisis con fuentes de energía renovables.
- La captura y usos del CO_2 está poco extendida y su implantación es foco de debate en la actualidad.

ÁLVARO DÍAZ-REGAÑÓN
ANA MARÍA PINILI EUMAGUE
DANIEL DELGADO JARAMILLO
YAIZA SAINZ BALADO



Pósteres de la asignatura Bases Físicas del Cambio Climático

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

BULOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

BASES FÍSICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

GRADO EN FÍSICA

A. M. Estévez O. B. Ruiz M. M. Fernández C. S. Egea J.E.Celaya D.P.Carrasco

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

¿QUÉ ES UN BULO?

De acuerdo con la RAE, un bulo es ***una noticia falsa propalada con algún fin***, pero en esta definición no vemos las graves consecuencias que tiene en la sociedad. Aunque existen diferentes **motivos** por los que se forma un bulo como vemos en el ejemplo de *la figura 1*, es conveniente destacar algunos de ellos como el interés **político e ideológico**, **la viralización** que supone un rédito económico o la simple **creación de caos y confusión. [1]**



Figura 1: Gráfico sobre los motivos de los bulos durante la COVID-19 **[2]**

¿POR QUÉ SON UN PROBLEMA?

Los bulos han existido desde siempre, pero gracias a las redes sociales, lugar donde todo el mundo puede opinar e informar, han aumentado su cantidad y su rango de alcance. **Gracias a los medios aparece la infoxicación** conocida como **el exceso de información** recibida. De este modo se producen más bulos a diario y frenarlos resulta casi imposible por la incapacidad de contrastarlos todos. A su vez, los **sesgos cognitivos** nos hacen creer aquello que refuerza nuestros pensamientos y experiencias. **[1]**

Esto agrava la problemática del cambio climático que estamos viviendo, ya que actualmente la colaboración ciudadana requiere **asumir costes a corto plazo cuando los beneficios se van a producir a largo plazo**, lo que supone un problema a la hora de hacer entender a la sociedad la gravedad del asunto. Veamos algunos **ejemplos de bulos sobre el cambio climático y cómo** podemos **contrarrestarlos** haciendo uso de la ciencia. **[1]**

DESMONTANDO BULOS

1. LOS CIENTÍFICOS NO SE PONEN DE ACUERDO.

A pesar de los mitos que circulan en el debate público, existe un acuerdo abrumador entre la comunidad científica: el cambio climático es real, causado principalmente por actividades humanas y representa una amenaza global urgente. Esta narrativa negacionista, promovida por grupos contrarios a la acción climática, busca desacreditar décadas de evidencia sólida.

Estudios clave confirman el consenso. Cook et al. (2013) [5] analizó 12,000 artículos climáticos y halló que el 97% de aquellos que asumían posición atribuían el calentamiento a la acción humana. Oreskes (2004) [6], al revisar 928 investigaciones, no encontró ninguna que rechazara el consenso. Organizaciones como la NASA, la OMM y el IPCC respaldan estas conclusiones, señalando con un 95% de certeza que las emisiones humanas son el principal motor del cambio climático desde mediados del siglo XX.

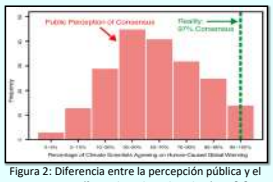


Figura 2: Diferencia entre la percepción pública y el consenso científico sobre el cambio climático **[5]**

2. EL CAMBIO CLIMÁTICO HA OCURRIDO OTRAS VECES, NO ES CULPA DEL HOMBRE.

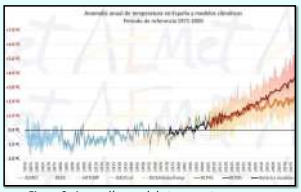


Figura 3: Anomalía anual de temperatura en España y modelos climáticos. AEMET. [13]

El clima de la Tierra ha cambiado en el pasado debido a factores naturales como erupciones volcánicas, cambios en la órbita terrestre y ciclos solares. Sin embargo, **el calentamiento actual es diferente** por su velocidad y por su causa principal: **la actividad humana.** En épocas pasadas, los cambios climáticos ocurrían en miles o millones de años. Desde la Revolución Industrial, las temperaturas han subido de forma **acelerada [13]** debido al aumento de gases de efecto invernadero por la quema de combustibles fósiles. En solo **100 años**, la temperatura global ha subido más que en miles de años en períodos anteriores. [3]

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha demostrado con modelos y datos que la principal causa del calentamiento actual es la actividad humana. Si bien hay variabilidad natural, **los registros geológicos y científicos muestran que la tasa de calentamiento actual es anómala y sin precedentes**. [4]
No podemos atribuir el cambio climático actual solo a factores naturales. La única explicación consistente con los datos científicos es **la influencia humana**. Aún estamos a tiempo de mitigar sus efectos con acciones concretas: reducción de emisiones, energías renovables y políticas climáticas responsables.

3. CHINA ES EL ÚNICO CULPABLE.

- China emite más de una cuarta parte (26%, según Naciones Unidas) de los GEI globales. Pero, juntas, las emisiones de países y regiones como EE UU (13%), la Unión Europea (8,5%), Rusia (4,8%) y Japón (2,7%; todos datos de la ONU), **superan al gigante país asiático**: un 29%. La reducción de la contaminación por parte de estas naciones tendría, por tanto, un impacto equivalente [6].
- China ha mostrado avances significativos en la adopción de energías renovables. En 2023, instaló más paneles solares que Estados Unidos en toda su historia, lo que demuestra un compromiso creciente con la **transición hacia fuentes de energía más limpias** [7]. En 2024, el 12% de la electricidad del país provino ya de la solar; el 11% lo generó la eólica y el 15% la hidroeléctrica. El 10% restante se lo repartieron la nuclear, el gas y la biomasa [8].

EEUU registra el doble de emisiones de CO2 per cápita que China *(Figura 4)*. Se calcula dividiendo las emisiones totales entre el número de ciudadanos. En 2020 los ciudadanos estadounidenses emitieron de media 14,23 toneladas de CO2, frente a las 7,41 que liberó cada habitante chino [5].

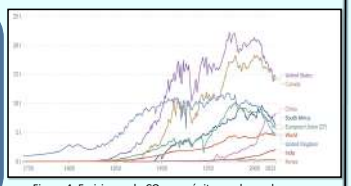


Figura 4: Emisiones de CO_2 per cápita en el mundo. Fuente: 'Our World in Data'."

4. LA HUELLA DE CARBONO INDIVIDUAL



Figura 5: Orígenes de las emisiones de la Unión Europea de 2017. Agencia Europea del Medio Ambiente

La huella de carbono no mide el impacto ambiental generado por una sola persona, sino que se crea con la intención de facilitar la comparación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, su uso suele **achacar un carácter individual a un problema colectivo,** responsabilizando al consumidor de las emisiones derivadas de la producción de bienes. Esto también explica por qué **históricamente se ha promovido el uso de este estándar, como absoluto y no comparativo, por energéticas y petroleras** que intentan eludir responsabilidad sobre sus emisiones.

La razón por la que la huella de carbono es una buena herramienta comparativa, pero no un indicador exacto es su forma de medición. Esta es aproximada, pues **equipara el efecto generado por otros GEI (CH_4,NO_x,...) al generado por una cantidad exacta de CO_2 (CO_2 equivalente)**. No obstante, **el CO_2 tarda menos en desaparecer que otros gases de efecto invernadero** (p.ej. el CO2 desaparece en 100-300 años, el CH4 tarda +20 años solo para descomponerse en CO2 y los fluorocarbonos pueden tardar hasta milenios en descomponerse y son más nocivos que el CO2), por lo cual, aunque se infle la cantidad de CO2 a la que equivalen otros GEI para corregir la aproximación, la huella de carbono no tiene en cuenta que estos gases **tardan más tiempo en ser eliminados de la atmósfera ni que sus efectos y reabsorción no son estrictamente equiparables a los del CO_2.**

Por último, añadir que la huella de carbono es **incapaz de medir todo el impacto** de la intervención humana **sobre el medio ambiente** (ecotoxicidad, extinciones, cambio climático...). Por tanto, no se debería promover su uso como un estándar de medida absoluto y menos aún individual, sino más bien emplearlo como una **forma de comparar más fácilmente las emisiones de gases de efecto invernadero** de distintas industrias, empresas o gobiernos.

¿QUÉ PODEMOS HACER COMO CIENTÍFICOS?

Como vemos en los bulos mencionados una de las principales causas de la aparición de bulos es que **el cambio climático se está volviendo un debate**, a veces ideológico, y está dejando de ser un hecho científico. Nuestro papel es hacer entender el **carácter cambiante de la ciencia**, no es una verdad absoluta ya que evoluciona con cada descubrimiento, no va por modas. A esto se suma que a **la gente** le es ajeno como se consigue realizar las gráficas y obtener los datos, por lo que **se piensa que es una opinión y no un dato científico**. Por lo tanto, nuestro trabajo es hacer divulgación a todo tipo de público aumentando su **espíritu crítico**, para que entiendan como funciona la ciencia y los procesos que sigue. Además, poner a disposición de la sociedad herramientas para contrastar bulos e información. **[1]**

Un ejemplo de esto son **la entidad certificada por la IFCN "Maldita" [1] y "Skeptical Science".** Esta última es una red de voluntarios que usan su web para contrarrestar los bulos del cambio climático, teniendo una sección de los más frecuentes. Compartiendo este tipo de iniciativas ayudamos a reducir el alto impacto que tienen los bulos en nuestra sociedad a la hora de tratar con gravedad la crisis climática.

CONCLUSIONES: El cambio climático es una realidad científica avalada por un consenso abrumador en la comunidad investigadora. Sin embargo, la desinformación —impulsada por intereses políticos, económicos y sesgos cognitivos— distorsiona este mensaje, promoviendo bulos como la negación del consenso científico, la atribución exclusiva a factores naturales o la culpabilización unilateral de países como China.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

REFERENCIAS:

[1] Universidad Complutense de Madrid. (n.d.). *Guía de actuación para contrastar la información científica.*
[2] González, M. A. (2021). *Desinformación y coronavirus: el origen de las fake news en tiempos de pandemia. Revista de Ciencias de la Comunicación e Información, 1-25.*
[3] 'Escepticismo al "Cambio Climático": El ejemplo de las temperaturas.'-Juan José Sanz Donaire
[4] 'CULCYT-Cultura Científica y Tecnológica'-Universidad Autónoma de Ciudad Juárez ISSN 2007-0411
[5] Cook, J., & collab. (s.f.). *Global Warming & Climate Change Myths*. Skeptical Science.
[6] Oreskes, N. (2004). The scientific consensus on climate change. *Science.*
[7] Universidad de Córdoba. *Imágenes contra bulos: China.* UCO
[8] BBVA. (s.f.). *La desinformación sobre el cambio climático: bulos, fake news y mitos a derribar*
[9] El País. (2025, 29 de enero). *Katharine Hayhoe, climatóloga: "Con el cambio climático el miedo no es suficiente".*
[10] El País. (2024, 3 de agosto). *El auge de las energías renovables encamina a China hacia el fin del crecimiento de sus emisiones de CO_2*
[11] Mashable. (2020, 13 de julio). *The Carbon Footprint Sham*
[12] Turner, J.M. (2014). *Counting Carbon: The Politics of Carbon Footprints and Climate Governance From The Individual to the Global*
[13]AEMET (2023) Anomalía annual de tmeperatura en España

BULOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO II

Alfredo Caniego, Alejandra Díaz, Lucía Egurcegui, Javier García,
Marcos López y Claudia Menéndez

El cambio climático es un hecho demostrado, sin embargo, existe mucha desinformación al respecto, lo cual genera dudas en la sociedad. En este trabajo, realizamos una encuesta para estudiar cuáles son las principales dudas presentes en diferentes grupos de edad. Asimismo, queremos explicar y desmentir algunos de los bulos más relevantes acerca del cambio climático.

¿Se debe el cambio climático al agujero en la capa de ozono?

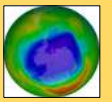


Figura 1: Niveles de ozono en la antártida.[4]

El cambio climático y el agujero en la capa de ozono son conceptos relacionados, fruto de acciones antropocéntricas, pero tienden a ser confundidos. El primero se debe al aumento de gases que son de **efecto invernadero**, como el CO_2, el metano y el óxido nitroso; y el segundo consiste en un adelgazamiento estacional de la capa de ozono en la Antártida, causado en gran medida por los **clorofluorocarbonos** (CFC).[4] En la Figura 1 se muestran los niveles de ozono estratosféricos, donde la región azul representa insuficiencia y la verde niveles normales.

Los CFCs son catalizadores de la reacción química que aniquila el ozono estratosférico, responsable de protegernos de radiaciones nocivas. A lo largo del invierno, se desarrolla un **vórtice polar** muy fuerte que aísla el aire frío y permite la formación de **nubes estratosféricas polares**. Durante esta estación, los CFCs se acumulan en las nubes, pero no actúan hasta que en primavera vuelve la luz solar. Es por ello que el agujero de ozono es mucho más visible en la **primavera antártica**.

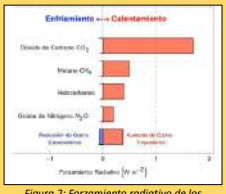


Figura 2: Forzamiento radiativo de los gases de efecto invernadero en la tierra. [7]

Es cierto que algunos CFCs son gases de efecto invernadero, y que un descenso de ozono estratosférico permite una mayor penetración de **radiación UV**.

Esto puede intensificar la evaporación de grandes masas de agua, provocando cambios en las precipitaciones y la circulación atmosférica y oceánica. [7] Sin embargo, estos efectos son prácticamente insignificantes de cara al calentamiento global. [7] (figura 2)

El **Protocolo de Montreal**[5] reguló la producción de estas sustancias destructoras del ozono, mostrando que es posible revertir el daño ambiental con acciones conjuntas. En conclusión, **el agujero de ozono no es el responsable del cambio climático**, pero es un recordatorio de que la cooperación internacional puede salvar el planeta.[6]

¿Son los chemtrails un "malvado" plan contra la salud?



Figura 5: ejemplo de chemtrail que genera una nave [2]

Estas nubes de hielo alargadas pueden surgir al paso de un avión, por condensación del vapor de agua en los motores y pueden contener CO2, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, monóxido de carbono, gases de azufre y partículas de hollín y metal. (Figura 6) Se forman cuando los gases de escape de una aeronave, ricos en vapor de agua y calientes, se mezclan con el aire frío de la atmósfera. Al enfriarse, el vapor alcanza la saturación y se condensa en pequeñas gotas que rápidamente se congelan, formando cristales de hielo (F). Si la humedad es alta, los cristales permanecen, manteniendo la estela visible. En cambio, si la humedad es baja, el hielo se sublima y la estela se disipa (D) [2].

Algunos estudios[1] demuestran la insignificancia de sus emisiones en la atmósfera global ya que se necesitarían 80 millones de aviones de Bario para elevar la concentración a niveles considerados como tóxicos en una superficie como España.[3] La colaboración de 76 científicos expertos en química atmosférica y geoquímica no encontraron ninguna evidencia de programa atmosférico secreto de gran escala. [1]

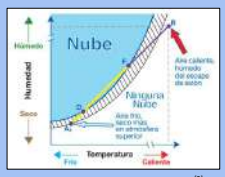


Figura 6: formación de un chemtrail [2]

En conclusión, las estelas químicas **SÍ que pueden tener un impacto** medioambiental. Sin embargo, es un fenómeno natural, cuya formación depende de las condiciones atmosféricas de la región por la que circule la aeronave. Respondiendo a la pregunta que formulamos en el título: NO. En ningún caso están estos fenómenos **asociados a ningún plan conspiranoico** contra la población, y así lo demuestra la evidencia científica que hemos expuesto en esta sección.

ENCUESTA A LA POBLACIÓN

¿Es el agujero de ozono lo que provoca el cambio climático?



El 66% dice que sí, de forma más común en edades entre 18-25 y 50-60, y mujeres. Sólo el 14.1% dice no estar de acuerdo.

¿Es el cambio climático un invento para aumentar los impuestos del gobierno?



El 75% está en desacuerdo,pero el 16.7% lo comparte sobretodo para más de 50 años.

¿Son las flatulencias de vacas responsables del cambio climático?



El 39.1% no está de acuerdo (domina el grupo mayor de 50 años). El 34% dice que sí, mayoritario en 18-25 años.

¿Nos fumigan los aviones con sustancias tóxicas?



El 64.1% no está de acuerdo, con los jóvenes de 18-25 y mujeres de 35-60 como mayores votantes. El 11.5% afirma que sí, presente en menos de 60 años.

¿Han aumentado la catástrofes naturales?



El 66% están de acuerdo, de forma uniforme, pero el 17.9% piensa que siempre han ocurrido, sobre todo en edades avanzadas.

¿Cómo de fiables son estas fuentes?

Medios de comunicación tradicionales	Medios de comunicación alternativos	Boca a boca
3.43/5	3.10/5	2.48/5

El primero es la tendencia para la población mayor de 35 años, el segundo es popular entre jóvenes y el último es rechazado de forma global

¿Tienes formación relacionada con el tema? SÍ 20.5% — NO 69.5%

¿Es real el cambio climático?



El 72% piensa que es un problema urgente. Tres personas piensan que no es real ni urgente: dos hombres de 35-60 y una mujer de 18-25 (solo el 1.9%).

Por tanto vemos que en ciertas cuestiones la desinformación sigue siendo un peligro para la sociedad, no obstante la mayoría de bulos analizados están **menos presentes con el paso de las generaciones**. Esto demuestra que la sociedad está cada vez más concienciada, lo que hace que un futuro sostenible sea cada vez más alcanzable.

