



Miembro de la
European
Meteorological
Society



XXXVII Jornadas de la Asociación Meteorológica Española

24.º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología

***Extremos meteorológicos y climáticos:
integrando ciencia, alertas y respuestas***



Fotografía de Nany Lavado Fdez

Málaga del 25 al 27 de febrero 2026

ORGANIZAN



COLABORAN



Ciudad
de Málaga



METEORED

**XXXVII Jornadas de la Asociación
Meteorológica Española y
24.º Encuentro Hispano Luso de Meteorología**

COMPENDIO DE RESÚMENES

(Incluye enlaces a las diapositivas y los vídeos de las presentaciones con VºBº de sus autores)

Málaga del 25 al 27 de febrero de 2026

ÍNDICE

CONFERENCIAS INVITADAS

La Protección Civil en un mundo de *ensembles* (o el precio de la incertidumbre).  

Cambio climático e inundaciones en el Mediterráneo, ¿qué podemos esperar?. 

Monitorización y predicción operativa de extremos meteorológicos.

Predicir los extremos: lo que AIFS y el modelo físico global del IFS a escala kilométrica pueden (y no pueden) hacer.

Riesgos crecientes, ¿seguros eficientes?. 

SESIÓN: Fenómenos extremos meteorológicos y climáticos y sus consecuencias

La tormenta tropical Delta en un clima más cálido: impactos asociados a la transición extratropical.

Atribución mediante *storylines* de los forzantes termodinámicos de escala sinóptica asociados al evento de DANA de octubre de 2024 sobre Valencia, España. 

Reflexiones sobre la estimación de periodos de retorno mediante el método de Gumbel.

Optimización de Sistemas de Alerta Temprana en cuencas torrenciales mediante Modelización Híbrida y Funciones de Pérdida Asimétricas.

DOWNBURST MXO: un servicio de monitorización en tiempo real de reventones en el este de España.

Amplificación del cambio climático antropogénico en la dinámica del sistema convectivo en la catastrófica inundación de Valencia en 2024.

Índice de Peligro de Incendios Forestales de AEMET. 

Condiciones climatológicas y su papel en los incendios forestales del verano 2025.

Inundaciones costeras y criticalidad: un modelo de conectividad para la evaluación del riesgo climático.

¿Cómo afecta el calentamiento global a las precipitaciones de granizo más extremas?

DANAS en clima presente y futuro: *downscaling* híbrido con *machine learning* y modelos regionales de alta resolución.


Vientos fuertes por ondas de gravedad en el litoral de Cádiz.

Estudio comparativo de datos observacionales y reanálisis climáticos para eventos de precipitaciones extremas en la cuenca mediterránea española.


Índice de intensidad potencial: un indicador de la probabilidad de fenómenos extremos.

Evidencias emergentes de la influencia del deshielo de la capa de hielo de Groenlandia en los recientes récords de calor y de tormentas convectivas en la región euro-mediterránea.

Verificación de la predicción estacional regionalizada de extremos meteorológicos en la península Ibérica. 

Impactos de los eventos meteorológicos extremos en el sector energético: de Filomena a los incendios de 2025. 

[Pósteres](#)

Probable relación entre el comportamiento de los incendios forestales en agosto de 2025 en el noroeste de la península Ibérica y las ondas de montaña. 

Influência das Condições Meteorológicas e Climáticas Extremas nos Grandes Incêndios em Portugal.

Análisis de las características de las olas de calor en el norte de África.

Avaliação de Eventos Extremos de Precipitação-Escoamento através da Integração de Sistemas de Monitorização, Análise SIG e Modelação Hidrológica.

Un derecho mediterráneo.

Modelización de la precipitación andaluza a ultra alta resolución espacial.

Índices de peligrosidad de incendios forestales en Castilla y León: integración de técnicas de *Machine Learning*.

SESIÓN: Análisis y predicción del tiempo

La necesidad de integrar la información histórica (meteorológica, fenológica marina y oceanográfica) para poder mejorar las actuales predicciones relativas a los mares españoles.

Modelo predictivo de humedad del suelo basado en datos meteorológicos y sondas de humedad. Aplicación en entornos mediterráneos.

Situaciones meteorológicas que provocan operaciones frustradas en el aeropuerto de Madrid-Barajas. 

Tiempo, caos y modelos: prediciendo la incertidumbre en AEMET. 

¿Por qué fue tan incierto el pronóstico de Leslie durante su transición extratropical? Evidencia de una influencia remota de Michael.

Modelos híbridos hidrológicos basados en LSTM y simuladores físicos.

Predicción de la velocidad de movimiento de supercélulas en España mediante la aproximación de Bunkers.

Caracterización de diferentes modos convectivos en España mediante distribuciones de índices obtenidos a partir del análisis operativo de HARMONIE-AROME. 

Características principales de IBERA, Reanálisis Ibérico.

Mejoras en la predicción de tormentas convectivas de alto impacto en simulaciones sub-kilométricas con el modelo HARMONIE-AROME.

Predicción probabilística de tormentas mediante *Machine Learning*.

IBERA-Land: Surface reanalysis of precipitation and extreme temperatures. 

¿Pueden las técnicas de regionalización estadística mejorar la pericia de la simulación de la precipitación intensa a escala estacional?

Verificación espacial de la precipitación del reanálisis regional IBERA.


Comparación de enfoques de anidamiento en HARMONIE-AROME para la simulación del múltiple evento supercelular del 31 de julio de 2015 en el este peninsular.

Pósteres

Verificación de parametrizaciones microfísicas del WRF con datos observacionales GPM-DPR: casos de estudio de granizadas en Francia meridional (2014–2018).

Predicción de viento a muy alta resolución combinando NWP y *Deep Learning*. 

SESIÓN: Aplicaciones y servicios

Combinando conocimientos de predicciones y proyecciones climáticas para incrementar la resiliencia del sector energético español frente a la variabilidad y el cambio climático. El proyecto BOREAS. 


Ayuda a la planificación de los vuelos con Unmanned Aerial System (UAS) a partir de modelos de predicción meteorológicos específicos.

Predicción estacional de índices climáticos combinando modelos dinámicos y métodos estadísticos.

De la Ciencia a la Operatividad: Servicios Climáticos de Predicción Estacional de Tragsatec para AEMET.

Serviço Meteorológico Português: Passado, Presente e Desafios Futuros.

The AgroClima and DataClima platforms: a user-friendly and interactive way to access climatic and agroclimatic data in Portugal. 

Modelización de zonas propensas a los aludes en la sierra de Guadarrama. 

Modelización de la formación de estelas producida por tráfico aéreo.

Riesgos climáticos en sistemas eléctricos aislados: el impacto del polvo sahariano en la generación fotovoltaica en Canarias.

La nueva generación de escenarios de cambio climático nacionales Escenarios PNACC y el visor de AdapteCCa.

Análisis meteorológico de eventos de estrés en el sistema eléctrico español a partir de simulaciones con PyPSA.

Póster

La Plataforma Estatal de Servicios Climáticos de la AEMET y el CSIC.

SESIÓN: Aspectos económicos y sociales

La formación en predicción meteorológica. Pasado, presente y futuro. 