"Las catástrofes naturales han ocurrido siempre y no tienen relación con el cambio climático"

El aumento en la concentración de gases de efecto invernadero provoca el calentamiento del aire, lo cual genera temperaturas más cálidas tanto en la atmósfera como en los océanos, con un aumento en la frecuencia e intensidad de los **extremos cálidos**, tales como **olas de calor**, y una disminución en la frecuencia e intensidad de los extremos fríos. El calentamiento global intensifica la demanda evaporativa, lo que hace que ocurran **sequías**. [10]



Figura 3: Circulación de un ciclón tropical [11]

Una atmósfera más cálida es más húmeda ya que puede contener más vapor de agua. Esta **contribución termodinámica** conduce a unas precipitaciones más extremas. Además, debido al aumento de humedad, los **ciclones tropicales** se vuelven más intensos ya que se libera calor latente adicional que fortalece las corrientes ascendentes convectivas (figura 3) . Sin embargo, la **contribución dinámica**, puede hacer que las regiones en los subtrópicos muestren grandes disminuciones de precipitación mientras que, en otras áreas como el Pacífico ecuatorial, la precipitación se vuelva notablemente más intensa. [10]

Es evidente que los efectos del cambio climático tienen un **impacto directo** en la frecuencia y la gravedad de catástrofes naturales como tornados, sequías, incendios, huracanes, tifones y las inundaciones que conllevan estos últimos.

En la figura 4, se observa un mapa con las variaciones en extremos fríos, cálidos y húmedos y su posible contribución humana. [10]



Figura 4: Resumen de los cambios observados en extremos meteorológicos. [10]

Cuanto mayor sea la **diferencia de temperatura** entre niveles medios-altos de la **atmósfera** y la **superficie del mar**, más se favorecerá un perfil muy inestable. Se aprecia en la gráfica que la temperatura superficial del Mediterráneo ha aumentado estos últimos años[8]:

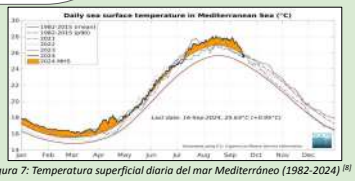


Figura 7: Temperatura superficial diaria del mar Mediterráneo (1982-2024) [8]

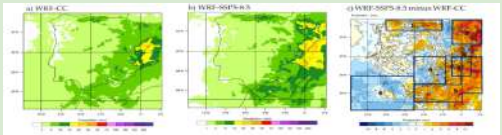


Figura 8: Cambios proyectados en la precipitación media diaria asociada a DANAs en otoño, comparando clima actual y futuro bajo el escenario SSP5-8.5. [9]

En escenarios futuros de cambio climático, se espera que las DANAs generen precipitaciones aún más intensas en el **este de España**, especialmente sobre el mar Mediterráneo, donde se ve afectada la región de interés. Modelos climáticos muestran un **aumento significativo** de lluvia en estas regiones durante el otoño, lo que refuerza la evidencia científica de que el cambio climático intensifica fenómenos extremos, desmontando la idea de que "El clima siempre ha sido así". [9]

La DANA de Valencia

Este es un reciente ejemplo que nos tocó muy de cerca el pasado octubre. DANA son las siglas para **Depresión Aislada en Niveles Altos**. Se trata de una masa aislada de aire que se desprende de una corriente fría, al moverse sobre las aguas cálidas del Mediterráneo provoca una situación de **inestabilidad** convectiva, dando lugar a **precipitaciones intensas**. [9]

CONCLUSIONES: El cambio climático es uno de los grandes problemas a nivel mundial actualmente. Frente a esta crisis, es muy necesario tener una conciencia climática para que se puedan tomar las políticas adecuadas. En este trabajo, hemos tratado de plasmar qué conciencia se tiene del cambio climático, y en concreto hemos desmentido tres bulos, relacionados con los *chemtrails*, con el agujero en la capa de ozono y con el aumento en la frecuencia de las catástrofes naturales. No obstante, hay muchos más bulos circulando por la red y hay que hacer lo posible por desmentirlos , para poder avanzar como sociedad hacia un futuro más sostenible.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/modificacion_artificial_tiempo/estelas_condensacion.pdf
[2] https://scool.larc.nasa.gov/pdf/Contrail_ID_Chart_Spanish_2014_4.pdf
[3] Sánchez y Bengtsson (2018), "Estelas en el cielo", Desde la Patagonia Difundiendo Saberes.
[4] https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/preguntas-frecuentes/el-agujero-de-ozono-esta-causando-el-cambio-climatico/
[5] https://www.un.org/es/climatechange/preserving-the-ozone-layer
[6] https://ozone.unep.org/system/files/documents/MOP-35-8S.pdf
[7] https://institutodelagua.es/cambio-climatico/cambio-climatico-y-capa-de-ozonocambio-climatico/
[8] https://www.eltiempo.es/noticias/temperatura-mar-mediterraneo
[9] Gimeno, L., Nieto, R., Drumond, A., Trigo, R. M., & Vicente-Serrano, S. M. (2021). Cut-Off Lows and Extreme Precipitation in Eastern Spain: Current and Future Climate. Atmosphere, 12(7), 835.
[10] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Weather and climate extreme events in a changing climate* (Chapter 11). In *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.
[11] Apuntes Fundamentos de Meteorología. Tema 4: ciclones tropicales, huracanes y tifones - Pablo Zurita Gotor UCM

Eventos climáticos extremos

Izhan Cañas Marrodán, Javier Bayona, Edgar Suárez, Andrea Dimitrova, Daniel Pozo Pucci, Jorge Huerta Toledo, Teresa Latas Prieto

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

¿Qué es un evento extremo?

Un **evento climático extremo** es un fenómeno meteorológico inusual y severo que ocurre en una determinada región y que puede tener impactos significativos en la vida humana, el medio ambiente y las infraestructuras. Estos han estado presentes a lo largo de toda la historia en forma de fuertes precipitaciones e inundaciones, temperaturas extremas, periodos de sequía o grandes tormentas entre otros.[1]

La definición admite cierta flexibilidad; algunos estudios solo consideran eventos extremos a aquellos sin precedentes, otros amplían la definición para incluir eventos que ocurren varias veces en un año, denominándolos eventos extremos moderados. Generalmente se utilizan umbrales relativos (p. ej., percentil 90) o absolutos (p. ej., 35 °C para un día caluroso) por encima de los cuales las condiciones se consideran extremas. [1]

¿Cómo influye el cambio climático en los eventos extremos?

El campo de atribución de eventos extremos estudia cómo afecta el cambio climático antropogénico a la intensidad, frecuencia e impacto de estos eventos, utilizando para ello diferentes herramientas como modelos climáticos globales (GCMs) y regionales (RCMs). En los estudios de atribución destacan dos enfoques principales:

- **Enfoque probabilístico** (*probability-based approach*): se estiman las distribuciones de probabilidad de los índices que caracterizan al evento tanto bajo condiciones climáticas actuales como utilizando parámetros correspondientes al clima preindustrial, se comparan y se determina porcentualmente cuánto más frecuente y/o intenso resulta ser como consecuencia del cambio climático. [7]

- **Enfoque por narrativa** (*storyline approach*): se selecciona un evento extremo concreto, se identifican los componentes físicos que lo caracterizan (como la temperatura superficial del mar, o la dinámica atmosférica) y se simula en el clima actual y en un mundo sin calentamiento global para evaluar la influencia del cambio climático en los procesos termodinámicos que lo propiciaron. [7]

De los 735 eventos climáticos extremos cuya atribución ha sido estudiada hasta el 18 de noviembre de 2024, el 83% han sido influenciados por el cambio climático, siendo un 74% más probables y/o severos y un 9% menos probables y/o severos. [8]

Algunos ejemplos



Figura 1. Ola de calor en la Antártida, Marzo 2022
La ola de calor en la Antártida en Marzo de 2022 fue 2 °C más cálida como consecuencia del cambio climático. [2]

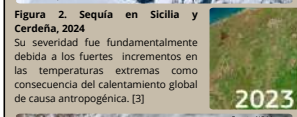


Figura 2. Sequía en Sicilia y Cerdeña, 2024
Su severidad fue fundamentalmente debida a los fuertes incrementos en las temperaturas extremas como consecuencia del calentamiento global de causa antropogénica. [3]



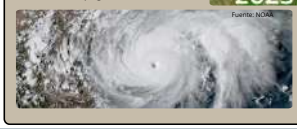


Figura 3. Huracán Harvey, Agosto 2017
Entre el 30% y el 50% de las inundaciones de propiedades a raiz el huracán Harvey no se habrían producido sin la influencia del cambio climático. [4]

Eventos de temperatura

Un evento extremo de temperatura es un suceso en el que los valores de la temperatura se desvían considerablemente de los valores esperados en una región y/o en una determinada época del año. Los eventos extremos de temperatura se dividen en [12]:

- **Olas de calor y olas de frío**: período prolongado en el que las temperaturas máximas o mínimas se posicionan considerablemente por encima o por debajo (respectivamente) de las esperadas en una región o época del año
- **Amplitudes térmicas extremas**: diferencias inusualmente grandes entre la temperatura máxima y mínima de un determinado período (diario o estacional).

Existen otros fenómenos térmicos que no se consideran eventos extremos por sí mismos, pero que pueden modificar, intensificar o mediar los efectos de una ola de calor o de frío. Entre ellos destacan:

- **Inversiones térmicas**: La temperatura en la atmósfera aumenta con la altura [13].
- **Efectos de sensación térmica**: temperatura percibida por el ser humano según los distintos parámetros meteorológicos [14].

La causa principal de los cambios en la temperatura tanto en extremos fríos como en calientes a escala global y en la mayoría de continentes es el aumento de los gases de efecto invernadero inducidos por la actividad humana, de acuerdo con los informes del IPCC.
Otros factores que afectan a la temperatura son los cambios en la concentración de aerosoles, la variabilidad natural decanal, el albedo (hielo y nieve) y factores antropogénicos como los usos del suelo. Por ejemplo, la presencia de asfalto en la zonas urbanas causa un aumento de la temperatura debido a la absorción de radiación, y el regadío en zonas de actividad agricultora puede disminuir en 1-2 °C los valores de los extremos cálidos en verano [12] (Sección 11.3.1).

En los últimos años las olas de calor se han visto aumentadas y las olas de frío se han visto disminuidas. La intensidad, frecuencia y magnitud de estos extremos son más pronunciados en las zonas continentales que en las oceánicas debido al mayor calentamiento de la superficie continental en comparación con las grandes masas de agua.

En la figura 4 [12] (sección 11.3.5) se muestran los resultados de los cambios proyectados en temperaturas máximas y mínimas anuales de las simulaciones del proyecto CMIP6 del IPCC bajo los escenarios de calentamiento global de 1.5, 2.0 y 4.0 °C. Incluso en el escenario de 1,5 °C de calentamiento global se prevé un gran calentamiento en los extremos de frío y calor.

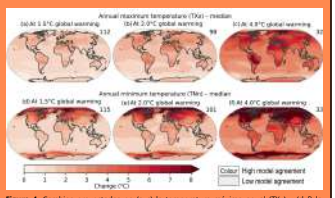


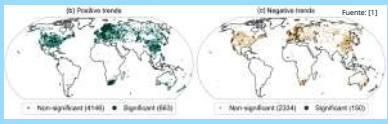
Figura 4. Cambios proyectados en (a–c) la temperatura máxima anual (TXx) y (d–f) la temperatura mínima anual (TNn) con un calentamiento global de 1,5 °C, 2 °C y 4 °C en comparación con la línea de base de 1850–1900. [1]

Eventos de precipitación

En vez de dar una definición rígida para los eventos extremos de precipitación, el IPCC establece ciertos índices para medir la cantidad de precipitación, y poder cuantificar esta clase de eventos: [1]

- **Rx1day**: cantidad de precipitación máxima en un periodo de 24 horas (1 día)
- **Rx5day**: cantidad de precipitación máxima en un periodo de 120 horas (5 días)
- **SDII**: Simple Daily Intensity Index, precipitación media de los días con más de 1mm de lluvia dentro de un periodo

El calentamiento global contribuye también a escala global, al aumentar la capacidad de retención de agua de la atmósfera acorde a la relación de Clausius-Clapeyron. Las grandes precipitaciones también han aumentado en frecuencia y magnitud en algunos lugares: el estudio AR6 del IPCC encontró que, a causa de los gases de efecto invernadero, los índices Rx1day y Rx5day han aumentado significativamente en ciertas regiones de Norteamérica y la zona de Eurasia. [1]
No obstante, en ocasiones es difícil hacer estudios de atribución del cambio climático sobre regiones específicas. Por ejemplo, las épocas de monzón presentes en ciertas regiones siempre causan lluvias torrenciales e inundaciones periódicas, por lo que es complicado estudiar el impacto del cambio climático en ellas. [1]
Las precipitaciones también se ven afectadas por eventos naturales, lo que complica el estudio del cambio climático sobre ellas a nivel regional. Por ejemplo, el SDII y Rx5day en las regiones de monzón de verano sufrió una caída sustancial entre 1957 y 2000 tras erupciones volcánicas explosivas. [1]
En conclusión, a escala global la predicción y atribución de eventos extremos tiene un peso estadístico significativo; a nivel más local (o regional) nuestra capacidad de estudio disminuye. [1]



La figura 5 indica el número de estudios por región que indican un aumento o decremento de la precipitación máxima diaria en un año. Vemos que la mayoría de ellos (especialmente los significativos) indican un aumento en las precipitaciones. [1]

Figura 5. Tendencias observadas en el indice Rx1dia durante 1950-2018

La figura 6 muestra el cambio de la precipitación anual máxima (denominada Rx1day) por región para un calentamiento global de 1.5, 2 y 4 °C. Esta proyección está basada en el CMIP6, que es el mejor modelo que tenemos hasta el momento sobre cambio climático. Vemos que en ciertas regiones hay un aumento significativo, mientras que en otras hay disminuciones. [1]

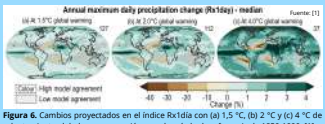


Figura 6. Cambios proyectados en el índice Rx1día con (a) 1,5 °C, (b) 2 °C y (c) 4 °C de calentamiento global en comparación con el período de referencia de 1850-1900. [1]

Eventos de sequía

Una **sequía** es un periodo de tiempo de extensión variable en el que las condiciones de humedad en una región son sustancialmente más bajas que su media característica. Este fenómeno afecta a áreas extensas (nivel regional o nacional), durante extensiones de tiempo variables. [1]

- **Factores termodinámicos:** ligados a concentraciones de gases de efecto invernadero a escala regional y global. Son responsables de variaciones en el intercambio de calor y humedad (lo que radica en variaciones de la temperatura del aire, la velocidad del viento y la humedad relativa).
- **Factores dinámicos:** condicionan la variabilidad temporal de la sequía. La extensión temporal puede dar *flash - droughts* (semanales) o *mega - droughts* (anuales o multidecadales).[1]

Dependiendo de las variables que las caracterizan y su impacto, las sequías se pueden clasificar en **meteorológicas** (déficit de precipitación), **agrícolas** [10] (concierne al imparto económico sobre la agricultura y la ganadería), **ecológicas** (o de gran escala, perturbando el funcionamiento del ecosistema) o **hidrológicas**. Los factores condicionantes pueden ser de índole variada: procesos sinópticos (p.ej. ciclones extratropicales), patrones de circulación a gran escala o patrones globales de interacción océano – atmósfera (AMO, ENSO). Sin embargo, esta distinción no es absoluta, ya que las sequías pueden afectar a diferentes sub-dominios y además de que pueden transicionar de un tipo de sequía a otro. [1]

Normalmente las sequías se analizan utilizando índices que miden su severidad, duración y frecuencia (Fig.7):

- **CDD** (Fig.7 (a)) - número de días consecutivos sin lluvia. Este índice es el más simple, pues su valor depende fuertemente de la zona y clima en el que se esté evaluando (a tener en cuenta las condiciones de precipitación medias en un
- **SPI-12** (Fig.7 (b)) - comparación a 12 meses de la precipitación respecto a los 12 meses anteriores. Se pueden observar tendencias a mayor precipitación, por ejemplo, en Escandinavia; mientras que ésta decrece en África Central.
- **SPEI-12** (Fig.7 (c)) - índice de sequía multiescalar basado en datos climáticos. Permite determinar el inicio, la duración y la magnitud de las condiciones de sequía con respecto a las condiciones normales en diversos sistemas naturales y gestionados. En colores marrones, se observa una tendencia generalizada a gran severidad de las sequías.[1]

Las proyecciones del futuro se dividen en subtipos (dependiendo del tipo de sequía) y están sujetas a la variación de la temperatura media global. Son consistentes con la duración de las sequías, pero no con los cambios en intensidad. Particularmente para el continente europeo, existe *medium confidence* en el aumento de la severidad de las sequías en Europa Central y el Mediterráneo.[1]

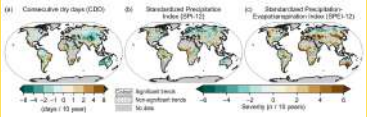


Figura 7. Tendencia lineal observada para (a) días secos consecutivos (CDD) durante 1960-2018, (b) índice de precipitación estandarizado (SPI) y (c) índice de precipitación-evapotranspiración estandarizado (SPEI) durante 1951-2016. [1]

Adaptación y mitigación

Los eventos climáticos extremos tienen un gran impacto sobre la vida de las personas, la economía y la biodiversidad. El aumento en su frecuencia y magnitud ha llevado a gobiernos de distintos países a tomar medidas de adaptación y/o mitigación.
Las medidas de **adaptación** se centran en reforzar aspectos vulnerables de una región para poder enfrentar de la mejor manera ciertos eventos extremos con el menor impacto posible sobre las poblaciones, como puede ser la mejora en la respuesta de los servicios de emergencia, la implementación de sistemas de aviso temprano o la mejora de infraestructuras en zonas urbanas.[9]
Por otro lado, las medidas de **mitigación** se dirigen a los factores que provocan estos cambios en los eventos extremos, como por ejemplo las emisiones de gases de efecto invernadero o el uso del suelo, enfocándose en la disminución de la frecuencia o magnitud de estos acontecimientos.]9]

Para llevar a cabo un estudio de las medidas de adaptación y mitigación que se pueden realizar en una población, primero hay que conocer los factores que aumentan el riesgo de la población de padecer las consecuencias de los eventos extremos.
Las definiciones de riesgo siguen un esquema lógico que señala una relación entre el evento extremo dañino y la víctimas afectadas por dicho evento (figura 8). Se crea una fórmula muy reconocida en la que se señala al evento agresor como la amenaza, a la susceptibilidad o tendencia de la población de sufrir el impacto, es decir la vulnerabilidad y a la exposición de la población ante este evento. [5]

RIESGO=PELIGROxVULNERABILIDADxEXPOSICIÓN



Figura. 8. Relación entre riesgo, peligro, exposición y vulnerabilidad. [11]



Figura. 9. ODS 13. [6]

Una de las acciones que se están llevando a cabo a nivel mundial es el **ODS 13** : Acción por el clima. Este busca mitigar el cambio climático reduciendo emisiones (energías renovables, transporte sostenible, reforestación) y adaptarse a sus efectos (infraestructuras resilientes, seguridad alimentaria, alerta temprana). Promueve cooperación global, financiamiento climático y educación ambiental para fortalecer la respuesta ante este desafío. [6]

Referencias

[1] Seneviratne et al. (2021), IPCC AR6 WG1 Ch. 11 [2] Blanchard-Wrigglesworth, E. et al. (2023), Geophys. Res. Lett. [3] Zachariah, M. et al. (2024), WWA [4] Smiley, K. T. et al (2022), Nat. Commun. [5] Ana Cecilia Reyes Rivero et al. (2017)J. Sci. Res. [6] ONU (2015), Obj. Desarr. Sosten. 13 [7] https://www.carbonbrief.org/qa-the-evolving-science-of-extreme-weather-attribution/ [8]https://interactive.carbonbrief.org/attribution-studies/index.html [9]https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/ [10]https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la sequia/observatorio_nacional_sequia_1_1_tipos_sequia.html [11] Ara Begum, R. et al. (2022), IPCC AR6 WGII Ch.1 [12] https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/ [13] https://aemetblog.es/2025/04/12/inversion-termica/ [14] https://meteo.navarra.es/win/sensaciontermica.cfm

Agradecimientos

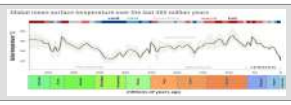
Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

GRANDES CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA HISTORIA DE LA TIERRA

Marta Díaz, Claudia Tejada, Ana Hernández, Iván Sánchez-Pascuala, Daniel Mohedas, Stephanie Ortiz, Neli Ilieva

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS- BASES FISICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



La atmósfera de la Tierra no ha sido siempre como la conocemos hoy en día. La Tierra ha sufrido cambios climáticos drásticos que han alterado su atmósfera, cambiando su composición química, afectando a la temperatura, la presión atmosférica y la dinámica de los gases esenciales.
Desde la **Gran Oxidación** que enriqueció la atmósfera con O_2, el **Periodo de Calentamiento Mesozoico** caracterizado por altas temperaturas y una intensa actividad volcánica, el **Impacto del Asteroide** que marcó el final del 75 % de las especies hasta la **Glaciación Cuaternaria** que ha marcado ciclos de enfriamiento y calentamiento en los últimos Ma.
Estos eventos no solo transformaron los ecosistemas y climas, sino que sentaron las bases de los patrones climáticos que conocemos hoy en día.

LA GRAN OXIDACIÓN

La Gran Oxidación, también conocida como el Gran Evento Oxidativo, fue un evento ocurrido hace aproximadamente 2.400 Ma. El proceso que desencadenó la Gran Oxidación fue la fotosíntesis realizada por las cianobacterias, capaces de convertir dióxido de carbono y agua en glucosa, liberando oxígeno como subproducto. Las primeras cianobacterias aparecieron hace unos 3.5 Ma. Este proceso de fotosíntesis oxigénica liberó oxígeno en la atmósfera, que inicialmente fue absorbido por los océanos. Sin embargo, con el tiempo, la cantidad de oxígeno liberado superó la capacidad de absorción de estos compuestos, lo que resultó en la acumulación de oxígeno libre en la atmósfera.
Antes de la Gran Oxidación, la mayor parte de la vida en la Tierra dependía de procesos anaeróbicos (sin oxígeno) para sobrevivir. [3] La Gran Oxidación transformó la composición química del planeta y la atmósfera, marcando la transición a una atmósfera rica en oxígeno. El oxígeno tuvo un impacto significativo en los gases de efecto invernadero, destacando la reacción del metano con el oxígeno para formar dióxido de carbono y agua: $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$. La disminución del metano provocó un enfriamiento global. Otro de los efectos de la acumulación de oxígeno fue la extinción masiva de muchos organismos anaeróbicos.

Este evento sentó las bases para la formación de la capa de ozono: A medida que el oxígeno libre se acumulaba, una parte de él se combinaba con el oxígeno molecular (O_2) para formar ozono (O_3). La capa de ozono actuó como un escudo protector contra la radiación ultravioleta (UV) dañina del sol. Esto permitió el desarrollo de formas de vida más complejas.

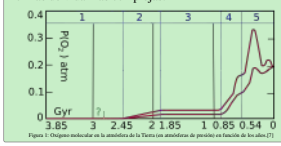


Figura 1: Oxígeno molecular en la atmósfera de la Tierra (en atmósferas de presión) en función de los años.[7]

La evidencia de la Gran Oxidación se encuentra principalmente en los depósitos de bandas de hierro (conocidas como BIFs). Estas bandas contienen óxidos de hierro, que se formaron cuando el oxígeno liberado por las cianobacterias reaccionó con el hierro disuelto en los océanos. Se encuentran en rocas de más de 2.5 mil millones de años [11].

LIMITE K-PG

El límite Cretácico-Paleogeno(K-Pg) es una marca geológica que representa la transición entre el periodo Cretácico y el periodo Paleógeno hace ≈ 66 Ma. Este evento está asociado con la extinción del 75 % de las especies, incluidos los dinosaurios no avianos.

La hipótesis más ampliamente aceptada propone el impacto de un asteroide que formó el cráter de Chicxulub en la península de Yucatán (México) [12], [6]. El impacto liberó una energía equivalente a miles de millones de bombas atómicas como la de Hiroshima, generando una onda de choque que viajó a velocidades supersónicas, arrasando con toda forma de vida a su paso.
Se generaron incendios forestales masivos, megatsunamis y una inyección masiva de polvo, aerosoles de sulfato y hollín en la atmósfera [12], [4], [14]. En los océanos, el impacto generó tsunamis gigantes que golpearon las costas de América, el Caribe y otras regiones del mundo, destruyendo ecosistemas marinos y terrestres.
Las partículas y polvo que llenaron la atmósfera taparon la luz solar, provocando un invierno de impacto y deteniendo casi por completo la fotosíntesis, afectando a plantas y fitoplacton, dañando la base de la cadena alimenticia, lo cual provocó un colapso ecológico [14].
Debido al impacto, grandes cantidades de roca rica en azufre fueron eyectados hacia la atmósfera, formando ácido sulfúrico (H_2SO_4) en forma de aerosoles, estas partículas se disolvieron en la lluvia acidificando los océanos, lo que tuvo consecuencias devastadoras sobre la vida en los océanos.

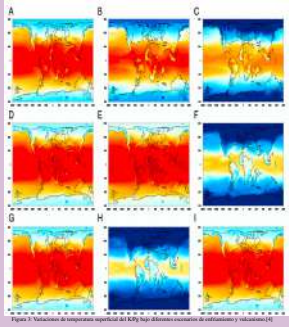
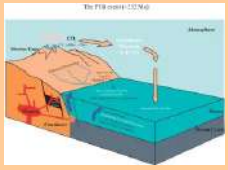


Figura 2: Variación de temperatura superficial del KPg bajo diferentes escenarios de enfriamiento y vulcanismo.[4]

Sin embargo, algunos investigadores han propuesto una causa alternativa o complementaria: el vulcanismo masivo de las Traps del Decán (India). Estas erupciones liberaron grandes cantidades de gases de efecto invernadero, CO_2 y SO_2, lo cual pudo causar la acidificación de los océanos. [8].
Para comprobar cuantitativamente estos escenarios, un estudio realizado en 2020 [4] ha utilizado modelos climáticos globales (GCMs) que simulan los efectos tanto del impacto como del vulcanismo sobre la temperatura de la superficie terrestre, Figura 3. La imagen muestra mapas de calor con fluctuaciones de temperatura global respecto a un escenario de control previo al límite K-Pg (Maastrichtiano tardío) (A).
Los paneles (B) y (C) muestran la simulación de atenuación solar que produce el efecto de un impacto leve o el efecto de un vulcanismo extremo, reduciendo la temperatura en un 5 % y el efecto de un impacto más agresivo, con una atenuación del 10 %, respectivamente.
Los paneles (D) y (E) muestran el calentamiento global debido al vulcanismo. Los paneles (F) y (G) incluyen tanto el vulcanismo del Decán como el impacto de Chicxulub, mientras que los paneles (H) e (I) muestras escenarios con vulcanismo inactivo.
Escenarios que combinan ambos factores confirman que el enfriamiento después del impacto es el evento más extremo, apoyando la teoría de que fue el impacto el desencadenante de la extinción masiva.

PERIODO DE CALENTAMIENTO MESOZOICO

La Era Mesozoica, que abarca desde hace aproximadamente 252 hasta 66 millones de años, se caracteriza por un clima predominantemente cálido y la ausencia de glaciaciones. Este periodo se divide en tres etapas: Triásico, Jurásico y Cretácico. Durante el Mesozoico, la fragmentación del supercontinente Pangea generó alta actividad volcánica que liberó grandes cantidades de dióxido de carbono, aumentando el efecto invernadero y manteniendo temperaturas elevadas [2]. El Jurásico y el Cretácico fueron especialmente cálidos, con temperaturas medias globales de hasta 10-15°C por encima de los niveles actuales. Las evidencias del Calentamiento mesozoico fueron:
Altas Concentraciones de CO_2 en Rocas Sedimentarias:
Se han encontrado altos niveles de carbono orgánico en rocas calcáreas y evaporitas, lo que indica un clima cálido y árido en algunas regiones. Ejemplo: Depósitos de evaporitas en el Cretácico en Norteamérica y el Mar del Norte. En el Cretácico, los océanos desempeñaron un papel clave en la distribución del calor, con aguas superficiales que alcanzaban temperaturas de hasta 35°C. La falta de capas de hielo en los polos permitió un clima cálido incluso en altas latitudes, favoreciendo la expansión de ecosistemas tropicales y la diversificación de los dinosaurios [16].


Figura 2: Mecanismos de conducción e impactos ambientales durante el calentamiento Mesozoico.[9]

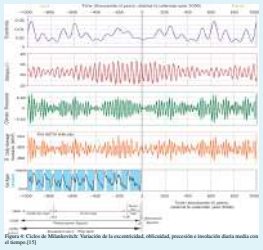
Paleosuelos y Fósiles de Plantas: Se han hallado fósiles de plantas tropicales en latitudes altas, lo que indica un clima más cálido. Los paleosuelos muestran evidencia de intensa meteorización química, típica de climas cálidos y húmedos.
Efecto del metano producido por los saurópodos en el clima mesozoico: Una hipótesis interesante sugiere que los dinosaurios saurópodos, al fermentar la materia vegetal en sus sistemas digestivos, emitieron grandes cantidades de metano, un gas de efecto invernadero 25 veces más potente que el CO_2, contribuyendo al calentamiento global del Mesozoico. Aunque este factor no fue el único responsable, se cree que complementó el efecto del CO_2 volcánico.
Ausencia de Glaciares y Depósitos de Carbón en Latitudes Altas: No se han encontrado evidencias de glaciaciones durante la mayor parte del Mesozoico. En su lugar, hay grandes depósitos de carbón, que indican bosques extensos en zonas ahora frías. Ejemplo: Depósitos de carbón en Groenlandia y Alaska.

EDADES DE HIELO

Edades de Hielo
- Tierra Bola de Nieve (720-635 Ma)
- E.H. del Ordovícico y Silúrico (460-430 Ma)
- E.H. del Pensilvánico y el Pérmico (350-250 Ma)
- E.H. del Cuaternario (2,5 Ma-actual)

Causas de una Edad de Hielo (periodo largo)[10]. Diversas causas posibles (mucha controversia al respecto):
•**Tectónica de Placas.** Movimientos continentales (elevación del Himalaya, cierre del istmo de Panamá) pueden modificar la circulación oceánica y atmosférica; presencia de continentes (favorece la formación de hielo); etc
•**Reducción del CO_2 atmosférico.** (gas de efecto invernadero) •**Emisión de aerosoles.** (vulcanismo, meteoritos)
•**Cambios Orbitales.** Modifican la radiación solar incidente. Asociados a los ciclos interglaciares.

Causas de las Glaciaciones(periodos cortos) Figura 4, [10], [1].
La teoría con más fuerza: el modelo de Milankovitch: se basa en la variación de la órbita de la Tierra, que provoca a su vez una variación en la cantidad y la distribución de la radiación solar que llega a la superficie terrestre.
•**Excentricidad:** La órbita de la Tierra es una elipse cuya excentricidad varía y provoca una diferencia máxima del 1 al 2 % de irradiancia entre el perihelio y el afelio, lo que genera un contraste estacional entre los hemisferio norte y sur. Periocidad ≈ 100.000 años. Figura 4 [4.1.]
•**Oblicuidad:** El eje de rotación terrestre está inclinado con respecto de la órbita, esta inclinación varía de tal manera que cuanto más grande es la inclinación más severas seran las estaciones. Influye mucho en la distribución estacional de radiación en latitudes altas. Su periocidad es de 41.000 años. Figura 4[4.2.]
•**Precesión de los Equinocios:** Los equinocios son los puntos en los que el Sol se sitúa encima del ecuador. El eje de rotación terrestre también sufre un cambio de época del afelio y del perihelio, afectando al equilibrio estacional de la radiación. Periocidad ≈ 22.000 años. Figura 4 [4.3.]


Figura 4: Ciclos de Milankovitch: Variación de la excentricidad, oblicuidad, precesión e insolación diaria media con el tiempo.[15]

Efectos de la última glaciación [5].
- Disminución del nivel del mar
- La vida se desplaza a latitudes más bajas
- Puentes continentales
- Alteración de los vientos globales y las corrientes oceánicas
- Aparición de animales de mayor tamaño y pelaje abundante

Efectos del periodo interglaciar actual[5]
- El hielo se descongela y genera ríos que desembocan en cuencas gigantes
- La vida regresa a las altitudes más altas
- Extinción de la megafauna

Próxima glaciación [1]. La última glaciación alcanzó su punto máximo hace 20.000 años. Actualmente, estamos en el período interglaciar del Holoceno, que ha durado 10.000 años. Se estima que la próxima glaciación podría alcanzar su punto máximo en 80.000 años, aunque la influencia humana en la atmósfera podría retrasar este proceso.

Comprender estos cambios climáticos pasados es clave para analizar las tendencias actuales y futuras, especialmente en el contexto del calentamiento global de hoy en día. Como un cambio climático natural se desarrolla mucho más lento que el que está pasando ahora, se concluye que la actividad humana tiene un impacto muy significativo en el clima global. Por lo tanto, estudiar la historia climática de la Tierra nos invita a reflexionar sobre nuestra responsabilidad como especie en la preservación del equilibrio ambiental y en la toma de decisiones informadas para el futuro del planeta.

[7] H. D. Holland. En: (2006); **[3]** D. E. Canfield. En: (2005); **[11]** J.W. Schopf. En: (2014); **[9]** Emanuela Mattioli et al. En: (2023); **[2]** Margarita Caballero et al. En: (2007); **[16]** Yinggang Zhang et al. En: *Frontiers in Ecology and Evolution* (2023); **[12]** Schulte et al. En: *Science* (2010); **[6]** Hildebrand et al. En: *Geology* (1991); Smit. En: *Amsterdam* (2010); **[4]** Chiarenza et al. En: *(PNAS)* (2020); **[8]** G Keller et al. En: *PNAS* (2004); **[14]** J Smit. En: *Sci* (1999); **[10]** Illinois State Museum. "Ice Ages". En: (2001); **[15]** Roland Stull. "Practical Meteorology". En: (2017); **[5]** National Geographic. "¿Qué es el periodo Cuaternario?" En: (2022); **[1]** Daniel Hernández Barreña. "Las glaciaciones del Cuaternario". En: (2016)

Agradecimientos: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad

Cambio climático y su impacto en enfermedades de transmisión vectorial

Pablo Cornwall Rivas, Álvaro de Fernando de Miguel, Pablo Künzle Álvarez,
Ángel Molero García, Marta Sevillano Ruiz, Ángela Shaw Angulo

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS – BASES FÍSICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

INTRODUCCIÓN

El cambio climático supone una problemática que va más allá de tener que lidiar con condiciones climatológicas extremas de forma frecuente. El aumento promedio de la temperatura y la humedad conllevan un incremento en las plagas agrícolas, así como de las enfermedades de transmisión vectorial **[1]**, aquellas en las que un organismo (vector) transporta y transmite a otro organismo vivo, un microorganismo causante de enfermedad (patógeno). Aumentos en temperatura y humedad mejoran muchas condiciones en el ciclo de vida de insectos y artrópodos portadores de enfermedades **[1,2]**. El control y seguimiento de los cambios ambientales y climáticos puede ayudar a predecir el aumento de los casos relacionados con enfermedades transmitidas vectorialmente, lo que, unido a medidas de prevención, supondría mitigar, al menos en parte, los costes económicos y, especialmente, humanos de esta situación.