Seguridad, riesgo y vulnerabilidad. El caso del cierre del Parque del Retiro de Madrid en verano. 

SESIÓN: Observación

Mejorando la comprensión y predicción de brisas marinas. 

COCCON-España. Hacia un Sistema Integrado para la Observación de GEI. 

Evaluación de la deposición de polvo en Murcia mediante observaciones corregidas y modelos MERRA-2, CAMS y MONARCH.

Meteo-Dron: un nuevo dron de bajo coste para la monitorización meteorológica y fenómenos de tiempo severo.

Caracterización de los vientos de valle nocturnos a partir de una campaña observacional de un año en el valle de Aure (Francia).

RBCC-E (2003–2025): dos décadas de calibración Brewer y retos para el futuro de la medida de ozono. 

Póster

Calibración exterior de piranómetros en el IPMA de acuerdo con la Norma ISO 9847:1992.

SESIÓN: Procesos físicos

Las lluvias torrenciales del 29 de octubre de 2024: interrogantes y propuestas.


Mecanismos dinámicos y termodinámicos de la transición tropical del huracán Ophelia (2017).


Caracterización de las circulaciones forzadas por diferencias térmicas superficiales y su interacción con la isla de calor urbana en Madrid.

Influencia de la meteorología sinóptica, transporte atmosférico y estructura vertical sobre el ozono troposférico en Belgrano II, Antártida occidental. 

Configuración sinóptica y efectos locales de la brisa marina en el golfo de Cádiz.

Sobre el impacto del balance de energía superficial urbano (SEB) evaluado mediante un gemelo digital CFD a escala distrital. 

Influencia de las circulaciones mesoescalares forzadas térmicamente en la capa límite urbana y la calidad del aire en la ciudad de Madrid. 

Interacciones multiescalares entre la estructura urbana y la atmósfera en el contexto de cambio climático (MULTIURBAN-I). 

Póster

Análisis Comparativo de Dos Sistemas Tropicales con Impacto en las Islas Canarias.

SESIÓN: Sistemas operativos de vigilancia, predicción, avisos y alertas tempranas. Mecanismos de respuesta.

Hacia una necesaria reformulación de los avisos y alertas por fenómenos atmosféricos extremos.


Sensibilidad de la previsión operativa del modelo WRF a la inicialización con AIFS: caso de estudio de las implicaciones durante tormentas de alto impacto que afectaron a España en 2025.

¿Anticipan los avisos meteorológicos tradicionales los impactos locales?. 

Sistema de predicción en tiempo real de la contaminación por municipios en la Región de Murcia.

El sistema Meteoalerta de avisos meteorológicos. Reflexiones y propuestas para una mayor efectividad.

Anemoi: desarrollo del modelo de predicción meteorológica con Inteligencia Artificial en AEMET. Evolución, primeros resultados y comportamiento en eventos extremos. 


El proyecto DEODE (Gemelos Digitales bajo demanda orientados a extremos): estado actual y contribución de AEMET. 

Aprendizaje profundo aplicado a imágenes radar para *nowcasting* de precipitación. 

Póster

Urban Heat Island Intensity and Thermal Extremes in Lisbon: Observational Insights for Urban Climate. Adaptation.

SESIÓN: Variabilidad y cambio climáticos

El Pantanal bajo una presión creciente de sequía: análisis histórico y futuro de la duración y severidad de las sequías. 

Estudio de tendencias de precipitación en España desde 1950.

Modelización climática en AEMET: contribuciones a modelos, predicciones y proyecciones climáticas. 

Caracterización del viento en superficie a partir del conjunto de modelos regionales de clima de Euro-CORDEX forzados con ERA5 (1980-2020).


Modelado de Alta resolución para Resolver los Sistemas de Afloramientos costeros: pasado, presente y futuro (ARSA).

Tendências de Longo Prazo nos Índices e Descritores de Seca na África Austral.

Regionalización de escenarios de cambio climático para las principales variables climáticas, parte I: evaluación y metodologías novedosas de aprendizaje profundo.

Regionalización de escenarios de cambio climático para las principales variables climáticas, parte II: aplicación a predicción estacional.

La energía fotovoltaica en la península Ibérica bajo escenarios de inyección de aerosoles de azufre en la estratosfera. 

Proporcionando información de impactos del cambio climático para adaptación en zonas de orografía compleja: la iniciativa CIMAS. 


Predicción de aportaciones a embalses en España a través de modelos climáticos de proyecciones de precipitación regionalizadas del CMIP6.

Predictibilidad de las teleconexiones oceánicas que modulan el clima del Atlántico Norte en invierno temprano mediante *deep learning*. 

Clasificación de patrones meteorológicos asociados a grandes incendios forestales. 

Tendencias pasadas, presentes y futuras de la radiación solar en superficie en Europa: Evaluación multifuente.

Pósteres

Proyección del régimen pluviométrico futuro en localidades costeras del noreste de la Península Ibérica bajo escenarios de cambio climático. 

Análisis multiescalar de las sequías en el noroeste de África y su relación con Índices de Teleconexión.

Patrones Espacio-Temporales del Peligro de Sequía Compuesta en el Norte de África: Un enfoque de tipologías basado en múltiples índices.

Emulación climática para predicciones decenales mediante “autoencoders” variacionales.

Pseudo-proyecciones climáticas de la precipitación en Andalucía a muy alta resolución espacial.

EC-EARTH4: Nueva versión del modelo climático global europeo.

Estimación de las tendencias del vapor de agua en la troposfera de Tenerife entre 1999 y 2024 basada en radiosondeos. Correlación con índices climáticos.

Evolución de los días de helada en España desde 1951. 

Forzamientos y predictibilidad estacional de la primavera de 2025 en la península Ibérica. 

Evolución de ambientes que favorecen el desarrollo de transiciones tropicales en el Atlántico Norte bajo la influencia de distintos escenarios de cambio climático.

La Protección Civil en un mundo de “ensembles” (o el precio de la incertidumbre)

Civil Protection in a world of ensembles (or the price of uncertainty)

A. García Hernández

Dirección General de Emergencias, Protección Civil y Lucha contra los Incendios Forestales.
Agencia de Emergencias de Andalucía