PRINCIPALES ENFERMEDADES Y RIESGOS

Enfermedad	Vector	Patógeno	T↑	H↑
Malaria	Mosquito *Anopheles*	Parásito *plasmodium protozoan*	↑	↑
Dengue	Mosquitos *Aedes*, principalmente *Aedes aegypti*	Virus del Dengue. Flavivirus	↑	↑
Zika	Mosquitos *Aedes*	Virus del Zika. Flavivirus	↑	↑
Fiebre amarilla	Mosquitos *Aedes*, principalmente *Aedes aegypti*	Virus de la fiebre amarilla. Flavivirus	↑	↑
Chikungunya	Mosquitos *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*	Virus Chikungunya. Alfavirus	↑	↑
Enfermedad de Lyme	Garrapata *Ixodes*	Bacterias *Borrelia burgdorferi, Borrelia afzelii* y *Borrelia garinii*	↑	↓

Tabla 1. Principales enfermedades potenciadas por el cambio climático, su vector y patógeno causante de la enfermedad **[3, 4]**.

Malaria: entre 2000 y 2015 las tasas de incidencia, con África concentrando el 80% de los afectados, disminuyeron un 37% a nivel mundial y las tasas de mortalidad se redujeron en un 60%. Sin embargo, estos avances se han producido por el aumento de la financiación a su sistema sanitario, por lo que no se puede observar una relación directa con el cambio climático.
Dengue: es la enfermedad con la que más relación entre el aumento del brote y el cambio climático. El mosquito que la transmite ha demostrado una gran capacidad de adaptación a diversos cambios en la climatología de su hábitat. Otro factor importante es que el cambio climático obliga a muchas personas a trasladarse forzosamente, lo cual aumenta la densidad de población en las ciudades y con ello favorece la rápida transmisión de enfermedades una vez comienza el brote. Esta creciente urbanización no planificada, especialmente en países en vías de desarrollo como son los de América Latina (principales afectados por el dengue), y estos movimientos humanos, no cuentan muchas veces con una buena preparación epidemiológica.

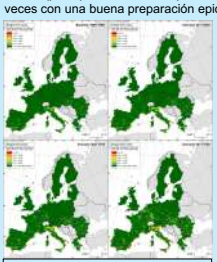


Figura 3. Número promedio de casos de **dengue** en Europa mediante un Modelo de Adición Generalizada, bajo condiciones base y escenarios de cambio climático para principios, mediados y finales del siglo **[5]**.

La figura 3 muestra que el riesgo no está distribuido uniformemente. El sur de Europa, especialmente las zonas costeras del mediterráneo, presenta mayor riesgo, con un aumento proyectado en Italia, España y el valle del Po. En el norte de Europa el riesgo sería prácticamente nulo **[5]**.
En 2023 el número de incidencias ha superado los 6,5 millones de casos globales, y hay más de 12,4 millones de casos en 2024 (figura 4). La OMS estima que 4 mil millones de personas están en riesgo de contraer **dengue** u otra enfermedad de transmisión vectorial, cifra que ascenderá a 5 mil millones para 2050 **[6]**.

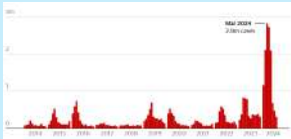
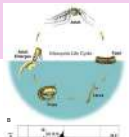


Figura 4. Número de casos mensuales de **dengue** reportados a nivel mundial entre 2014 y 2024 **[6]**.

AUMENTO POBLACIONAL DE LOS VECTORES

El cambio climático afecta directamente a la población de los vectores de enfermedades: insectos, principalmente dípteros (moscas y mosquitos), pulgas, y artrópodos (garrapatas), y lo hace especialmente a través del aumento de la temperatura y de las precipitaciones. Además, la reproducción de la mayor parte de los patógenos estudiados se desarrolla en la saliva de los vectores. A mayor temperatura del fluido, el tiempo de reproducción se reduce y aumenta la carga viral de la saliva, aumentando la infecciosidad de las picaduras.

En el caso de los **artrópodos**, el desarrollo de las larvas se produce en el subsuelo. Un aumento de temperatura reduce de forma no lineal los ciclos de vida e incrementa las poblaciones **[1]**, aunque lluvias persistentes, que provoquen inundaciones, elevan la mortalidad derivando en una disminución de la población. Su capacidad de infección, ligada al ciclo de vida del patógeno, se mantiene relativamente invariable, ya que habitan un único huésped por etapa de vida y permanecen por tanto a una temperatura constante.



En el caso de **dípteros**, solo las hembras pican, ya que requieren de proteínas para producir sus huevos. En la figura 1 se muestra que un aumento de 4ºC reduce más de un 40% la duración de la etapa pupal **[2]**, etapa en que se pasa del último estado de larva al de imago o adulto, aumentando de la tasa de reproducción y la población. Ponen sus huevos sobre el agua, un aumento en las precipitaciones favorece el incremento poblacional. Los entornos urbanos, con sistemas de drenaje, aguas subterráneas y cloacas, favorecen la reproducción de los mosquitos y ofrecen mejores oportunidades a mosquitos adultos, permitiendo su supervivencia fuera de los rangos geográficos esperados.

Figura 1. Ciclo vital de los mosquitos. **A.** Duración de la etapa pupal con la temperatura. **B.** Incrementos en la población adulta con la temperatura **[2]**.

ZONAS DE AFECTACIÓN Y PROYECCIÓN A FUTURO

El **calentamiento global** está alterando patrones climáticos a nivel mundial, causado por factores como la expansión de las células de Hadley hacia latitudes más altas, alterando el comportamiento de las corrientes en chorro polar y subtropical o la **subida del nivel del mar [7, 8]**.

Estos cambios afectan principalmente a las zonas templadas, con especial impacto en el Atlántico Norte y la costa oeste norteamericana. La interacción entre un chorro subtropical que migra hacia el norte y un chorro polar más ondulante—resultado del calentamiento acelerado del Ártico—está modificando los patrones meteorológicos globales, desplazando zonas desérticas a latitudes más altas y alterando las lluvias.

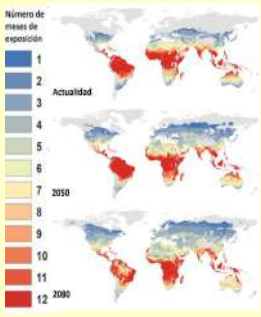


Figura 2. Proyección de la expansión de la especie de mosquito Aedes Aegypti (transmisor del dengue) en el escenario más pesimista, si las temperaturas subieran entre tres y siete grados de aquí a 2080. Los colores representan durante cuántos meses las temperaturas serían propicias para estos insectos **[12]**.

Para las próximas décadas, si las emisiones de gases de efecto invernadero mantienen su tendencia actual, se prevé un incremento notable de **fenómenos meteorológicos extremos**: olas de calor más intensas y duraderas, lluvias torrenciales vinculadas a DANAs, sequías prolongadas y mayor variabilidad térmica con contrastes estacionales acentuados **[9]**.

Este escenario climático está propiciando un **desplazamiento de vectores** portadores de enfermedades hacia áreas previamente inhóspitas para ellos. Mosquitos y garrapatas están expandiendo sus hábitats hacia latitudes más altas y regiones densamente pobladas (figura 2).

Este fenómeno ya es observable en Europa y Norteamérica, donde vectores tradicionalmente restringidos a zonas tropicales están colonizando áreas urbanas anteriormente libres de ellos. Las temperaturas elevadas aceleran los ciclos reproductivos de estos insectos, mientras que los nuevos patrones de precipitación crean **hábitats propicios** para su reproducción, aumentando la exposición a enfermedades transmitidas por vectores en grandes núcleos urbanos (figura 2) **[10,11,12]**.

El principal desafío asociado a la expansión de los hábitats de vectores transmisores radica en que las nuevas áreas de afección pueden presentar una **mayor vulnerabilidad** por carecer de la preparación adecuada, en gran medida debido a su grado de desarrollo, como puede ser el caso de África subsahariana o ciertas regiones de Sudamérica.

Otro ejemplo es el del mosquito tigre asiático, que prospera con temperaturas de 20-25ºC en verano y sobrevive si los inviernos superan los 3ºC. Simulaciones realizadas por el Copernicus Climate Change Service indican que, debido al calentamiento global, su presencia aumentará en Francia, Europa Central y el norte del continente en las próximas décadas. Todas zonas donde antes no eran una amenaza **[11]**.

EJEMPLO DE EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO (Lluvias torrenciales e inundaciones fuera de temporada)

El aumento de lluvias torrenciales tras grandes periodos de sequía en la región del **lago Victoria**, causado por el calentamiento global y el incremento de la evaporación atmosférica en la zona, ha intensificado las precipitaciones fuera de temporada y la subida del nivel del agua.

En 2020, **lluvias anómalas** durante agosto y septiembre provocaron inundaciones que generaron condiciones ideales para la proliferación del mosquito *Anopheles gambiae*, principal vector de la malaria en África Oriental.

Estas inundaciones crearon hábitats acuáticos temporales mucho más cerca de los núcleos de población, donde las larvas prosperaron aumentando significativamente la población de vectores (figura 5) **[13, 14]**.

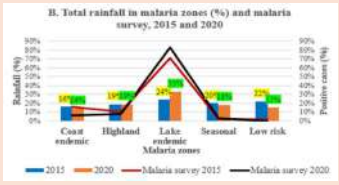


Figura 5. Porcentaje de precipitación total y resultados de encuestas de malaria (proporción de diagnóstico positivo) para los años 2015 y 2020. Diferentes zonas endémicas (costera, tierras altas, lago, estacional) y zonas de bajo riesgo. *Kenya Malaria Indicator Survey* (KMIS) **[13]**.

En la zona endémica del lago Victoria en Kenia, **los casos de malaria aumentaron del 69% en 2015 al 79% en 2020**, según datos del *Kenya Malaria Indicator Survey* (KMIS) **[13]**, coincidiendo con un verano más lluvioso de lo habitual.

Referencias

[1] Nick H. Ogden and L. Robbin Lindsay. *Effects of Climate and Climate Change on Vectors and Vector-Borne Diseases: Ticks Are Different*. Trends in Parasitology 1512.
[2] Pau Reiter. *Climate change and mosquito-borne disease*. Environmental Health Perspectives Vol. 109, Supplement 1: Reviews in Environmental Health, 2001 (March), pp. 141-161
[3] Madeleine C. Thomson and Lawrence R. Stanberry. *Climate Change and Vectorborne Diseases.* The New England Journal of Medicine, 2022 (November), VOL.387, pp. 1969-1978
[4] Jonas E. Mertens. *The Influence of Climate Change on Vector-Borne Diseases in a Wilderness Medicine Context*. Wilderness & Environmental Medicine, 2025, Vol. 36(1), pp. 44-60
[5] Bouzid, M. et al. *Climate change and the emergence of vector-borne diseases in Europe: case study of dengue fever*. BMC Public Health 14, 781 (2014).
[6] Katharine Vince. *Dengue fever: with a record 12.4m cases in 2024 so far, what is driving the world's largest outbreak?*. The Guardian 2024.
[7] Lu J., G. A. Vecchi, and T. Reichler (2007), *Expansion of the Hadley cell under global warming*, Geophys. Res. Lett., 34, L06805.
[8] Fonseca et al. *A physical concept in the press: the case of the jet stream*, Geosci. Commun., 5, 177–188, 2022.
[9] Seneviratne, S.I., et al. (2021). "*Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate.*" In IPCC AR6 WGI, Cambridge University Press
[10] UK Health Security Agency. *Health Effects of Climate Change (HECC) in the UK: Chapter 8.* 2023.
[11] Copernicus Climate Change Service. *Warming Europe invites dangerous mosquitos.* (2020).
[12] Ryan SJ, et al. (2019). "*Global expansion and redistribution of Aedes-borne virus transmission risk with climate change.*" PLoS Negl Trop Dis 13(3)
[13] Ryan SJ et al. *Global expansion and redistribution of Aedes-borne virus transmission risk with climate change.* PLoS Negl Trop Dis 13 (3): e0007213 (2019).
[14] C. Kioko and J. Blanford, *Malaria survey data and geospatial suitability mapping for understanding spatial and temporal variations of risk across Kenya*, Parasite Epidemiology and Control, Volume 28, 2025, e00399, ISSN 2405-6731,
[15] Okaka FO and Odhiambo BDO. *Relationship between Flooding and Out Break of Infectious Diseasesin Kenya: A Review of the Literature.* J Environ Public Health. 2018.

Agradecimientos: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

PUNTOS DE NO RETORNO

EL RELOJ AVANZA SIN PAUSA

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Bases Físicas del Cambio Climático - Grado en Física

Teresa Alcázar Alonso, Ignacio Montes Ramos, Ignacio Peñas Bustos, Gonzalo Puente Fernández de Bobadilla, Lucía Rodríguez Bethencourt, Paula Simón Ávila

¿QUÉ ES UN PUNTO DE NO RETORNO?

Desde el punto de vista físico se puede definir un punto de no retorno como el umbral crítico en el que un pequeño cambio en las condiciones externas provoca una transformación abrupta e irreversible en el estado del sistema [1].

Al superar el punto crítico, se desencadena una transición rápida hacia un nuevo estado, que puede ser abrupta e irreversible, suponiendo un potencial de influencia a nivel planetario. Los cambios pueden ser abruptos o a largo plazo y pueden ser influenciados directamente por actividades humanas, como el aumento de gases de efecto invernadero o la deforestación, lo que eleva el riesgo de que se alcance un punto crítico. [1]

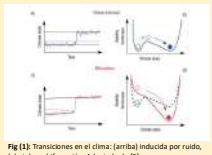
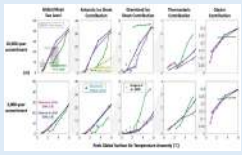


Fig (1): Transiciones en el clima: (arriba) inducida por ruido, (abajo) por bifurcación. Adaptado de [2].

¿CUÁLES SON ALGUNOS DE LOS PUNTOS DE NO RETORNO QUE ENCONTRAMOS ACTUALMENTE?

DESHIELO

DESHIELO DEL ÁRTICO Y GROENLANDIA



Fig(2): Gráficas extraídas del IPCC que muestran el compromiso a largo plazo del aumento del nivel del mar en función del aumento de la temperatura global. Las capas de hielo (la Antártida y Groenlandia) tienen el mayor potencial de contribuir significativamente al aumento del nivel del mar a largo plazo. [5]

Los glaciares de **Groenlandia** constituyen la segunda masa de hielo más grande del planeta. Estudios recientes revelan que 28 billones de toneladas de hielo de la superficie de la Tierra se han derretido desde 1994. Se estima un pronóstico de que a finales de siglo el nivel del mar podría aumentar hasta un metro. [4]

¿Por qué es un punto de no retorno?

Incluso siendo capaces de detener el cambio climático, el hielo perdido aún excedería el hielo ganado por la acumulación de nieve y provocaría que la capa de hielo continuara encogiéndose durante más tiempo. [4]

Ártico:

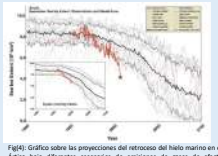
¿Cuánto afecta el derretimiento del hielo ártico a la circulación oceánica de latitudes más bajas?

El agua dulce del derretimiento del hielo se propaga a los mares nórdicos y al Atlántico Norte y posteriormente al resto del océano global, cambiando la estructura termohalina lo cual se traduce en :

- Aumento del nivel del mar
- Debilitamiento del AMOC (Circulación de Retorno del Atlántico Meridional)
- Dilución de la salinidad [3]



Fig(3): Extensión del hielo marino en su mínimo absoluto el 16 de septiembre de 2007, con la trayectoria de 2007 del HMS "Tireless" mostrada en línea roja. La línea rosa muestra la extensión media del hielo en septiembre entre 1979 y 2000. [3]



Fig(4): Gráfico sobre las proyecciones del retroceso del hielo marino en el Ártico bajo diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero utilizados por el IPCC. Dichos escenarios incluyen: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5. La línea negra gruesa representa la mediana de las predicciones del modelo y la estrella roja indica el año en que se espera que el Ártico experimente su primer verano sin hielo marino según el modelo climático utilizado en el estudio. [3]

Graves consecuencias:

- Cubierta de hielo estacional (hielo más delgado y frágil), tal como ocurre en la Antártida en la actualidad.
- Conflictos ecológicos y geopolíticos debido a nuevas rutas comerciales y explotación de recursos naturales (los barcos pueden atravesar el Ártico en cualquier época del año, no solo en verano).
- El océano y el suelo terrestre aumentan su temperatura (albedo menor que el del hielo) aumenta el deshielo del permafrost y, por tanto, la emisión de gases de efecto invernadero. [3]

Es probable que el **Ártico experimente veranos sin hielo marino antes de mediados de siglo incluso bajo escenarios de bajas emisiones** según varios estudios. [3] y [14]

DESHIELO DEL PERMAFROST

El permafrost es la capa de suelo que se encuentra congelado. Este almacena grandes cantidades de gases de efecto invernadero, como CO_2 o CH_4.