RESUMEN

La consecución de los objetivos de la protección civil requiere el desarrollo y ejecución de cinco acciones: previsión de los peligros que puedan ocurrir en cada punto del territorio, prevención de los daños que pueden provocar, planificación de las acciones de respuesta requeridas, intervención para minimizar y/o controlar los efectos cuando se manifieste el peligro y restauración de los servicios afectados. La Protección Civil hace frente a todo tipo de emergencias que puedan afectar a la población, pero cobran especial relevancia, por la gravedad de sus consecuencias y por la frecuencia con la que acontecen, dos tipos de peligros: los incendios forestales y las inundaciones. Ambas emergencias requieren una respuesta radicalmente distinta dada su propia naturaleza: mientras los efectos de las inundaciones sobre la población dependen fundamentalmente de la capacidad de aplicar las previsiones meteorológicas al territorio para minimizar su impacto, (y una vez que acontece, la respuesta es de limpieza); los incendios forestales son eventos dinámicos que evolucionan por la interacción del territorio con la meteorología durante todas las fases de su desarrollo, de manera que la observación y previsión meteorológicas a medio y corto plazo, hacia el pasado y hacia el futuro, a gran y a pequeña escala, y en superficie pero también en altura, cobran una importancia vital. Precisamente los efectos y frecuencia de tales emergencias a nivel global han permitido el desarrollo de toda una ciencia aplicada que las estudia tratando de minimizar su impacto mediante la comprensión de los fenómenos. Física de la atmósfera, botánica, geología, edafología, geografía, biología, geoestadística, ingeniería, etc. Se integran al más alto nivel de desarrollo científico actual con el objetivo de reducir la incertidumbre sobre el escenario en el que los gestores de la emergencia toman decisiones para proporcionar una respuesta eficiente y segura para la población y para el propio operativo. El punto de desarrollo actual es tal que la incorporación de especialistas (meteorólogos) especializados en emergencias es una realidad en distintos países del mundo, y un campo de especialización pendiente de desarrollar en España al que las organizaciones de Protección Civil estamos deseando dar la bienvenida.

Cambio climático e inundaciones en el Mediterráneo, ¿qué podemos esperar?

Climate change and flooding in the Mediterranean: what can we expect?

M.C. Llasat

Depto. Física Aplicada, Universitat de Barcelona

RESUMEN

El estudio más reconocido sobre tendencias de las crecidas fluviales en Europa ([1]) muestra, mayoritariamente, una tendencia negativa de las mismas en el sur del continente. Este resultado contrasta con las tendencias positivas observadas en las precipitaciones extremas diarias en gran parte de la región Mediterránea ([2]), así como en los impactos económicos de las inundaciones. Para responder a esta aparente falta de coherencia es necesario recurrir a una visión integral del riesgo de inundaciones. Así, el estudio de Blöschl et al. ([1]) no entra en el análisis de las inundaciones súbitas, conocidas como “flash-floods”, que son las que más frecuentemente afectan la región Mediterránea, principalmente la parte costera. Y hasta hace poco no era posible disponer de las tendencias de las precipitaciones subdiarias e, incluso, subhorarias, de una forma generalizada, siendo en muchas ocasiones las responsables de las inundaciones súbitas. De hecho, existen estudios recientes que muestran un aumento de las precipitaciones convectivas intensas (p.ej. [3]). A los factores que afectan la peligrosidad, como también lo son los estados de humedad del suelo o los cambios de vegetación en la cuenca, hay que añadir cambios en la exposición que van a influir en el impacto económico, y cambios de vulnerabilidad, como puede ser la gestión de la emergencia, responsable en muchas ocasiones de una gran parte de las pérdidas humanas. Todo ello hace que la proyección en el futuro sea altamente complicada, más aún si se tiene en cuenta la no estacionariedad. El informe MAR1 sobre el cambio climático y ambiental en el Mediterráneo ([4]) apuntaba a un futuro aumento de las precipitaciones intensas, más marcado en la parte norte de la cuenca que en la sur, pero todavía era difícil apostar por una tendencia en las inundaciones súbitas. El reciente desarrollo de los CPMs (*convection-permitting regional climate models*) ha permitido modelizar la precipitación convectiva en escenarios futuros y alimentar a modelos hidrológicos mostrando que la respuesta de las inundaciones moderadas y de las extremas puede ser muy diferente ([5]). Todos estos aspectos van a ser tratados en esta comunicación, con el objetivo de mostrar el estado del arte sobre las tendencias presentes y futuras de las inundaciones.

Referencias:

- [1] Blöschl, G. et al. (2019). *Nature*, 573(7772), 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
- [2] Tramblay, Y. et al. (2021). *La Houille Blanche*, 107:1, 1-5. <https://doi.org/10.1080/00186368.2021.1912971>
- [3] Llasat, M.C. et al. (2021). *Atmos. Res.*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105581>
- [4] MedECC (2020). *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future*.
- [5] Poncet, N. et al. (2024). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 24, 1163–1183, 2024. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-1163-2024>

Monitorización y predicción operativa de fenómenos extremos en AEMET: capacidades actuales y evolución 2025-2029

Operational monitoring and forecasting of Extreme Weather Events at AEMET: current capabilities and evolution 2025–2029

J. Rey Vidaurrezaga

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

La predicción operativa de fenómenos meteorológicos extremos constituye uno de los principales retos actuales para los servicios meteorológicos nacionales, en un contexto de aumento en su frecuencia e intensidad, así como de creciente exposición de la población y de las actividades económicas. La ponencia ofrecerá una visión integrada de las capacidades actuales de AEMET en la monitorización y predicción de extremos. Asimismo, se expondrán las principales líneas de evolución previstas para el periodo 2025–2029, entre ellas la modernización de la red radar y de estaciones automáticas, el refuerzo de la explotación avanzada del dato y la incorporación de herramientas de postproceso e inteligencia artificial. También se analizará la progresiva orientación de los avisos hacia un enfoque más centrado en el impacto. El objetivo es mostrar cómo la mejora continua en observación, modelización y procedimientos operativos contribuye a reforzar la capacidad de anticipación frente a fenómenos extremos en un clima cambiante.

Predecir los extremos: lo que AIFS y el modelo físico global del IFS a escala kilométrica pueden (y no pueden) hacer

Forecasting the extremes: what AIFS and the physics-based km-scale global IFS model can (and can't) do

E. Gascón Salvador

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

RESUMEN

La predicción precisa de fenómenos meteorológicos severos nunca ha sido tan crítica, ya que la frecuencia y la intensidad de los extremos continúan aumentando en un clima cambiante. Los recientes avances en inteligencia artificial han transformado el panorama de la predicción meteorológica, demostrando una notable habilidad y eficiencia computacional en las previsiones a corto y medio plazo, al aumentar la predictabilidad y reducir la variabilidad abrupta entre ciclos de predicción. No obstante, los modelos globales basados en la física siguen siendo esenciales para garantizar la interpretabilidad y la robustez de las previsiones, especialmente cuando se trata de eventos extremos raros y de alto impacto, en los que los procesos físicos deben estar representados con precisión. En este contexto, AIFS (el modelo global de inteligencia artificial del ECMWF) ha mostrado mejoras claras en la habilidad predictiva de las condiciones sinópticas y de las variables de superficie en comparación con el modelo físico IFS del ECMWF. Pero ¿se extienden estas mejoras también a la predicción de fenómenos extremos? ¿O siguen siendo la alta resolución horizontal y la representación explícita de los procesos físicos factores más determinantes para predecir con precisión eventos severos? Esta presentación aborda estas cuestiones mediante la comparación entre AIFS y el modelo experimental del IFS a 4.4 km de resolución horizontal en su capacidad para predecir extremos de precipitación acumulada en 24 h, viento a 10 m y temperatura a 2 m en las regiones extratropicales del Hemisferio Norte. El análisis se centra en el valor añadido y las limitaciones de cada sistema, con el objetivo de orientar a los usuarios sobre qué enfoque ofrece un mejor rendimiento bajo distintos escenarios de extremos y cómo las predicciones basadas en inteligencia artificial y en física pueden complementarse entre sí. La evaluación utiliza el marco de “scorecards for extremes” para cuantificar el modelo de IFS a mayor resolución y del enfoque determinista de AIFS en la predicción de eventos severos, en comparación con las previsiones operativas del IFS a 9 km (ciclo de modelo 49r1). Los extremos se definen tanto mediante percentiles basados en la climatología de estaciones SYNOP como mediante umbrales fijos, lo que permite una identificación coherente de eventos raros en todos los modelos. La habilidad predictiva se evalúa para múltiples plazos de predicción, estaciones del año y tipos de orografía (terreno llano y montañoso), e incluye estudios de casos seleccionados para ilustrar el comportamiento de los modelos en eventos extremos específicos.