¿Por qué es un punto de no retorno? PROCESO RETROALIMENTADO ➡ FEEDBACK POSITIVO



Fig (5): Gráfico sobre la retroalimentación del derretimiento del permafrost. Fuente: [6]

Escenarios críticos (ver figuras 6 y 7):

- **Derretimiento moderado:** Un aumento global de aproximadamente **1.5 °C a 2 °C** por encima de los niveles preindustriales. Se pueden mitigar los efectos.
- **Derretimiento acelerado:** Se refiere al aumento de la temperatura entre **2°C y 3°C**. Los efectos generan un ciclo de retroalimentación [2], como se muestra en la figura 5. Esto significa que el derretimiento supone un aumento de GEI en la atmósfera, que a su vez aumenta la temperatura, incrementando el deshielo.
- **Colapso climático:** Un aumento de **más de 3°C** generaría un derretimiento muy rápido generando alteraciones extremas e irreversibles en los patrones climáticos.

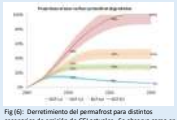


Fig (6): Derretimiento del permafrost para distintos escenarios de emisión de GEI actuales. Se observa como en el escenario de menos emisiones (azul), es posible mitigar los efectos de deshielo, mientras que en los intermedios (verde y amarillo), el derretimiento se mantiene en el tiempo. Por último, en el escenario más crítico (rojo) el derretimiento total es inevitable. Fuente: [6]

Consecuencias:

- **Pérdida de Biodiversidad**
- **Amenaza a infraestructuras**
- **Desplazamiento de comunidades humanas**
- **Liberación de tóxicos**

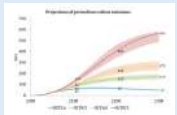


Fig (7): Cantidad de gases de carbono liberado por el derretimiento del permafrost. Puede relacionarse con los escenarios críticos con la misma discusión que la Fig (6). Fuente: [6]

BOSQUES

El Amazonas, el bosque tropical más grande del mundo, ha perdido en los últimos 40-50 años un 17% de su área forestal debido al impacto del ser humano [10]. Esto repercute en la pérdida de capacidad de los bosques de recuperarse, estando realimentado por una serie de feedbacks positivos [9].

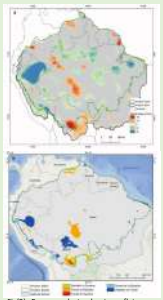
¿Qué le sucede al Amazonas?



Fig(8): Potencial de transición del ecosistema contando con la variación de temperatura, las sequías y la estabilidad de las regiones. El potencial para menos de 0 (azul) es bajo, 1-2 (amarillo) moderado y más de 2 (naranja-rojo) alto. Fuente: [9]

Más incendios ➡ aumento del CO2

El sumidero de carbono del Amazonas está en declive, pues la disminución de área vegetal ha reducido su capacidad de absorción del CO2 y los incendios producidos emiten mayores cantidades del mismo [8], convirtiendo el bosque en una fuente de emisión y liberándose el carbono almacenado equivalente a 15-20 años de emisiones globales (150-200 Pg C) [9].



Fig(9): Resumen de tendencias y flujos para las distintas regiones del Amazonas. Fuente: [9]

Deforestación y aumento de la temperatura

Modelos basados en la deforestación indican que, si este alcanza un 20%, el 50-60% del Amazonas perdería la resiliencia a las perturbaciones. Si la deforestación acumulada alcanza un 30 50%, se reducirían las precipitaciones de toda la región un 40%, conduciendo al colapso del ecosistema [9]. A esto se le suma el incremento de temperaturas globales. Estudios muestran que el calor extremo reduce la fotosíntesis, debilita los árboles y favorece incendios [1].



Fig(10): Cambios en la precipitación anual y la estabilidad del ecosistema en el bosque del Amazonas. Fuente: [10]

Pérdida de vegetación ➡ menor precipitación y humedad

Se reduce la evapotranspiración, responsable de un 25-35% de la precipitación total que, con el aumento de las temperaturas, aumenta la vulnerabilidad a los incendios que acelera la sabanización [10] y la degradación del ecosistema con una transición hacia un estado de mayor vulnerabilidad [9]. También disminuye el albedo por la falta de nubes, aumentando la temperatura.

CORALES

Los corales son animales marinos que forman estructuras de carbonato de calcio en los océanos. La mayoría de los corales mantienen una importante relación simbiótica con las algas zooxantelas. Dichas algas viven dentro de los corales, realizan la **fotosíntesis**, regulando el CO, marino, proporcionando oxígeno y compuestos orgánicos al coral, que a su vez les ofrece refugio y nutrientes. [15]

Blanqueamiento de los corales:

Debido al aumento del CO2 atmosférico se produce el fenómeno de la acidificación oceánica. El agua absorbe más CO2 y eso provoca una disminución en su pH:

$CO_2 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + H^+$

Este hecho, junto con el aumento de las temperaturas oceánicas contribuyen al estrés recibido por los corales, que está directamente relacionado con su muerte. [11]

Escenarios críticos:

Respecto la temperatura global preindustrial, estimaciones:

- +1,5ºC: Se estiman pérdidas del 70-90% de los corales (2024)
- +2ºC: Se estiman pérdidas de más del 99% de los corales [12]

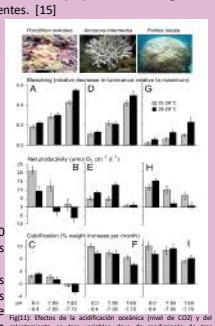
Impacto actual:



Fig (12): Probabilidades e informes de blanqueamiento observado para el año 2015 en las regiones: (a) Mapamundi, (b,c) Caribe, (d,e) Gran Barrera de Coral, (f,g) Océano Índico Central. [13]

Se estima que, en los últimos 30 años, más del 50% de los corales se han perdido.

Además, informes recientes indican que el 75% de los arrecifes están actualmente amenazados, y se prevé que esta cifra aumente al 90% para 2030. [12]



Fig(11): Efectos de la acidificación oceánica (nivel de CO2) y del calentamiento en tres variables clave de rendimiento de tres importantes constructores de arrecifes de coral: (A-C) Algas coralinas crustosas (*Porolithon Onkodes*), (D-F) Acropora ramificada (*A. intermedia*), (G-I) Porites masivo (*P. lobata*). [11]

¿Por qué es un punto de no retorno?

- Son el hábitat del 25% de la biodiversidad marina.
- Actúan como barreras naturales contra las tormentas y erosión.
- En el caso de la muerte completa del coral, la regeneración puede tardar décadas e incluso siglos.
- **Feedback positivo**

Indirecto: Relación simbiótica con las algas zooxantelas y los **manglares** (protección/sedimentos, sumideros de CO2)

Directo: Liberación del CO2 almacenado

REFERENCIAS

[1] T. M. Lenton *et al.*, "Tipping elements in the Earth's climate system," *PNAS*, vol. 105, no. 6, pp. 1786–1793, 2008.
[2] IPCC, *AR6 WGI Report*, 2021.
[3] P. Wadhams, "Arctic Ice Cover, Ice Thickness and Tipping Points," *Ambio*, vol. 41, no. 1, pp. 23–33, Feb. 2012.
[4] C. Crespo Garay, "El deshielo en Groenlandia rebasa el punto de no retorno," *National Geographic en Español*, 2020. Fuentes implicadas: IPCC; T. Slater et al., "Review Article: Earth's ice imbalance," *The Cryosphere*, vol. 14, 2020; y M. D. King et al., "Dynamic ice loss from the Greenland Ice Sheet driven by sustained glacier retreat," *Not. Com. E & E*, vol. 1, 2020.
[5] T. Wagner, "Antarctica: an inevitable climate tipping point?", *Bon Pote*, 14 de diciembre de 2021
[6] L. Kessler *Estimating the economic impact of the permafrost carbon feedback*. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment (2015).
[7] J. R. Díaz-Gallegos y J. F. Mas, *Investig. Ambient.*, 1(2), 19–35, 2009.
[8] MapBiomas, *MBI Factsheet COP27*, 2023.
[9] B. M. Flores *et al.*, *Nature*, 626, 555–563, 2024.
[10] L. Gatti *et al.*, *Nature*, 595, 388–393, 2021.
[11]Anthony, K. R. N."*Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders*" *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(45), 17442-17446, 2008
[12] IPCC. "*Global Warming of 1.5°C: Summary for Policymakers*". Intergovernmental Panel on Climate Change. 2018
[13] Virgen-Urcelay, A. "*Increase in the extent of mass coral bleaching over the past half-century, based on an updated global database.*" *PLOS ONE, 18*(2), e0281719, 2023.
[14] H. J. Lee, Y. H. Kim, J. C. Hwang, et al., "The time of emergence of Arctic warming, wetting and sea ice melting," *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, article 96607, 2025.
[15]https://www.nationalgeographic.com.es/animales/coral

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

Geoingeniería

La controversia de la modificación climática

BASES FÍSICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
GRADO EN FÍSICA

Alba Benito García, Guillermo Díaz Mata, Carla Quintana Doña, Paula Sira Mafé Jiménez, Juan José Moreno Mena, Juan de las Rivas Gámez

Introducción

El término **geoingeniería** se refiere al *conjunto de tecnologías que tienen como objetivo la manipulación, directa o indirecta, del clima para contrarrestar los efectos del cambio climático*. En teoría, estas deben ser **intencionales** y provocar un **impacto global** o a gran escala. El futuro de la geoingeniería está tan lleno de expectativas como de incertidumbres y preocupaciones, pues podría acarrear profundas **implicaciones ambientales, sociales, éticas y legales**. El primer registro sobre la posibilidad de intervenir en el clima deliberadamente, más allá de propuestas estrafalarias como la "cosecha de nubes" para provocar lluvia, fue en el marco de un informe del Comité Asesor Científico en 1965 en el que se sugería aumentar la reflectividad de la Tierra para compensar el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero [16]. Desde ese momento se han propuesto tecnologías como las expuestas a continuación, que se pueden enmarcar en dos categorías distintas: captación de CO_2 y disminución de la radiación solar que alcanza la superficie.

Métodos

Captación de CO_2

Captura directa del aire e inyección en la tierra

Existen propuestas de geoingeniería cuyo fin es la disminución de la cantidad de **CO_2** presente en la atmósfera centrados en el uso de **biomasa**, como las siguientes (Fig. 1).

Biochar: producto sólido resultante de la **pirólisis** de biomasa. Tiene gran capacidad de retención de CO_2 y serviría como **fertilizante,** pero podría afectar a los **micro-organismos** del ambiente al disminuir los nutrientes disponibles en el ecosistema. [1]

BECCS (***bioenergy with CO_2 capture and storage***)**:** plantación de cultivos sometidos a distintos procesos de obtención de energía (pirólisis y combustión) pero capturando el CO_2 generado en ellos [3]. Destacan:

- **Absorción-desorción:** Uso de aminas para separar CO_2 (almacenado) y H_2.
- Sustituir aire por **O_2 purificado** en la combustión, evitando subproductos de tipo NO_x, SO_x.
- Captura con **adsorbentes** en caliente aprovechando la T del proceso (sílice mesoporoso, CaO, MgO...).

Obstáculos: la gran cantidad de terreno empleado o encarecimiento de la energía.

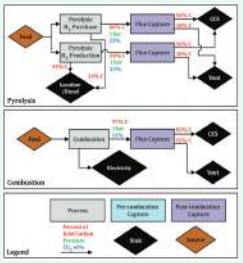


Fig 1. Tecnologías de conversión, combustible obtenido, opciones de captura de CO_2. [2]

Mejora de la alcalinidad de los océanos

El **océano** contiene 50 veces más carbono que la atmósfera y absorbe de forma natural un **25-30%** de las emisiones de CO_2. A medida que aumentan, este proceso natural lleva a la **acidificación** del océano (Fig. 2), generando impactos negativos en la biología marina. La mejora de la **alcalinidad del océano (OAE)** surge como una oportunidad de frenar estos sucesos.



Fig 2. Proceso de acidificación del océano. [12]

Existen **dos mecanismos principales para aumentar la alcalinidad del agua** (Fig. 3): el *vertido de minerales alcalinos pulverizados* y la *electroquímica de soluciones saladas* como el agua del mar y la salmuera. Estas, a su vez, disminuyen la **presión parcial de CO_2** en el océano, permitiendo la disolución de más CO_2 atmosférico en el agua. [9]

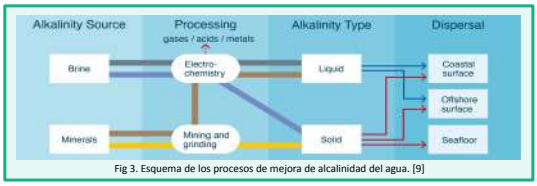


Fig 3. Esquema de los procesos de mejora de alcalinidad del agua. [9]

Estas técnicas, sin embargo, presentan retos importantes que hay que tener en cuenta: el impacto que tienen los **compuestos derivados** y **sedimentos** en el fondo marino, la continua y rigurosa **monitorización** de la alcalinidad a escala regional y su influencia con la **circulación natural** de los océanos. La infraestructura logística que supone la extracción, transporte y vertido de estos minerales o las plantas de electrólisis y su respectiva huella de carbono pueden hacer que sean contraproducentes. [8]

Radiación Solar

Inyección estratosférica de aerosoles

De manera natural, en las erupciones volcánicas se generan **aerosoles de sulfato**, que alcanzan la **estratosfera** reduciendo la **radiación solar entrante**. Se ha considerado la **inyección artificial** de aerosoles para mitigar los efectos del cambio climático. [4]

Principalmente se propone inyectar **dióxido de azufre SO_x**, que reacciona con el oxígeno y el vapor de agua formando **ácido sulfúrico** (Fig. 4). Al condensarse, el **H_2SO_4** forma partículas de distintos tamaños, generando una capa en la **baja estratosfera** que se extiende rápido zonalmente, aunque su difusión meridional depende de la latitud. [6]

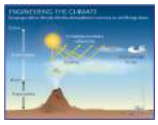
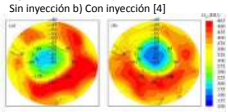


Fig 4. Aerosoles naturales y artificiales. [5]

Fig 5. Modelo de la capa de ozono en la antártida. a) Sin inyección b) Con inyección [4]



Esta capa dispersa la radiación entrante de **onda corta**, lo que tiene un efecto de **enfriamiento** en la superficie, pero absorbe más radiación superficial de **onda larga calentando** la baja estratosfera, lo que puede tener efectos adversos.

El aumento de la **densidad** del aire por la formación de partículas afecta las reacciones químicas y la composición del **ozono** estratosférico, **reduciendo** su cantidad regional y estacionalmente. En los inviernos antárticos se da una disminución de 30 DU en la capa de ozono (Fig. 5). Además, el enfriamiento superficial reduce la retención de humedad en el aire, dándose una **disminución** de la **precipitación.** [4]

Modificación del albedo terrestre y manejo del hielo ártico

La **modificación o mejora del albedo terrestre** consiste en una serie de propuestas de geoingeniería que pretende reflejar una mayor proporción de la luz solar de la que llega al planeta. Al absorber la superficie terrestre menos energía solar, se reduciría la **temperatura atmosférica**.

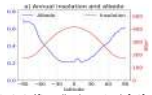


Fig 6. Gráfica Albedo-Latitud. [10]

El planeta Tierra mantiene la temperatura global estable gracias al **balance radiativo** entre la **radiación solar entrante**, la **reflejada y** la **emitida** por la superficie terrestre y la atmósfera. El **albedo** es un *parámetro que describe la cantidad de radiación solar que refleja (y no absorbe) cada superficie*: aquellas claras como las capas de hielo polares tienen alto albedo, mientras que las oscuras como las oceánicas lo tienen bajo (Fig. 7). El albedo también depende de la **latitud**, siendo máximo en los polos (Fig. 6). [10]



Fig 7. Diagrama de la reflexión solar. [11]

Para modificar el albedo terrestre existen **diversos métodos**: *producir cultivos con hojas altamente reflectivas, talar bosques boreales despejando zonas cubiertas de nieve, etc.*

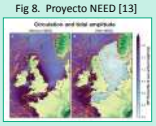
El método más relevante propone **cubrir el hielo del Ártico** y los glaciares terrestres aplicando una capa de **material reflectante** para aislarlos y frenar su derretimiento. Destaca el proyecto **Arctic Ice Project** [15], que ha probado esta técnica en el lago North Meadow (Alaska) utilizando polvo de **vidrio de sílice** (SiO_2), aunque la población indígena de la zona nunca dió su consentimiento [11]. Sus resultados no son concluyentes en efectividad real por el momento. [14]

Esta propuesta tiene una serie de efectos negativos que no se han considerado en profundidad, como la modificación del clima o el **ciclo hidrológico**, y especialmente el impacto en las redes alimentarias marinas y terrestres de los **ecosistemas árticos**, por ejemplo en las aves migratorias que ingieran el material y en **la salud humana** como consecuencia de inhalar el polvo de sílice. [11]

VISIÓN A FUTURO Y CONCLUSIONES:

Además de las mencionadas medidas de **mitigación**, existen también propuestas de **adaptación** a las consecuencias del cambio climático que podrían cobrar importancia a futuro, como el **Proyecto Need**, que consiste en represar el mar del Norte y el Báltico para **evitar inundaciones costeras** por la subida del nivel del mar (Fig. 8).