Riesgos crecientes, ¿seguros eficientes?

Increasing risks, efficient insurance?

F. Espejo

Consorcio de Compensación de Seguros

RESUMEN

El contexto actual, donde concurren un aumento inaudito de los bienes y personas expuestos y una exacerbación de los peligros como consecuencia de la crisis climática, hace que el riesgo y, consecuentemente, los daños catastróficos, estén aumentando. El seguro es, sin duda, una de las mejores formas de reducir la vulnerabilidad económica y hacer frente a los daños, pero el aumento de los daños está comprometiendo la asegurabilidad en muchos países. Este estudio abordará el problema que se plantean los seguros catastróficos, el difícil equilibrio entre oferta, asequibilidad y reducción del riesgo físico, y el enfoque español al problema.

La tormenta tropical DELTA en un clima más cálido: impactos asociados a la transición extratropical

Tropical storm DELTA in a warmer climate: impacts associated with the extratropical transition

P. Gómez-Plasencia (1), E.J. Rodríguez-Acosta (1), J.J. González-Alemán (2), C. Calvo-Sancho (3), P. Bolgiani (4), J. Díaz Fernández (1,2), Y. Luna (2), A. Montoro Mendoza (1,2,5), M.L. Martín (1), I. Gómara (1)

(1) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática de Segovia, Universidad de Valladolid, Segovia. (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (3) Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CIDE, CSIC-UV-GVA), Laboratorio de Clima, Atmósfera y Océano (CLIMATOC-LAB), Valencia. (4) Depto. de Física de la Tierra y Astrofísica. Universidad Complutense de Madrid. (5) Consejo Superior de Investigaciones Científicas

RESUMEN

El objetivo del trabajo es analizar la influencia de temperaturas de la superficie del mar (SSTs) más cálidas, características de un clima futuro debido al cambio climático antropogénico en la dinámica de la tormenta tropical (TC) Delta, su transición extratropical y en sus impactos asociados. El análisis se lleva a cabo considerando dos simulaciones de la tormenta realizadas con el modelo de alta resolución HARMONIE-AROME: una simulación de control con condiciones iniciales y de contorno del reanálisis ERA5, y una simulación cálida en la que a las SSTs se les añade una perturbación uniforme de +2° C. Los resultados muestran un ciclón más profundo e intenso que alcanza la categoría de huracán en el escenario más cálido. La transición extratropical de Delta se torna en un fenómeno mucho más severo, con un impacto significativamente mayor sobre el archipiélago canario, en forma de precipitación y especialmente debido a sus fuertes vientos. Estos resultados son particularmente relevantes para la región de Europa occidental, donde el número de sistemas tormentosos con características tropicales llegando a la zona y experimentando una transición extratropical podría verse incrementado en el futuro debido al cambio climático antropogénico.

Atribución mediante “storylines” de los forzantes termodinámicos de escala sinóptica asociados al evento de DANA de octubre de 2024 sobre Valencia, España

Storyline attribution of the synoptic-scale thermodynamic drivers associated with the October 2024 DANA event over Valencia, Spain

D. Campos (1), K. Grayson (1), R. Saurral (1), S. Beyer (2), A. John (2), M. Olmo (1), F. Doblas-Reyes (1)

(1) Barcelona Supercomputing Center (BSC). (2) Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)

RESUMEN

A finales de octubre de 2024, la región del Mediterráneo occidental (WMed) experimentó un episodio de precipitación extrema (EPE) centrado en Valencia, en el sureste de España, asociado a una baja aislada en niveles altos (DANA) cuasiestacionaria, que produjo precipitaciones récord, inundaciones repentinas y graves impactos sociales. La DANA generó una pluma de humedad similar a un río atmosférico procedente del noroeste de África, mientras que humedad adicional tuvo su origen en el cálido mar Mediterráneo. La interacción de estos flujos de humedad con la orografía regional creó un entorno altamente inestable, lo que favoreció la convección profunda y las precipitaciones locales intensas. Para evaluar la influencia del cambio climático antropogénico, analizamos simulaciones “storyline” de alta resolución (~9 km) del programa Destination Earth de la Unión Europea, utilizando el modelo acoplado IFS-FESOM con “nudging” espectral a ERA5. Se comparan dos escenarios climáticos: Factual (clima actual) y Contrafactual (~1950), aislando las respuestas termodinámicas mientras se mantiene fija la circulación a gran escala. Conjuntos de datos de largo plazo de IFS-FESOM y ERA5 proporcionan una referencia climatológica para evaluar la extremidad del evento. Los resultados muestran que la configuración sinóptica por sí sola fue suficiente para producir precipitaciones extremas, pero que el calentamiento inducido por el ser humano incrementó sustancialmente su magnitud. El contenido y el transporte de humedad aumentaron, entre un 18 % y un 24 %, el potencial convectivo (CAPE) en torno a un 25 %, y la precipitación sobre Valencia se incrementó aproximadamente un 20 % en el escenario Factual. Las temperaturas de la superficie del mar en el Mediterráneo occidental fueron alrededor de 2 °C más cálidas, lo que amplificó la evaporación. Las tasas máximas de precipitación mostraron una amplificación no lineal; el 29 de octubre fueron aproximadamente un 36 % mayores en el escenario Factual, superando el escalamiento de Clausius–Clapeyron (CC) esperado a partir del calentamiento medio entre los escenarios. Estos resultados indican que el calentamiento antropogénico puede intensificar los EPEs en el Mediterráneo occidental, incluso cuando los forzantes sinópticos por sí solos ya generan precipitaciones extremas, lo que destaca la amplificación termodinámica como un mecanismo clave en los episodios de inundaciones mediterráneas. Las simulaciones “storyline” de alta resolución y físicamente consistentes ofrecen un marco robusto para la atribución basada en eventos y mejoran la comprensión de los riesgos climáticos futuros en regiones costeras vulnerables.