Fig 8. Proyecto NEED [13]



Todas las técnicas explicadas tienen sus **inconvenientes**, por lo que el uso de la geoingeniería como medida de mitigación del cambio climático resulta incierto y sigue habiendo profundos debates en el mundo científico acerca su **viabilidad** y **moralidad.**

REFERENCIAS: [1] Weber K, et al. Properties of biochar. [2] H. Geissler C. et al. Analysis of alternative bioenergy with carbon capture strategies: present and future. Energy & Environmental Science. [3] J. Otero de Becerra, "Procesos de captura de CO_2 ", Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente. [4] Philip J Rasch. et al. An overview of geoengineering of climate using stratospheric sulphate aerosols. [5] Microphysical Interactions Determine the Effectiveness of Solar Radiation Modification via Stratospheric Solid Particle Injection – Instituto de Geociencias. [6] Simone. T. et al. Stratospheric ozone response to sulfate aerosol and solar dimming climate interventions based on the G6 Geoengineering Model Intercomparison Project (GeoMIP) simulations. [7] Deep Ocean Climate Intervention Impacts Ocean Alkalinity Enhancement. DOSI. [8] Ocean Alkalinity Enhancement. Ocean visions: https://oceanvisions.org/ocean-alkalinity-enhancement/. [9] Eisaman et al. Assessing the technical aspects of ocean-alkalinity-enhancement approaches. [10] Alistair Duffey et al. Solar geoengineering in the polar regions: a review. [11] Geoengineering monitor: https://www.geoengineeringmonitor.org/. [12] Britannica. Science & Tech: https://www.britannica.com/science/ocean-acidification. [13] Groeskamp, S. et al. Northern Europe Enclosed: Engineering a Solution to Sea Level Rise. Bulletin of the American Meteorological Society. [14] J. Farkas et. al. Characterization of hollow glass microspheres with potential for regional climate intervention to preserve snow and ice surfaces. [15] Arctic Ice Project (Silicon Valley, California): https://www.arcticiceproject.org/. [16] Gian Carlo Delgado Ramos, "Geoingeniería, apuesta incierta frente al cambio climático", Universidad Nacional Autónoma de México.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

AMOC, desaceleración y posibles consecuencias

Bases Físicas del Cambio Climático

Claudia Zayas García, Francisca Serra Gelabert, Sergio Sánchez García, Gabriel Reyes Rodríguez, Santiago Marín Gutiérrez, Pilar González Furió, Marcos García Sánchez

Oceanografía y AMOC

La **oceanografía** consiste en el estudio de los océanos, abarcando las propiedades, procesos y dinámicas que ocurren en ellos. **Los océanos regulan el clima** y su variación impactaría en los ecosistemas y la biodiversidad.



Un sistema clave es la AMOC (Circulación Meridional del Atlántico) una **corriente oceánica que transporta calor** desde los trópicos hasta el Atlántico norte, regulando el clima en América, Europa y África. Se divide en **corrientes superficiales y circulación profunda o termohalina**.

La AMOC ha variado en **tres modos climáticos**: el modo cálido, que mantiene temperaturas altas en el Atlántico Norte; el modo frío, que impide su calentamiento al hundir el agua más al sur; y el modo apagado, en el que colapsa, causando un enfriamiento global [1].

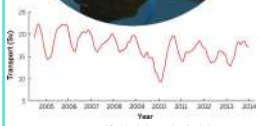


Figura 1. Esquema simplificado de la circulación de la AMOC y variación del transporte. Srokosz and Bryden (2015).

En las últimas décadas **se ha observado una desaceleración** (figura 1), lo que impulsó la realización de estudios sobre el tema por las grandes consecuencias sobre el clima que podría tener.

Existe una **estrecha relación con el cambio climático**: el deshielo en el Ártico junto con un aumento de la temperatura superficial del agua disminuyen drásticamente su densidad, frenando la circulación.



Figura 2. Tipos de modos de la AMOC

Vulcanología y AMOC

La AMOC es también afectada por **erupciones volcánicas**. Esta **se ve fortalecida** durante los primeros 5 años desde la erupción. A partir de ahí, comienza a sufrir un decrecimiento, llegando a un ciclo de alrededor de 50 años. La relación entre los volcanes y la AMOC se centra en el **forzamiento radiativo** de las cenizas de las erupciones. [4]

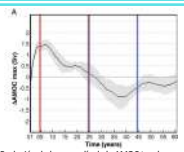


Figura 5. Evolución de la anomalía de la AMOC tras la erupción.

Investigación y monitoreo

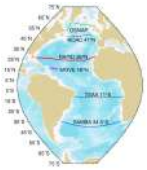


Figura 3. Programas de observación y monitoreo constante de la AMOC. Son arrays compuestas por boyas, anclajes y sensores, siendo RAPID y SAMBA las más importantes.

Puntos de observación

A distintas latitudes en el océano Atlántico, **existen distintos proyectos de observación y monitorización** de la AMOC (figura 3). Estos son: OSNAP, compuesta por OSNAP West, en el Mar del Labrador y OSNAP East, entre Groenlandia y Escocia, NOAC a 47ºN, RAPID A 26ºN [2], MOVE a 11ºS y SAMBA a 34.5ºS (figura 3). [3]

Los que han conseguido **resultados más significativos** han sido **SAMBA, y RAPID**, el cual ha concluido que la AMOC sufre variaciones en escalas de tiempo tanto diarias como decadales, y que **los años 2010-2011** marcaron el **inicio** de un **debilitamiento** constante en la intensidad de la **AMOC**.

Modelos y resultados

Existen multitud de modelos que permiten el análisis de la AMOC recogidos en el proyecto CMIP6. Varios de ellos muestran diferentes proyecciones sobre el futuro de la AMOC en el intervalo de 2015 a 2100. Estos modelos **muestran un debilitamiento de la AMOC** en función del escenarios del tier-1 ScenarioMIP: se ha determinado que el debilitamiento del AMOC es de un 24, 29, 32 y 39% para SSP1–2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 respectivamente. [3]

Los modelos **han de representar correctamente los factores que contribuyen a la evolución del sistema**, como la fusión de los hielos en Groenlandia, la temperatura de la superficie oceánica, el grado de evaporación y precipitación; dependientes del escenario de emisiones de GEIs.

Desafíos

También **existen muchos retos** a la hora de simular el futuro de la AMOC. Especialmente en modelos climáticos globales, donde la resolución es limitada para describir las corrientes de frontera angostas y los eddies de mesoescala y subescala. [10]

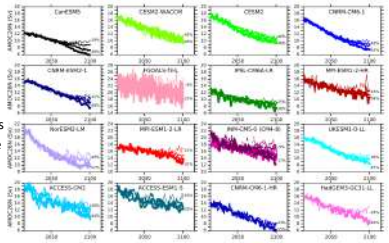


Figura 4. Evolución de la intensidad de la AMOC a 26ºN para 12 de los 27 modelos de CMIP6. Se muestran con líneas cada vez más gruesas los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5. La disminución porcentual compara el promedio de 2081-2100 con la media (1850-2014).

Consecuencias de la desaceleración de la AMOC

Cambio Climático y AMOC

La desaceleración de la AMOC produciría un **enfriamiento del Atlántico Norte**, con expansión del hielo marino que reforzaría el enfriamiento por el aumento del albedo. A nivel global, la tendencia seguiría siendo de calentamiento [5].

El cambio en el gradiente de temperaturas tendría como consecuencia el **desplazamiento unos pocos grados hacia el sur de la zona de convergencia intertropical (ITCZ),** debilitándose los vientos en el hemisferio norte y otros cambios del clima europeo (que se comentarán más adelante).

Sumidero de carbono

El Océano Atlántico es el **mayor sumidero de CO_2** del hemisferio Norte gracias a la AMOC (descensos de CO_2 superficial).

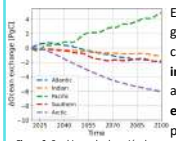


Figura 6. Cambios en la absorción de los océanos [6]

El aumento del hielo tendría dos grandes efectos en la absorción de carbono: reduce la **superficie de intercambio** entre el océano y la atmósfera y **disminuye la luz solar entrante**, necesaria para la producción primaria en el interior del océano.

No obstante, los modelos muestran que pese disminuir localmente la absorción, **globalmente se vería compensada** por cambios en el sistema climático (el aumento de la absorción en Pacífico vs disminución Atlántico, figura 6).

Clima Europeo

Según el modelo HadGEM3 las consecuencias en el clima europeo son:

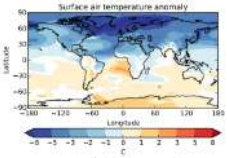


Figura 7. Anomalía de la temperatura del aire en superficie.

- **Enfriamiento general** en el hemisferio norte, en concreto en Europa (hasta 10ºC menos en invierno). **Ampliando la cobertura de hielo marino.**
- Cambios en la precipitación: En **verano, disminuye la precipitación** en el norte de Europa, y el Mediterráneo se vuelve más húmedo. En **invierno, las precipitaciones en el Atlántico Norte se intensifican** y llegan más al interior de Europa. Además **aumenta la proporción de nieve** en todo el continente y el número de meses con cobertura de nieve.
- Impacto en los ríos y disponibilidad de agua: **Se reduce el caudal de los ríos** (hasta un 80% en el sur de Europa), afectando a la disponibilidad de agua y a la agricultura.
- Dinámica atmosférica: En **invierno se incrementan los vientos del oeste**, cosa que modera el efecto de enfriamiento en el continente. En **verano se debilitan**, reduciendo el efecto de enfriamiento marítimo y contribuyendo a temperaturas más cálidas en tierra.

AMOC y Ecosistemas

Desde el sur del Océano Atlántico, **los mecanismos de la AMOC, se encargan de transportar calor, enfriando** el agua de la superficie. Si este transporte desaparece, **el calentamiento resultante provocará una modificación en la precipitación media anual (MAP).**

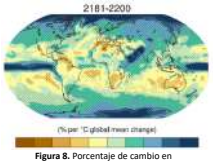


Figura 8. Porcentaje de cambio en la precipitación media anual.

En los **modelos más extremos**, , esto supone una significativa **disminución de precipitación,** que hará que el clima, en algunas zonas, **se pueda transformar a uno similar al Sáhara**.

En cuanto a la **biodiversidad del océano** según los modelos CESM2 y EcoOcean (modelo de ecosistemas marinos), se observa una **disminución** de la **biomasa total del sistema** (TSB), especialmente en organismos de niveles tróficos altos.

En el escenario de **bajas emisiones** (SSP1-2.6), la biomasa total **se reduce** en un **3.78%** y en el de **altas emisiones** (SSP5-8.5), la reducción es menor, de **2.03%**.

Además se altera la disponibilidad de nutrientes en la superficie oceánica, reduciendo la producción primaria de fitoplancton.

Los cambios de temperatura afectan a la distribución de especies y la productividad marina.

Referencias

[1] AEMET (2024). Agencia Est. Meteo
[2] https://rapid.ac.uk/
[3] W. Weijer et al. (2020)
[4] Pausta et al. (2015)
[5] Srokosz et al.(2012) American Meteo. Soc.
[6] Boot et al. (2024) Clim. Dyn.
[7] Boot et al. (2025) Earth´s Future
[8] L. C. Jackson et al (2015)
[9] C. Ciemer et al. Eur. Phys. Top. (2021)
[10] Laura C. Jackson et al. (2023)

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

El cambio climático y la biodiversidad

Bases físicas del cambio climático

GRADO EN FÍSICA

Autores:

Clara Peláez, Eduardo Martínez, Gabriel Albasini, Gonzalo Mateos, Hugo Sáinz, Jaime Nogueira, Laura Redondo.

Biodiversidad

La biodiversidad (o diversidad biológica) se refiere a la variedad de vida en la Tierra, incluyendo la diversidad de especies, genes y ecosistemas. Es fundamental para el equilibrio ecológico y el bienestar humano, ya que proporciona recursos como alimentos, medicinas y servicios ecosistémicos (purificación del agua, polinización, regulación del clima, entre otros).

Alteración de hábitats y desplazamiento de especies

El cambio climático está provocando alteraciones significativas en los hábitats naturales, lo que conduce a la pérdida de biodiversidad en diversas regiones del planeta.

Aumento de Temperatura y su Impacto

- La temperatura media global ha aumentado aproximadamente **1,2°C** desde la era preindustrial.
- Afecta los ciclos biológicos y los rangos de distribución de numerosas especies.

Fenómenos Extremos y la Biodiversidad

- **Sequías e inundaciones** afectan ecosistemas que dependen de un equilibrio hídrico estable, como puede ser el Amazonas o a especies como los Elefantes en África Oriental.
- En la **región mediterránea**, la menor disponibilidad de agua y el aumento del riesgo de sequías impactan negativamente la biodiversidad. [4]

Pérdida de la criosfera

- Disminución del hielo marino en los polos.
- Pérdida del hábitat de los osos polares, poniendo en riesgo su supervivencia.

Ecosistemas Marinos en Peligro

- Los **corales** son extremadamente sensibles a las variaciones de temperatura.[4]
- Un aumento de **1-2°C** puede inducir **blanqueamiento masivo**, reduciendo significativamente estos ecosistemas.



Fig 1: Riesgos de extinción medios en distintas zonas geográfcas. [8]

El cambio climático está modificando las condiciones ambientales de los ecosistemas, lo que obliga a numerosas especies a desplazar sus rangos de distribución.

En particular, el calentamiento global desplaza las áreas de clima adecuado hacia latitudes más altas y altitudes mayores. Para garantizar su supervivencia, las especies deben seguir este desplazamiento. [8]

Si una especie no logra ajustar su distribución al ritmo del cambio climático, sus poblaciones pueden quedar atrapadas en condiciones fuera de su nicho climático óptimo, lo que puede llevar a la extinción. Se ha identificado una **velocidad umbral de desplazamiento climático [3]**:

- Si el cambio climático es **demasiado rápido**, la especie no puede seguirlo y desaparece.
- Si el cambio es **lo suficientemente lento**, incluso poblaciones pequeñas pueden adaptarse y colonizar progresivamente nuevas áreas favorables.



Fig 2: Muévete, adáptate o desaparece. La distribución de las especies depende del clima y cambia con él si pueden migrar a hábitats adecuados. Si no, pueden extinguirse por la reducción de su hábitat, barreras de migración o limitaciones de adaptación. [3]

Fenología

La **fenología [6]** es el estudio de la sincronización de los eventos del ciclo de vida en plantas y animales, como la floración, hibernación o la migración [Fig 3]. Los **cambios estacionales** y **climáticos** afectan a los seres vivos. Estos cambios pueden incluir variaciones en la duración del día, la temperatura y la lluvia o nevadas. Los estudios de la fenología intentan aprender más sobre los factores a los que responden las plantas y los animales.

Diversos estudios han mostrado **alteraciones** asociadas al cambio climático, que han provocado numerosos cambios en los **ciclos de vida** de los seres vivos [Fig 4]. Muchos de ellos se asocian al cambio climático. La duración de las fases del ciclo de la vida de las plantas, las **fenofases**, se están viendo afectadas por diversos cambios en el clima como el aumento de la temperatura o el aumento o disminución de las precipitaciones.



Fig 3: Fenología del maíz a lo largo del año.

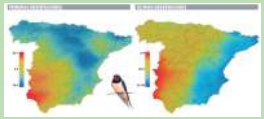


Fig 4: Mapas de las primeras y últimas observaciones de golondrina común en la península.

Como ejemplo , podemos tomar la **hibernación** o la **migración** de ciertas especies. El objetivo de estos será evitar las épocas de menor cantidad de recursos, como agua o comida. El cambio climático provoca cambios en ciertos **factores ambientales**, llevando a estas especies a sobrevivir en épocas con menos alimento, agua o peor clima, dificultando la supervivencia de la especie.

Para **predecir eventos fenológicos** se ha desarrollado un **estudio [5]** que implementa un modelo de riesgos proporcionales (Modelo COX) para describir la probabilidad de que ocurra la puesta de huevos de una especie de ave.

Para evitar problemas asociados con la medición de la temperatura en periodos fijos se define una variable acumulativa que integra la temperatura actual y la influencia de días previos modulado por el parámetro α (A mayor valor de α , mayor influencia de los días pasados)

$$\lambda(t) = T_{media}(t) \cdot \alpha + \lambda(t-1) \cdot \alpha \quad (1)$$

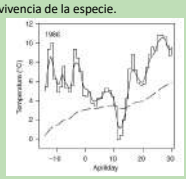


Fig 5: Media de temperatura diaria medida (línea escalonada, modelo con $\alpha = 0.04$ (línea discontinua) y $\alpha = 0.5$ (línea continua) [5]

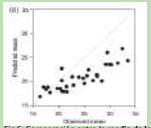


Fig 6: Comparación entre la **media de las fechas de puesta** observada y predicha por el modelo [5]

Aplicando el modelo al estudio de la fenología de aves, se obtiene la siguiente expresión que devuelve la probabilidad de la puesta en función de distintos factores (h(t,...)):

$$h(t, A, \lambda, D) = h_0(t) e^{\beta_A A + \beta_\lambda \lambda(t) + \beta_{\lambda D} \lambda(t) D(t)} \quad (2)$$

Donde t es un día del año, h_0 es la probabilidad base de la puesta para la especie, A es la edad (Variable categórica, 0 si es primer año y 1 si es mayor) y D es la duración del día medida en horas.

Evaluando las predicciones del modelo con las observadas se encontró una correlación de r=0.85 por lo que se concluyó que un enfoque basado en riesgos proporcionales supera las limitaciones de los modelos tradicionales.

Océanos

Los océanos desempeñan un papel esencial en la estabilidad climática y ecológica del planeta: generan más del 50 % del oxígeno que respiramos, regulan las temperaturas globales y absorben una gran cantidad del CO_2 emitido por actividades humanas. Sin embargo, el cambio climático ha alterado su composición química y ecosistemas, poniendo en riesgo la biodiversidad y la seguridad alimentaria de millones de personas.