Reflexiones sobre la estimación de periodos de retorno mediante el método de Gumbel

Reflections on estimating return periods using the Gumbel method

J. Molina, J.D. Ruiz Sinoga, J.A. Sillero

Universidad de Málaga

RESUMEN

La estimación del período de retorno de precipitaciones extremas constituye un elemento fundamental en el diseño de infraestructuras hidráulicas y en la gestión del riesgo hidrológico. Tradicionalmente, el método de Gumbel, basado en la distribución de valores extremos tipo I, ha sido ampliamente utilizado para este propósito. Sin embargo, este enfoque descansa sobre dos supuestos críticos: la estacionariedad de la serie temporal y la rareza de los eventos extremos. Ambos supuestos se ven comprometidos en el contexto actual de cambio climático, caracterizado por un incremento en la frecuencia e intensidad de lluvias extremas. En este trabajo se analiza la sensibilidad del método de Gumbel frente a la inclusión de eventos anómalamente grandes en la serie de máximos anuales. Mediante experimentos con datos sintéticos y observacionales se demuestra que la incorporación de un único valor extremo altera significativamente los parámetros de la distribución (α y β), modificando de forma sustancial las estimaciones de períodos de retorno para diferentes cuantiles. Este comportamiento evidencia una marcada inestabilidad estadística, que se traduce en una pérdida de fiabilidad para la toma de decisiones en ingeniería y planificación territorial. La problemática se agrava bajo condiciones de no estacionariedad, donde la hipótesis de invariabilidad temporal de la distribución deja de ser válida. En escenarios futuros, la mayor frecuencia de precipitaciones extremas implica que los métodos clásicos no solo son inestables, sino también conceptualmente inapropiados. Por ello, se plantea la necesidad de adoptar enfoques alternativos que incorporen robustez frente a valores atípicos y permitan modelar la evolución temporal de los parámetros. Entre las alternativas discutidas se incluyen: (i) el uso de distribuciones generalizadas de valores extremos (GEV) con estimación mediante L-moments, menos sensibles a "outliers"; (ii) modelos no estacionarios que vinculen los parámetros de la distribución a covariables climáticas; y (iii) métodos basados en Peaks Over Threshold (POT) con distribución Generalizada de Pareto, que aprovechan información más completa sobre eventos extremos. Asimismo, se destaca la utilidad de técnicas bayesianas y de simulación para cuantificar la incertidumbre y mejorar la interpretación de resultados. Los hallazgos presentados subrayan la urgencia de revisar los procedimientos normativos vigentes y avanzar hacia metodologías adaptativas que reflejen la realidad climática emergente. La persistencia en el uso de herramientas inadecuadas puede conducir a errores significativos en la estimación del riesgo, con consecuencias económicas y sociales relevantes. Este trabajo contribuye a la discusión sobre la actualización de los métodos de cálculo del período de retorno, proponiendo líneas de investigación orientadas a la resiliencia y la sostenibilidad en la gestión del agua.

Optimización de Sistemas de Alerta temprana en cuencas torrenciales mediante Modelización Híbrida y Funciones de Pérdida Asimétricas

Optimization of Early Warning Systems in torrential catchments through Hybrid Modeling and Asymmetric Loss Functions

J. Molina (1), A. Elordi Zamora (2), J.A. Sillero (1), J.D. Ruiz Sinoga (1)

(1) Universidad de Málaga. (2) Universidad de Málaga - Programa de Doctorado de Economía y Empresa

RESUMEN

La creciente frecuencia de eventos meteorológicos extremos exige una evolución en los sistemas de predicción hidrológica hacia modelos que prioricen la utilidad operativa en la gestión de emergencias. En cuencas de respuesta rápida, la marcada no-linealidad de la relación lluvia-escorrentía y la variabilidad en la saturación del suelo representan desafíos críticos para los sistemas de vigilancia tradicionales. Este trabajo presenta un modelo hidrológico híbrido diseñado específicamente para la alerta temprana. La arquitectura integra principios físicos de escorrentía con técnicas de optimización no lineal. La innovación reside en el uso de funciones de activación tipo "softplus" para modelizar la ganancia dinámica de la cuenca. Esta aproximación permite representar de manera continua el comportamiento de "umbral" de las cuencas torrenciales, donde la respuesta hidrológica se activa de forma explosiva solo tras alcanzar un estado crítico de saturación, estimado mediante el Índice de Precipitación Antecedente (API). Para garantizar la robustez del ajuste en un espacio de soluciones altamente no lineal, se implementó un algoritmo de búsqueda heurística calibrado por fases. En una etapa inicial, el procedimiento optimiza el Error Absoluto Medio (MAE) para converger hacia una solución base que capture con fidelidad la dinámica general de la cuenca. Una vez obtenida esta solución robusta, se introduce una Función de Pérdida Asimétrica que evalúa el rendimiento del modelo respecto a un umbral crítico de alarma predefinido. En esta fase se aplica una penalización reforzada sobre los Falsos Negativos, definidos como aquellos episodios donde el nivel real supera dicho umbral pero la predicción del modelo permanece por debajo del mismo. Los resultados obtenidos en cuencas de la vertiente mediterránea demuestran que, mediante este compromiso (trade-off), es posible sesgar el modelo hacia el lado de la seguridad sin degradar significativamente la precisión general. A modo de prueba, este modelo ha sido aplicado a los ríos Hozgarganta, Almanzora, Trevélez y Guadalhorce, utilizando datos de la Red SAIH Hidrosur entre 2011 y 2025. En las fases de validación, la metodología logró eliminar el error absoluto en escenarios de riesgo de falso negativo, asegurando que las predicciones no subestimen el nivel real cuando se aproxima al umbral de peligro. Este enfoque ofrece a los responsables de gestión de riesgos una herramienta operativamente fiable que prioriza la robustez de la alerta frente a la incertidumbre de los eventos extremos.

DOWNBURST MXO: un servicio de monitorización en tiempo real de reventones en el este de España

The DOWNBURST MXO: a real-time downburst monitoring service in eastern Spain

C. Azorin-Molina (1), C. Calvo-Sancho (1), F. Granell (1), J. Gómez-Reyes (1), A. Barrio-Martín (1), N.P. Plaza-Martín (1), M. Martínez-Roig (1), A. Prein (2), S.M. Vicente-Serrano (3), L. Gimeno (4), R. Nieto (4), D. Chen (5), T.R. McVicar (6), Z. Zeng (7), A. Pirooz (7), J.J. González-Alemán (9)

(1) Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CIDE, CSIC-UV-GVA), Laboratorio de Clima, Atmósfera y Océano (CLIMATOC-LAB), Valencia, España. (2) Institute of Atmospheric and Climate Science, ETH Zurich, Switzerland. (3) Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IPE-CSIC), España. (4) Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo, Environmental Physics Laboratory (EPhysLab), Ourense, España. (5) Department of Earth System Science, Tsinghua University, Beijing, People's Republic of China (6) CSIRO Environment, Canberra, Australia. (7) School of Environmental Science and Engineering, Southern University of Science and Technology Shenzhen China. (8) National Institute of Water and Atmospheric Research, Auckland, New Zealand. (9) Depto. Desarrollo y Aplicaciones, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), España

RESUMEN

En los últimos años se han documentado cambios en la intensidad y la frecuencia de la ciclogénesis tropical debido al Cambio Climático Antropogénico (ACC), aunque existe incertidumbre al respecto. Este trabajo analiza los ambientes que facilitan el desarrollo de transiciones tropicales (TT) en el Atlántico Norte en otoño, dado que la mayoría de los ciclones que alcanzan Europa originados a partir de TTs ocurren en esta estación del año. Para ello, se han calculado y comparado climatologías de parámetros relacionados con TTs en distintos períodos con el fin de evaluar la influencia del ACC. Se emplean varios modelos climáticos del CMIP6 bajo los escenarios histórico, SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para el período 1981–2100, utilizando el reanálisis ERA5 como referencia para respaldar los resultados. Los resultados muestran una progresiva tropicalización de la zona de estudio bajo ambos escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, más intensa en este último, lo cual resulta especialmente relevante, ya que los ciclones tropicales se encuentran entre los desastres naturales más devastadores a nivel global, suponiendo un riesgo creciente para regiones como Europa Occidental.

Amplificación del cambio climático antropogénico en la dinámica del sistema convectivo en la catastrófica inundación de Valencia en 2024

Human-induced climate change amplification on storm dynamics in Valencia's 2024 catastrophic flash flood

C. Calvo-Sancho (1,2), J. Díaz-Fernández (1), J.J. González-Alemán (3), A. Halifa-Marín (4,5), M.M. Miglietta (6), C. Azorin-Molina (2), A. F. Prein (7), A. Montoro-Mendoza (1,3,8), P. Bolgiani (9), A. Morata (3), M.L. Martín (1)

(1) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática de Segovia, Universidad de Valladolid, Segovia, España. (2) Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CIDE, CSIC-UV-GVA), Laboratorio de Clima, Atmósfera y Océano (CLIMATOC-LAB), Valencia, España. (3) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (4) Instituto Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IPE-CSIC), Zaragoza, Spain. (5) Laboratorio de Climatología y Servicios Climáticos (LCSC), CSIC-Universidad de Zaragoza, España. (6) National Research Council of Italy, Institute of Atmospheric Sciences and Climate (CNR-ISAC), Padua, Italy. (7) Institute of Atmospheric and Climate Science, ETH Zurich, Zurich, Switzerland. (8) Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España. (9) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica. Universidad Complutense de Madrid, España

RESUMEN

Global warming alters the hydrological cycle, increasing heavy rainfall events worldwide. In October 2024, Valencia (Spain) experienced rainfall accumulations in a few hours surpassing annual averages (771.8 mm in 16 hours in the official weather station at Turís) and breaking the record for one hour rainfall accumulation in Spain (184.6 mm), resulting in 230 fatalities. Here, we present a physical-based attribution study employing a km-scale pseudo-global warming storyline approach to assess the contribution of anthropogenic climate change. We show that present-day conditions led to a 20% °C⁻¹ increase in 1-hour rainfall intensity, exceeding Clausius-Clapeyron scaling. This intensification was driven by enhanced atmospheric moisture from warmer sea surface temperatures, leading to increased convective available potential energy, stronger updrafts, and microphysical changes including elevated graupel concentrations. These results demonstrate that anthropogenic climate change could intensify the occurrence of flash-floods in the Western Mediterranean region: in this particular case, it intensified the 6-h rainfall rate by 21%, amplified the area with total rainfall above 180 mm by 55%, and increased the volume of total rain within the Júcar River catchment by 19% compared to the pre-industrial era. This study highlights the urgent need for effective adaptation strategies and improved urban planning to reduce the growing risks of hydrometeorological extremes in a rapidly warming world.

Índice de Peligro de Incendios Forestales de Aemet

AEMET Wildfire Danger Index

R. Romero, M. Postigo , D. Ramos , L. Escudero , M. Luengo , E. Miranda , P. Álvarez, M. Núñez ,
A. Morata

Agencia Estatal de Meteorología

RESUMEN

De acuerdo con el punto 6 del artículo 48 del Real Decreto 15/2022, que regula la planificación para la prevención y defensa ante el riesgo de incendios forestales, la información proporcionada por AEMET constituye la referencia oficial para establecer restricciones y medidas operativas. En este contexto, se hace necesaria la mejora de los índices de peligro actuales, tradicionalmente basados en variables exclusivamente meteorológicas, cuya capacidad para representar las condiciones reales del territorio resulta limitada, ante los efectos combinados del cambio en el paisaje y del calentamiento global. Las transformaciones del medio rural, el incremento de la carga de combustible y las modificaciones en los usos del suelo requieren integrar nuevas dimensiones del peligro relacionadas con el estado de la vegetación y la disponibilidad real de combustible. Además, el aumento de la evapotranspiración asociado al calentamiento global acelera el secado del suelo y de la vegetación, provocando saturación en los índices clásicos durante los periodos de mayor sensibilidad meteorológica. Este trabajo propone un índice que integra variables en tres escalas temporales clave: (1) un componente estable vinculado a los usos del suelo y su inflamabilidad; (2) un componente decenal que combina indicadores satelitales como el NDVI junto con la reserva de humedad del suelo procedente del balance hídrico de AEMET —definida como el agua disponible para las plantas respecto a una reserva máxima—; y (3) un componente diario procedente del FWI que caracteriza la variabilidad meteorológica inmediata. La integración del NDVI y de la humedad edáfica disponible en el componente decenal permite aproximar con mayor realismo la humedad del combustible vivo (LFMC), ofreciendo una solución operativa en un contexto en el que aún no se dispone de estimaciones satelitales de LFMC suficientemente fiables y estables para su uso operacional. El índice se ha calibrado para el periodo 2015–2024, evaluando su robustez mediante curvas ROC y métricas derivadas con el objetivo de cuantificar su capacidad discriminativa frente a la ocurrencia real de incendios.

Condiciones climatológicas y su papel en los incendios forestales del verano 2025

The role of climatological conditions in forest fire occurrence during the summer of 2025

M. Postigo González, D. Ramos Collada, L. Escudero Fernández, M. Luengo Martín, E. Miranda Suárez, P. Álvarez Zapatero, R. Romero Fresneda, M. Núñez Corchero, A. Morata Gasca

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

El incremento de los fenómenos meteorológicos extremos, como las sequías prolongadas y las olas de calor, está contribuyendo a la aparición e intensificación de grandes incendios forestales. En este contexto, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) está trabajando en el desarrollo de un nuevo índice de peligro de incendio forestal, con el objetivo de mejorar la toma de decisiones en materia de prevención y gestión de emergencias. Este estudio analiza las condiciones climatológicas que precedieron a los grandes incendios forestales registrados durante el verano de 2025. Las olas de calor prolongadas e intensas, las condiciones de sequía y la elevada frecuencia de episodios de temperaturas extremas aumentan la probabilidad de aparición de grandes incendios forestales, que resultan cada vez más devastadores y difíciles de controlar. El análisis de estos patrones es esencial para comprender los mecanismos que favorecen su aparición y propagación, así como para mejorar las herramientas operativas de predicción y prevención.