CONSECUENCIAS

- **Acidificación oceánica:** La absorción de CO_2 reduce el pH del agua, según las reacciones:

$$CO_2 + H_2O \dashrightarrow HCO_3^- + H^+ \quad ; \quad CO_2 + H_2O + CO_3^- \dashrightarrow 2CO_3^-$$

afectando organismos calcificantes como corales, moluscos y crustáceos, lo que compromete sus conchas, esqueletos y supervivencia. Afectando más en las zonas que aparecen en Figs. (7B) y (7C), debido a las corrientes y temperaturas de esas zonas. Esto impacta notablemente a biodiversidad y la cadena alimentaria.

- **Aumento de la temperatura del mar:** Las especies marinas migran hacia latitudes más frías, ya que como podemos ver en Fig. (7A), alterando la biodiversidad y las cadenas tróficas.
- **Disminución del oxígeno disuelto:** El calentamiento global genera "zonas muertas", inhóspitas para la vida marina y con riesgo de muerte masiva de organismos.
- **Alteraciones en las corrientes oceánicas:** Cambios en la temperatura y los vientos afectan la distribución de nutrientes, reduciendo la productividad y disponibilidad de recursos pesqueros.
- **Impacto en ecosistemas costeros:** Manglares, estuarios y marismas están en peligro por el aumento del nivel del mar y fenómenos climáticos extremos, afectando tanto a la biodiversidad como a comunidades humanas dependientes de ellos.
- **Efectos en la pesca y la seguridad alimentaria:** La reducción de peces y crustáceos amenaza la principal fuente de proteínas para millones de personas y pone en riesgo el sustento de pescadores e industrias pesqueras.

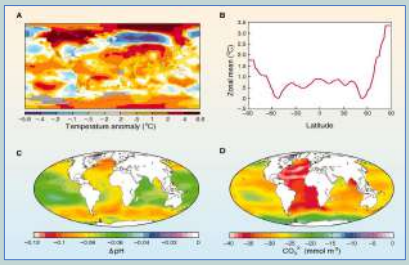


Fig 7: (A)= Anomalía en la temperatura de la superficie del planeta en enero de 2010 relativo a la media de 1951 a 1980. (B)=Mismos datos presentados en (A), en función de la latitud. (C)= Cambio estimado del valor medio del pH entre la era pre-industrial (1700s) y los años 90 (D)=Cambio estimado de la concentración anual de iones carbonato en la superficie oceánica entre la era pre industrial (1700s) y los años 90. [Credits: (A) and (B) NASA Goddard Institute for Space Studies; (C) and (D) Global Ocean Data Analysis Project]

CONCLUSIONES:

El cambio climático representa una de las mayores amenazas para la biodiversidad global, alterando los hábitats naturales, modificando los patrones migratorios y afectando la disponibilidad de recursos esenciales para muchas especies. **Necesidad de transición energética:** La descarbonización es clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y alcanzar la neutralidad de carbono, como lo establece el Acuerdo de París.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al Decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad.

REFERENCIAS:

[1] Hoegh-Guldberg, O., & Bruno, J. F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. Science, 328(5985), 1523-1528.
[2] Doney, S. C., Ruckelshaus, M., Duffy, J. E., Barry, J. P., Chan, F., English, C. A., ... & Talley, L. D. (2012). Climate change impacts on marine ecosystems. Annual review of marine science, 4(2012), 11-37.
[3] Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., ... & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. Nature, 427(6970), 145-148.
[4] from https://institutodelagua.es/cambio-climatico/cambio-climatico-y-la-extincion-de-especiescambio-climatico/
[5] Gienapp, P., Hemerik, L., & Visser, M. E. (2005). A new statistical tool to predict phenology under climate change scenarios. *Global Change Biology*, *11*(4), 600-606.
[6] *#FenoDato: ¿Qué es la fenología?* (n.d.). from http://www.fenodato.net/fenologia/
[7] Fases y Etapas fenológicas del maíz - InfoAgronomo. (n.d) from https://infoagronomo.net/etapas-fenologicas-del-maiz/
[8] Urban, M. C. (2024). Climate change extinctions. *Science*, *386*(6726), 1123-1128.
[9] Cambios en la fenología de las aves con el cambio climático. (n.d.). from https://www.ecoavant.com/naturaleza/cambios-en-la-fenologia-de-las-aves-con-el-cambio-climatico_11744_102.html

FINANCIANDO LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID

Según la ONU, se estiman necesarios unos 125 mil billones de dólares para financiar la transición a una economía sostenible. A partir del año 2000, gobiernos y organizaciones internacionales comienzan a tomar medidas para incentivar la inversión en la lucha contra el cambio climático. Desde el 2015 con la introducción de instrumentos financieros como los bonos verdes y marcos regulatorios como NFRD el crecimiento en la inversión ha acelerado. Sería imposible conseguir una economía libre de carbono sin la participación del sector privado, y son necesarias políticas e iniciativas que fomenten la inversión sostenible.

Público Vs Privado

1.3 Billones de dólares se han invertido en financiar la transición a una economía sostenible



Figura 1: Distribución de inversiones en sostenibilidad

Como se puede observar en la Figura 1, el sector privado ha sido clave en la financiación sostenible, representando un 48% de la inversión total. Esto supone haber aportado más de 600 mil millones de dólares financiando proyectos sostenibles.
Esto se ha conseguido a través de distintos instrumentos y mecanismos que incitan a individuos y empresas a invertir en proyectos sostenibles

¡La transición a una economía sostenible no sería posible sin inversiones del sector privado!

¿De dónde vienen estos fondos?

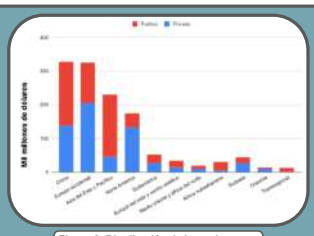


Figura 2: Distribución de inversiones en sostenibilidad por país

No todos los países han tomado la inversión sostenible como prioridad, pero algunas regiones han marcado la diferencia con estrategias concretas.

Como puede observarse en la figura 2, China, la tercera economía más grande del mundo, lidera la inversión en proyectos sostenibles con directrices como el Green Bond Endorsed Project Catalogue y el China National ETS, un sistema de comercio de emisiones que establece límites para el sector eléctrico.

La Unión Europea ha desarrollado un marco regulatorio sólido con su Taxonomía de Finanzas Sostenibles y el mercado de bonos verdes, impulsando la transición hacia una economía baja en carbono.

Estados Unidos, a pesar de ser la primera economía mundial, ocupa solo el cuarto lugar en inversión sostenible. Sin embargo, el país ha avanzado con incentivos fiscales y paquetes de financiamiento como el Inflation Reduction Act, que destina cientos de miles de millones de dólares a energías limpias y tecnologías verdes.

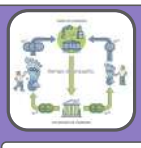
En el Este Asiático y Pacífico, países como Japón, Corea del Sur y Australia han reforzado su compromiso con políticas como el mercado de bonos verdes en Japón, el ambicioso plan de neutralidad de carbono de Corea del Sur y la estrategia de financiamiento sostenible de Australia.

Carbon Pricing

El carbon pricing es un sistema o mecanismo económico que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero colocando un costo a la contaminación. Para ello se incentiva a las empresas a reducir dichas emisiones mediante el modelo cap-and-trade o mediante un impuesto al carbono. El carbon pricing es implementado a nivel nacional o regional, sin un marco obligatorio global. Sin embargo, organismos como el Banco Mundial (a través de la Carbon Pricing Leadership Coalition) y el FMI promueven su adopción.

El impuesto al carbono consiste en establecer un precio fijo por cada tonelada de CO_2 emitido a la atmósfera. De esta manera, las empresas deben de pagar un impuesto según sus emisiones de CO_2 y se fomenta el uso de energía más limpia en el sector privado, así como desincentivar el uso de combustibles fósiles.

El sistema cap-and-trade es una implementación económica que establece un límite (cap) a las emisiones de CO_2 y permite la compraventa de permisos de emisiones entre empresas y países. Así, las organizaciones que superen su límite se verán obligadas a pagar a aquellas organizaciones con menos emisiones, incentivándolas a reducir sus emisiones.



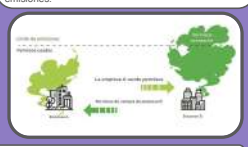


Figura 3: Funcionamiento de los mecanismos de carbon pricing: (A) Impuesto al carbono fijo por tonelada de CO_2; (B) Sistema cap-and-trade con límites decrecientes.



Figura 4: Implementación global por países de mecanismos de carbon pricing.

China	Europa	Estados Unidos	Rusia	Canada
En China, el carbon pricing va enfocado completamente al sector electrico utilizando el mecanismo cap-and-trade	En europa, la UE implementó en 2006 el Sistema de Comercio de Emisiones de la UE, que utiliza el modelo cap-and-trade y establece un precio al carbono bastante estricto	En Estados Unidos no hay un sistema nacional de precios al carbono, pero varios estados han implementado tanto sistemas cap-and-trade como de impuestos al carbono.	Rusia no tiene un sistema formal de precios al carbono a nivel nacional, y por lo tanto, se sigue una política menos estructurada para reducir las emisiones.	Canadá cuenta con un impuesto al carbono implementado de manera federal, con la opción de las provincias a implementar sus propias medidas

Emisión de Bonos Verdes

¿Qué es un bono?

Los Bonos son el instrumento financiero a través del cual los países y empresas adquieren deudas. Como se puede ver en la figura 6, es un contrato por el que el emisor del bono recibe cierta suma de capital al "vender" el bono, bajo la promesa de pagar cierto tipo de interés al dueño del bono y devolver la cantidad la suma inicial al final del contrato

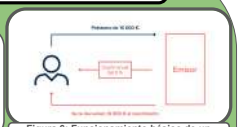


Figura 6: Funcionamiento básico de un bono.

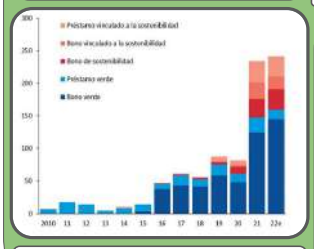


Figura 5: Serie histórica de la emisión de Bonos Verdes
Miles de Millones de Dólares

¿Y qué son los bonos verdes?

Los bonos verdes son bonos emitidos con el expreso propósito de financiar proyectos sostenibles, ayudando así a empresas e inversores a transicionar a una economía baja en carbono.

Ejemplo: Una empresa energética que necesita un préstamo para financiar la construcción de una granja de energía solar emitirá un bono verde para conseguir el capital necesario.

La Asociación Internacional de Mercados Capitales (ICMA) creó y mantiene los Green Bond Principles, que determinan los requisitos para que un bono pueda considerarse como un bono verde.

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ta Convocatoria (2024). Asimismo, agradecen al decanato su apoyo para la organización de la exposición de pósteres en la Facultad

Normativas y Estándares de Reporte en Sostenibilidad

El primer paso para arreglar un problema es medirlo y entenderlo. Por esta razón, tanto países como asociaciones privadas han trabajado para crear estándares para el reporte de métricas de sostenibilidad, así como leyes que obliguen a distintas entidades a medir y reportar sus emisiones.

Pioneros: La Unión Europea

La primera regulación a nivel mundial que obligaba a empresas a reportar sus emisiones de carbono fue aprobada por la UE en 2014. Desde entonces, nuevas leyes con requisitos más y más ambiciosos se han ido publicando con los años. Hoy en día existe un extenso marco regulatorio para asegurar que la información de sostenibilidad se reporta de forma efectiva y transparente.

Otros países, como Reino Unido, Singapúr, Japón, entre otros, han tomado inspiración de las regulaciones europeas.



Figura 7: Esquema sobre la regulación de reportes de emisiones de carbono por parte de la UE

Estándares internacionales

Para asegurar que los reportes de todas las empresas siguen los mismos estándares y pueden ser comparados entre sí, distintos estándares internacionales han surgido para guiar a las empresas en cómo medir y construir sus reportes.

Global Reporting Initiative
European Sustainability Reporting Standards
SASB
TCFD

Figura 8: Estándares internacionales más conocidos

Pósteres del Máster en Meteorología y Geofísica: Análisis de Datos en Meteorología

Análisis de temperatura y precipitación en la región Mediterránea

Análisis de Datos en Meteorología

MÁSTER EN METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA

Estudiantes del Máster en Meteorología y Geofísica de la UCM

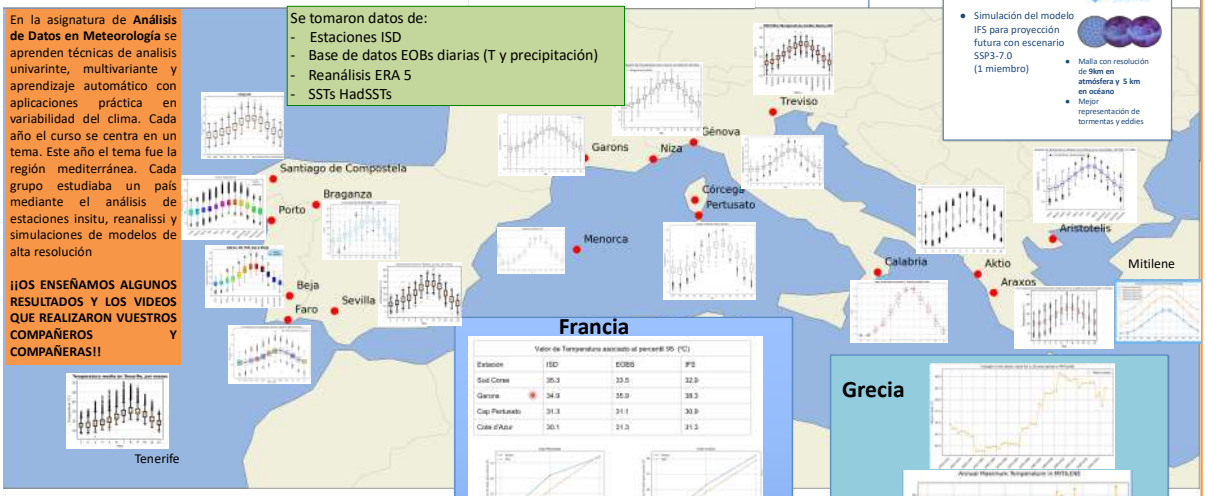
En la asignatura de **Análisis de Datos en Meteorología** se aprenden técnicas de analisis univarinte, multivariante y aprendizaje automático con aplicaciones práctica en variabilidad del clima. Cada año el curso se centra en un tema. Este año el tema fue la región mediterránea. Cada grupo estudiaba un país mediante el análisis de estaciones insitu, reanalissi y simulaciones de modelos de alta resolución

¡¡OS ENSEÑAMOS ALGUNOS RESULTADOS Y LOS VIDEOS QUE REALIZARON VUESTROS COMPAÑEROS Y COMPAÑERAS!!

Se tomaron datos de:
- Estaciones ISD
- Base de datos EOBs diarias (T y precipitación)
- Reanálisis ERA 5
- SSTs HadSSTs

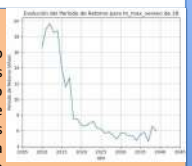
2020-2050

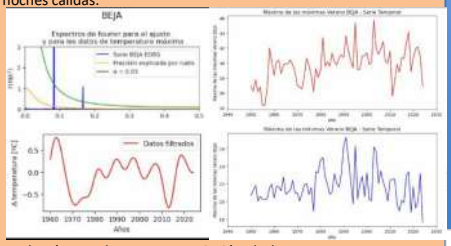
- Simulación del modelo IFS para proyección futura con escenario SSP3-7.0 (1 miembro)
- Malla con resolución de **9km en atmósfera y 5 km en océano**
- Mejor representación de tormentas y eddies



Portugal

Tomando el ejemplo de Beja, el grupo de Portugal calculó la evolución de las temperaturas extremas empleando simulaciones a futuro. Se observa que en un futuro disminuyen los periodos de retorno (**análisis de extremos**) para temperaturas extremas, lo que quiere decir que aumentará la frecuencia de noches cálidas.





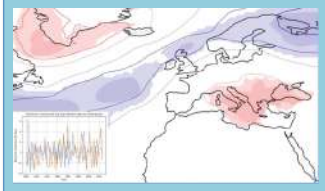
Además, se observa una variación de las temperaturas con una periodicidad multidecadal, que puede venir influida por el océano. Se empleó Análisis de Fourier y Filtrado Butterworth

Francia

El grupo de Francia analizó las simulaciones futuras Para un periodo de retorno de 20 años, las temperaturas aumentan en casi todas las estaciones de Francia
Además, al igual que en Portugal, aparece una variabilidad decadal importan con un pico de 40 años

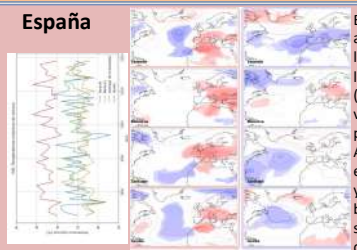
Grecia

Las temperaturas en verano en Grecia claramente aumentan. Tomando Mitilene de ejemplo, y para un periodo de retorno (análisis de extremos) de 10 años, el grupo de Grecia encontró que los valores aumentan de valores alrededor de 36ºC en los años 1960 a valores de 39ºC en la actualidad.



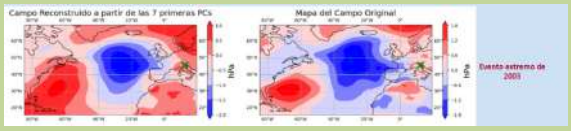
Las anomalías de presión positivas (colores rosados) sobre el Mediterráneo son responsables del aumento de Tmax.