Inundaciones costeras y criticalidad: un modelo de conectividad para la evaluación del riesgo climático

Coastal Flooding and Criticality: A Connectivity-Based Model for Climate Risk Assessment

J. Mirete-Hernández, S. Gil-Guirado, J.P. Montávez

Grupo de Modelización atmosférica Regional, Universidad de Murcia

RESUMEN

El cambio climático está incrementando la frecuencia y severidad de las inundaciones costeras, lo que hace imprescindible disponer de herramientas basadas en evidencia científica que permitan evaluar con precisión la vulnerabilidad de las zonas costeras bajo escenarios climáticos futuros. Para ello, es necesario desarrollar modelos capaces de caracterizar de forma robusta las áreas potencialmente inundables, equilibrando realismo físico, coste computacional, resolución espacial y escalabilidad. En este trabajo se presenta un modelo de inundación hidrostática basado en la conectividad entre parches, aplicable a cualquier dominio y resolución espacial, y con una interpretación física consistente. El modelo no introduce nuevas ecuaciones, sino un algoritmo computacional novedoso que aborda la inundación como un proceso discreto de conectividad, análogo a la percolación. Este enfoque permite realizar análisis a gran escala que resultarían computacionalmente inviables mediante modelos hidrodinámicos clásicos. Se analiza la sensibilidad de las zonas inundables a la resolución del modelo digital de elevación (DEM). Los resultados muestran que las resoluciones comúnmente utilizadas (25–50 m) producen campos de inundación significativamente distintos de los obtenidos con resoluciones más finas (2–5 m), mientras que las diferencias entre estas últimas son marginales. En consecuencia, se identifica la resolución de 5 m como un compromiso óptimo entre precisión y eficiencia computacional. La comparación con modelos existentes revela una elevada consistencia en los resultados espaciales, destacando como principal ventaja una reducción del tiempo de simulación de varios órdenes de magnitud. Como aplicación, el modelo se ejecuta para toda la costa española bajo un escenario de subida del nivel del mar de 1 m, permitiendo estimar las áreas inundadas, los tipos de terreno afectados, la exposición urbana y la población potencialmente impactada. Finalmente, se analiza la criticalidad del sistema, mostrando que la relación entre el área inundada y el nivel del mar es altamente no lineal y dominada por comportamientos críticos específicos de cada región costera. Esta no linealidad implica que pequeñas variaciones del nivel del mar pueden generar incrementos abruptos del área inundada, subrayando la necesidad de evaluaciones locales y estrategias de adaptación diferenciadas.

¿Cómo afecta el cambio calentamiento global a las precipitaciones de granizo más extremas?

How does global warming affect the most extreme hailstorms?

J.L. Sánchez (1), C. Berthet (2), J.L. Marcos (1), R. Weigand (1), L. Rivero (1), E. García-Ortega (1), A. Navarro (1), J. Tapiador (3), T. Rigo (4), C. Farnell (4)

(1) U. De Leon. IMA. GFA. España (2) ANELFA Francia, (3) U Castilla la Mancha. España (4) Servei Meteorologic de Catalunya.

RESUMEN

El calentamiento global está alterando, por un lado, los procesos de convección haciendo que sean más intensos y, por otro, provocando que el proceso de fusión de las piedras de granizo que precipitan sea mayor. Establecer el balance es uno de los objetivos de este trabajo. La medida de los diámetros de las piedras de granizo que precipitan apenas puede hacerse por otro método que no sea haciendo uso de redes de granizómetros. El uso continuado de este tipo de instrumentos permite, entre las muchas utilidades que tienen, establecer la tendencia en un marco de calentamiento global. En este contexto hay dos redes europeas que cuentan con información detallada de las piedras de granizo precipitantes. La francesa con algo más de 1900 puestos de granizómetros colocados en un área de unos 60.000 km² (y que maneja la ANELFA desde 1989 hasta la actualidad) y la que se encuentra en Lleida que, con algo más de 190 granizómetros, se extiende a lo largo de 3.000 km². En este último caso la base de datos comenzó en el 2000 y, al igual que la francesa, no ha habido interrupciones en ninguno de los periodos estivales que han estado en funcionamiento. Entre una y otra se han medido más de 1.000.000 de piedras de granizo, con lo que se cuenta con una base de datos muy extensa. Por ello se pueden hacer estudios de la tendencia en el contexto actual de calentamiento global. En nuestro caso, lo que hemos hecho es establecer a partir de una energía cinética umbral de 400 J/m², el número de granizómetros que han sido impactados a lo largo de 36 años en el caso de la red francesa y de 15 en el de Lleida. Ese umbral representa que ha habido piedras de más de 4 cm de diámetro y que el espectro de tamaños ha sido completamente destructivo, no solamente para la mayor parte de los cultivos sino para las propiedades en general. Los resultados muestran que no hay una tendencia estadísticamente significativa, en contraste con la que tienen las piedras más pequeñas, de entre 5 y 7 mm de diámetro, que ya se había demostrado que sí se habían detectado cambios estadísticamente significativos.

DANAS en clima presente y futuro: downscaling híbrido con “machine learning” y modelos regionales de alta resolución

Cut-off lows in present and future climate: hybrid downscaling using machine learning and convection-permitting regional models

I. Prieto, A. Fernández, J.C. Sánchez, E. Rodríguez

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

This study focuses on the optimal downscaling of cut-off low (COL) events to convection-permitting scales using ensemble approaches under both present-day and future climate conditions. The geographical area of interest is Southern Europe, one of the three regions worldwide with the highest occurrence of COLs [1]. The presence of a COL is frequently associated with intense precipitation; in the Valencia region of eastern Spain, it accounts for approximately 80% of extreme rainfall events [2]. To capture the full range of variability associated with these events, two complementary ensemble-generation strategies are proposed. The first approach relies exclusively on dynamical downscaling with a regional climate model, using an intermediate-resolution domain that is sufficiently large to generate a physically plausible ensemble. This approach may also help correct some of the biases present in the driving models, such as those identified in CMIP5/CMIP6 simulations [3]. However, given the high computational cost of generating such ensembles, a second approach combines machine learning (ML) techniques with numerical modeling. In this framework, ensembles are generated using the ECMWF AIFS model, providing a computationally efficient global-scale ensemble. The ensemble members are subsequently grouped using clustering techniques, allowing the selection of representative members that are then dynamically downscaled to convection-permitting resolution. The regional climate model HCLIM [4] is employed for the high-resolution simulations. Preliminary results are presented for selected COL events affecting the Iberian Peninsula, illustrating the ability of the proposed methodologies to capture precipitation extremes associated with these systems. Beyond its application to the present-day climate, this framework is also designed to support future climate assessments, for example through the use of pseudo-global warming techniques.

References:

- [1] Nieto, R., and 9 coauthors (2005). Climatological features of cutoff low systems in the Northern Hemisphere. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/51673>.
- [2] Nieto Ferreira, R. (2021). Cut-Off Lows and Extreme Precipitation in Eastern Spain: Current and Future Climate. *Atmosphere*, 12(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/atmos12070835>
- [3] Pinheiro, H., and 6 coauthors (2022). Are Cut-off Lows simulated better in CMIP6 compared to CMIP5?. *Climate Dynamics*, 59(7), 2117-2136. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06200-9>.
- [4] Belušić, D., and more than 15 coauthors (2020). HCLIM38: A flexible regional climate model applicable for different climate zones from coarse to convection-permitting scales. *Geoscientific Model Development*, 13(3), 1311-1333. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-1311-2020>.