España



El grupo de España analizó la relación entre la temperaturas (izda) y las precipitaciones (drcha) anómalas en verano y los cambios en presión (regresión). Aumentos de presión en el centro de Europa y norte de Africa y bajadas de presión sobre el Atlántico son determinantes

Italia



El grupo de Italia reconstruyó la situación atmosférica del evento de ola de calor de 2003 usando Componentes Principales



El índice CDD (dias secos consecutivos) en verano se relaciona en Italia con un aumento de la presión en el W del Mediterráneo (análisis de regresión.

Portugal

España

Francia

Italia

Grecia

Análisis de los cambios en los eventos extremos en e área mediterránea en simulaciones de alta resolución

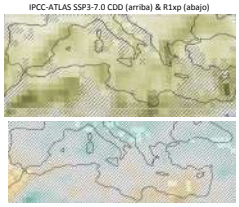
Análisis de Datos en Meteorología
MÁSTER EN METEOROLOGÍA Y GEOFÍSICA

Julio Cuadrado[1], Miguel Hernández[1], Alex Martínez[1], Álvaro Martín-Caro[1], David Rodríguez[1], Elsa Mohino[1], Irene Polo[1], Belén Rodríguez-Fonseca[1,2]

MOTIVACIÓN Y CONTEXTO

- *Los eventos extremos en la región Mediterránea van a aumentar, siendo significativos los relacionados con la temperatura y no tanto con precipitacion (IPCC,2021)*
- *No obstante, reproducir estos eventos es difícil siendo la resolución de los modelos uno de los grandes problemas.*

IPCC-ATLAS SSP3-7.0 CDD (arriba) & R1xp (abajo)



DATOS Y METODOLOGÍA

- Datos del reanálisis ERA5 (Tmin,Tmax) 1990-2020
- MSWEP (Precipitación)
- Simulación Histórica del Modelo IFS (1 miembro)
- Simulación del modelo IFS para proyección futura con escenario SSP3-7.0 (1 miembro) 2020-2050

NextGEMS Earth System Storm Resolving Model

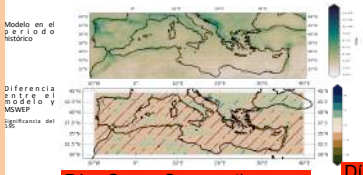
- Malla con resolución de **9km en atmósfera y 5 km en océano**
- Mejor representación de tormentas y eddies

- ***¿Cómo se reproducen los extremos climáticos en los modelos de alta resolución?***
- ***¿Cómo van a cambiar en el futuro?***

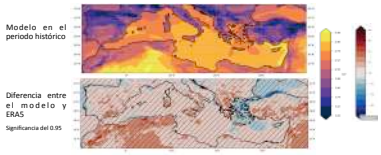
Cambios en la precipitación y las temperaturas

Validacion simulación histórica

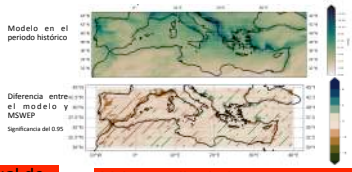
Precipitación diaria media en primavera (MAM)



Temperatura mínima media en verano (JJA)

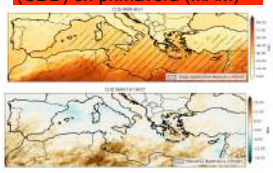


Precipitación diaria media en otoño (SON)

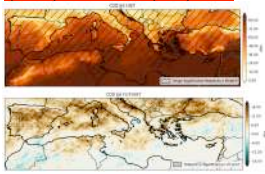


Escenario futuro SSP3-7.0

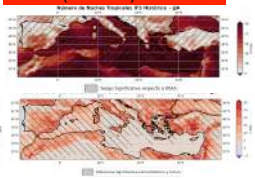
Días Secos Consecutivos (CDD) en primavera (MAM)



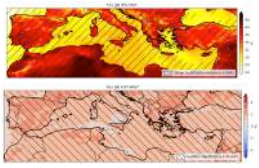
Días Secos Consecutivos (CDD) en verano (JJA)



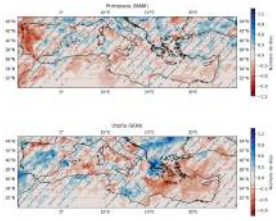
Número medio anual de noches tropicales (T>20ºC)-JJA



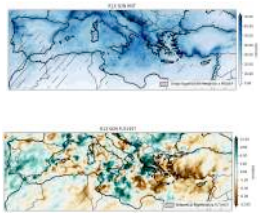
Valor medio de la temperatura máxima de las máximas - JJA



Días por encima del P95 en primavera y otoño

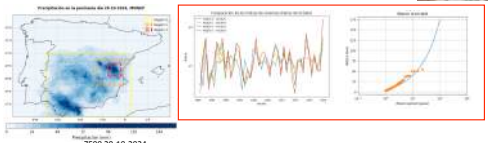


Precipitación máxima diaria (R1X) en otoño (SON)

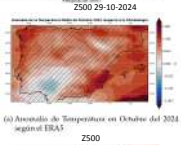


Episodio de la DANA



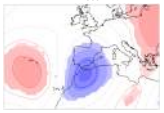


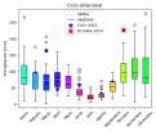
Z500 29-10-2024

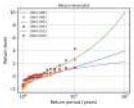


(a) Anomalía de Temperatura en Octubre del 2024 según el ERA5

Z500







El examen de la asignatura de Análisis de Datos consistió en el análisis de la DANA de Valencia de Octubre de 2024. Se reprodujo la información dada por AEMET y se analizaron los valores y periodos de retorno así como la situación anómala que da lugar a este tipo de eventos

CONCLUSIONES:

- Cambio en la temperatura máxima de entre 2 y 3ºC, acorde con el escenario SSP3-7.0 del modelo.
- Aumento significativo en la ocurrencia de noches tropicales.
- Intensificación de las sequías y aumento en la extensión de las regiones afectadas por estas.
- Cambios significativos en las lluvias torrenciales, más acusado en otoño que en primavera (

AGRADECIMIENTOS: Los autores de este trabajo agradecen la financiación del Proyecto del Observatorio del Estudiante nº 19 titulado "Físicas ante la Emergencia Climática y la Crisis Ecosocial", concedido por la Universidad Complutense de Madrid en la 4ª Convocatoria (2024).

REFERENCIAS:

Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Luca, A. D., ... & Allan, R. (2021). Weather and climate extreme events in a changing climate. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Dahe, Q., Dokken, D. J., Ebi, K. L., ... & Midgley, P. M. (2018). IPCC, 2012: summary for policymakers: managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. In Planning for climate change (pp. 111-128). Routledge.

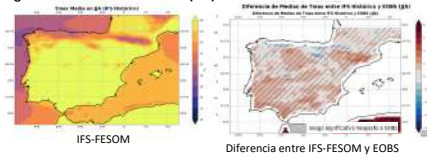
Análisis de los cambios en los eventos extremos en la Península Ibérica en simulaciones de alta resolución

Julio Cuadrado[1], Miguel Hernández[1] , Alex Martínez[1], Álvaro Martín-Caro[1], David Rodríguez[1], Elsa Mohino[1], Irene Polo[1], Belén Rodriguez-Fonseca[1,2]

Uno de los resultados más preocupantes del último informe del IPCC de evaluación de cambio climático (AR6) es el aumento de los episodios extremos, tanto de temperatura como de precipitación en el área mediterránea. Poder simular este tipo de eventos, sobre todo los relacionados con episodios de lluvias extremas, requiere de alta resolución tanto espacial como temporal. El proyecto europeo NextGEMS está construyendo prototipos para una nueva generación de modelos del sistema terrestre que hagan avanzar la ciencia, orienten las políticas y sirvan de base a aplicaciones que apoyen la gestión sostenible de nuestro planeta. NextGEMS es un proyecto financiado por el programa Horizonte 2020 de la UE, que está aprovechando los conocimientos técnicos de catorce naciones europeas para desarrollar dos modelos del sistema Tierra de nueva generación (con capacidad de resolver tormentas). Gracias a los avances en el realismo de las simulaciones, estos modelos permiten comprender y cuantificar cómo cambiará el clima a escala mundial y regional, y cómo será el tiempo, incluidos sus fenómenos extremos, en el futuro. Empleando observaciones, simulaciones históricas y del escenario SSP3-7.0 del model IFS-FESOM (Rackow ert al., 2025) con resolución horizontal de 9km en atmósfera y 5km en océano, se analizan algunos índices de extremos propuestos por el IPCC en España en observaciones, simulaciones históricas y proyecciones, con especial atención en los episodios de precipitación extrema similares a la DANA ocurrida en Valencia el pasado octubre de 2024.

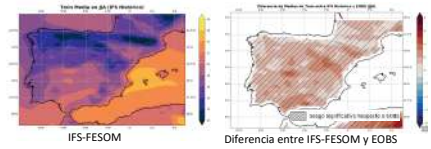
1. Ciclo estacional y Comparativa entre Bases de Datos

Fig 1.1: Tmax media en Verano (JJA)



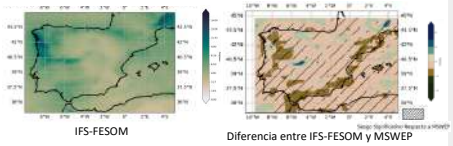
IFS-FESOM — Diferencia entre IFS-FESOM y EOBS

Fig 1.2: Tmin media en Verano (JJA)



IFS-FESOM — Diferencia entre IFS-FESOM y EOBS

Fig 1.3: Precipitación diaria media en Otoño (SON)



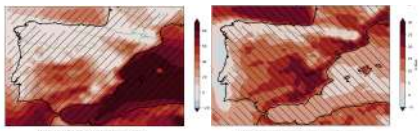
IFS-FESOM — Diferencia entre IFS-FESOM y MSWEP

Figura 1.1: valor medio de la temperatura diaria máxima en verano (JJA)
Figura 1.2: valor medio de la temperatura diaria mínima en verano (JJA).
Figura 1.3: valor medio de la precipitación acumulada diaria en otoño (SON).
Modelo (izquierda) , diferencia con datos observacionales (derecha). Las líneas oblicuas indican puntos donde la diferencia supera el 95% de confianza.

Validación del ciclo estacional del modelo. Comparando con los valores de **temperatura** sobre tierra de EOBS, el modelo tiende a reproducir temperaturas más elevadas en buena parte de la Península, tanto para máximas como para mínimas. Estas diferencias son significativas en prácticamente todo el mapa, indicando que el modelo posee un sesgo respecto a las observaciones. Para la **precipitación**, se compara con la base de datos MSWEP, que combina observaciones de satélite con reanálisis y observaciones, con resolución de 0.1º. Se observa que el modelo tiende a reproducir valores diarios menores en la mayor parte del territorio, siendo estas diferencias especialmente marcadas en parte de Galicia y norte de Portugal así como en la costa mediterránea. Estas diferencias pueden deberse a lluvias torrenciales, que son mejor captadas por las observaciones que por el modelo.

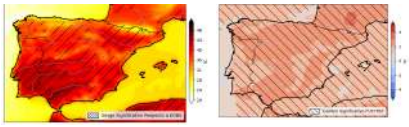
2. Análisis de Índices Extremos: Noches Tropicales, Txx y Períodos de Sequía

Fig 2.1: Noches Tropicales en Verano (JJA)



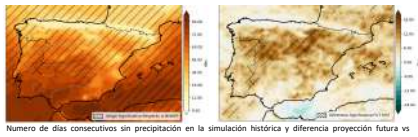
Número de noches tropicales en la simulación histórica y diferencia proyección futura vs histórica, indicando con líneas oblicuas zonas donde la diferencia supera el 95% de significación.

Fig 2.2: Temperatura máxima en verano (JJA)



Valor máximo de las temperaturas máximas en la simulación histórica y diferencia proyección futura vs histórica, indicando con líneas oblicuas zonas donde la diferencia supera el 95% de significación. .

Fig 2.3: Días Secos Consecutivos en Verano (JJA)



Numero de días consecutivos sin precipitación en la simulación histórica y diferencia proyección futura vs histórica, indicando con líneas oblicuas zonas donde la diferencia supera el 95% de significación. .

Evolución de los índices extremos en el escenario SSP3-7.0. En verano se produce un aumento de las noches tropicales (Figura 2.1) en la mitad sureste peninsular. Este índice es de especial relevancia ya que estos eventos aumentan el riesgo de padecer enfermedades cardio-vasculares.

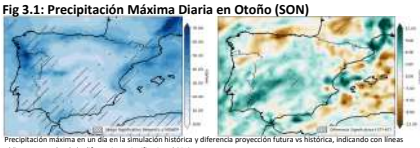
Respecto a la temperatura máxima en verano (Figura 2.2) ocurre un aumento generalizado de en torno a 2-3ºC, lo que aumenta la intensidad de olas de calor en todo el territorio.

El índice CDD (Figura 2.3), muestra un incremento en la duración de las sequías de más de diez días en zonas del Norte peninsular. Esto se traduce en una extensión hacia el Norte de la región con alto riesgo de sequías en verano.

Figuras 2.1, 2.2 y 2.3. Columna izquierda: valor medio del índice para el modelo en el periodo histórico, indicando sesgos significativos al 95% de confianza respecto a las observaciones. Columna derecha: diferencia entre el valor en el periodo futuro e histórico del modelo.

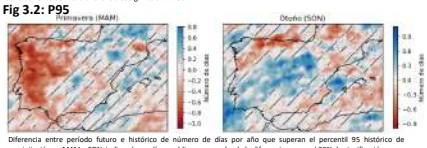
3. Análisis de Índices Extremos: Precipitación Extrema

Fig 3.1: Precipitación Máxima Diaria en Otoño (SON)



Precipitación máxima en un día en la simulación histórica y diferencia proyección futura vs histórica, indicando con líneas oblicuas zonas donde la diferencia es significativa al 95%.

Fig 3.2: P95



Diferencia entre periodo futuro e histórico de número de días por año que superan el percentil 95 histórico de precipitación en MAM y SON, indicando con líneas oblicuas zonas donde la diferencia supera el 95% de significación.

Precipitación Extrema de Otoño. En cuanto a la precipitación extrema, los resultados del modelo muestran en otoño un aumento de la precipitación máxima diaria (Figura 3.1) en la mayor parte de la Península, con disminuciones en el Norte. En concreto, se esperan aumentos en la intensidad de las precipitaciones en la región de Huelva, Valencia y Algarve.

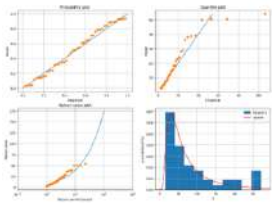
Se estudia a continuación en más detalle la proyección de la precipitación extrema en esta segunda región debido a su conexión con la DANA ocurrida el pasado octubre. La frecuencia de días por encima del percentil 95 del período histórico aumenta en el futuro (Figura 3.2) en las mismas zonas donde aumenta el R1X para la época de otoño. En primavera vemos un descenso general en el Oeste de la península que no es signficativo.

4. Análisis del evento del 29 de octubre de 2024 en valencia y proyecciones de precipitación extrema

Fig 4.1: Precipitación en la Península el día 29/10/2024 (MSWEP)



Fig 4.2: Ajuste y Diagnóstico del índice Rx1D a una distribución GEV



Para analizar las proyecciones de precipitación extrema en Valencia, se analiza la precipitación máxima acumulada diaria en octubre (RX1Day) en la región indicada en la figura 4.1 con una caja roja (municipio de Turís y alrededores), donde los datos de MSWEP muestran valores de precipitación de hasta 120 mm el día 29 de octubre de 2024. Al ajustar el índice a una función GEV (Generalized Extreme Value, figura 4.2), se obtiene un ajuste aceptable, especialmente para los periodos de retorno bajos. Utilizando este resultado se llega a la conclusión de que el periodo de retorno para un evento como el del día 29 de octubre de 2024 en la región (54mm/m2) es de 16 años. Podemos ver en la figura 4.3 el mapa de regresión del índice sobre la anomalía de altura geopotencial a 500hPa, que nos permite asociar este evento extremo a la presencia de una DANA sobre el sur de la península bloqueada entre dos dorsales. Finalmente, en cuanto a la evolución de la precipitación, si calculamos este índice en el modelo para el periodo histórico y futuro, obtenemos un **aumento de la frecuencia de eventos similares para el periodo 2020-2050 respecto al histórico** (figura 4.4).

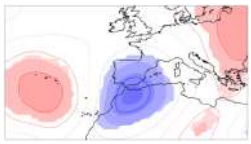


Fig 4.3: Mapa de Regresión entre el índice Rx1D y el campo de Geopotencial a 500hPa



Fig 4.4: Evolución del Valor de Retorno a 16 años y del periodo de retorno para el valor de precipitación del 29 de Octubre en la región estudiada.

5. Conclusión

Los resultados obtenidos con el modelo muestran una proyección a futuro acorde con las del IPCC, esto es, un aumento generalizado de las temperaturas extremas, así como una intensificación en los extremos de precipitación: **lluvias torrenciales más intensas y periodos de sequía más largos.** Estos resultados ponen nuevamente de manifiesto el impacto que puede tener a largo plazo el cambio climático actual en la Península Ibérica. Si bien los extremos analizados en este trabajo ya son un problema de salud pública (ya sea bajo la forma de olas de calor intensas o lluvias torrenciales extremas) los riesgos no hacen más que aumentar en un escenario de bajo compromiso social medioambiental. Resulta entonces evidente la necesidad de medidas de mitigación y adaptación climática que ayuden a la sociedad a paliar los efectos del cambio climático

[1]**Universidad Complutense de Madrid**, Pl. de las Ciencias, 1, Moncloa - Aravaca, 28040 Madrid [2]**Instituto de Geociencias,** IGEO (CSIC-UCM)

Referencias: Rackow et al 2025 Geosci. Model Dev., 18, 33–69, https://doi.org/10.5194/gmd-18-33-2025