Vientos fuertes por ondas de gravedad en el litoral de Cádiz

Strong winds due to gravity waves on the coast of Cádiz

M.P. López Carmona

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

Ocasionalmente, en zonas costeras y de la campiña de Cádiz se presentan aceleraciones súbitas de viento en superficie que suelen presentarse de forma heterogénea y aparentemente caprichosa, asociados particularmente a flujos del SE en capas bajas. El origen de estas perturbaciones de corto período obedece a la acción de ondas de gravedad, fenómenos mesoescalares generados por el relieve orográfico del este de la provincia, que pueden llegar a provocar alteraciones temporales de los campos de viento, temperatura y presión en superficie. En determinadas circunstancias, una estratificación estable del aire cerca en las capas más bajas propicia el confinamiento de estas estructuras ondulatorias en una capa superficial estable que puede llegar a comportarse como una guía de ondas, permitiendo por tanto su propagación a notables distancias a sotavento de las zonas montañosas con escasas pérdidas de energía. Eventualmente, la contribución de elementos convectivos en una capa superior puede actuar como mecanismo auxiliar de amplificación por efecto de resonancia en la propagación de las ondas gravitatorias, intensificando, por tanto, las anomalías en las variables mencionadas. Este trabajo profundiza en la ocurrencia, y analiza con cierto detalle las causas y la configuración, de estas perturbaciones en base a los datos meteorológicos registrados durante varios sucesos y a la bibliografía científica existente, extrayendo diversas conclusiones acerca de la estructura y morfología de estas ondas gravitatorias canalizadas, así como algunas lecciones de utilidad que pueden servir para anticipar la ocurrencia de estos fenómenos, particularmente ante la adversa repercusión que pueda provocar una intensificación de los vientos en superficie.

Estudio comparativo de datos observacionales y reanálisis climáticos para eventos de precipitaciones extremas en la cuenca mediterránea española

A comparative study of observational and reanalysis data for extreme precipitation events in the Spanish Mediterranean

J. Gutiérrez-Fernández (1,2), M. Ortega (1,2), I. Rodríguez-Muñoz (1,2), C. Correa (2), A. Hernanz (2), J.J. González-Aleman (2), E. Rodríguez-Guisado (2)

(1) TRAGSATEC. (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

Las precipitaciones extremas en zonas de la costa Mediterránea española representan un riesgo meteorológico importante debido a su capacidad para causar inundaciones y otros impactos socioeconómicos. Estos eventos extremos suelen estar asociados con la presencia de una DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos) durante los meses de otoño, cuando la inestabilidad atmosférica aumenta tras la estación estival y las temperaturas del mar Mediterráneo siguen siendo relativamente altas. Esta interacción favorece la formación de sistemas convectivos intensos, lo que genera episodios de lluvias extremas. Desde un punto de vista climatológico, la capacidad de los diferentes reanálisis climáticos existentes en trabajos sobre precipitación intensa llevan a la conclusión de que los reanálisis tienden a infravalorar los valores extremos de precipitación. No obstante, en los últimos años las mejoras en los reanálisis dan lugar a una mayor reducción de los sesgos en valores extremos. Por tanto, la principal motivación para realizar este trabajo consiste en realizar un estudio comparativo de precipitaciones extremas entre los datos observacionales horarios de AEMET con diferentes reanálisis de alta resolución. Este estudio está centrado en zonas de la cuenca mediterránea española para el periodo temporal de 1995-2024 en los meses de otoño. Los resultados de este trabajo se centran sobre todo en la fiabilidad de los distintos reanálisis en la representación de las precipitaciones más extremas asociadas a DANAs para ver si son capaces de capturar adecuadamente la intensidad, frecuencia y distribución espacial de estos eventos, clave para mejorar las predicciones y estrategias de gestión frente a fenómenos meteorológicos severos.

Índice de intensidad potencial: un indicador de la probabilidad de fenómenos extremos

Potential intensity index: a proxy for likelihood of extremes

J. Gutiérrez-Fernández (1,2), J.J. González-Alemán (2), E. Rodríguez-Guisado (2)

(1) TRAGSATEC, Grupo Tragsa. (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

En los últimos años se ha observado un aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos convectivos severos en algunas zonas del mar Mediterráneo. El aumento de este tipo de este tipo de fenómenos ha provocado condiciones meteorológicas extremas en muchas regiones costeras del Mediterráneo. Entre los numerosos eventos meteorológicos extremos que han aumentado en intensidad en los últimos años destaca la formación de intensos ciclones con características tropicales en el Mediterráneo o también llamados medicanes (*mediterranean hurricanes*). Además, en los últimos años han sido muchas las investigaciones que han empleado diferentes metodologías para investigar las condiciones favorables para el desarrollo de ciclones con características tropicales en el Mediterráneo. Entre los métodos utilizados para estudiar las condiciones favorables para el desarrollo de ciclones tropicales, uno de los más aplicados es el de la intensidad potencial (PI). Este índice mide la intensidad máxima teórica que puede alcanzar un ciclón con características tropicales en condiciones atmosféricas específicas. Este método ha sido investigado en estudios sobre ciclones tropicales y demuestra que valores altos del índice PI están asociados a una mayor probabilidad de desarrollo de ciclones tropicales intensos. Por tanto, la principal motivación de este estudio es analizar algunos de los eventos convectivos más importantes en regiones del mediterráneo en los últimos años, con el objetivo de comprobar si este índice también es capaz de encontrar valores intensos con todo tipo de fenómenos de convección profunda en la región mediterránea y costa atlántica española. Para ello, se utilizará datos de reanálisis ERA5 que abarcan el período comprendido entre 1950 y 2023. Los resultados indican que no solo encontramos valores altos del índice PI en fenómenos extremos asociados a la formación de ciclones tropicales, sino también en otros fenómenos intensos de convección que han tenido un gran impacto en amplias regiones de la cuenca mediterránea.

Evidencias emergentes de la influencia del deshielo de la capa de hielo de Groenlandia en los recientes récords de calor y de tormentas convectivas en la región euro-mediterránea

Emerging evidence of Greenland ice sheet melt influence on recent Euro-Mediterranean record-breaking heat and convective storms

J.J. González Alemán (1), M. Oltmanns (2), S. González-Herrero (3), F. Vitart (4), M. Donat (5), F. Doblas-Reyes (5), D. Barriopedro (6), J. Riboldi (7), C. Calvo-Sancho (6), B. Jiménez-Esteve (6), P. Cos (5), M. Wehner (8)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum. (3) WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF. (4) ECMWF. (5) Barcelona Supercomputing Center. (6) CSIC. (7) ETH Zurich. (8) Lawrence Berkeley National Laboratory

RESUMEN

En las últimas décadas, la región euro-mediterránea ha experimentado un notable aumento de extremos climáticos catastróficos durante el verano, incluyendo olas de calor atmosféricas y marinas persistentes, así como tormentas convectivas destructivas de larga duración (derecho) y supercélulas con tamaños de granizo sin precedentes. Todos estos fenómenos han provocado graves impactos socioeconómicos, ecológicos y humanos. Aunque estos fenómenos suelen estudiarse por separado, su frecuente coincidencia sugiere la influencia de forzamientos comunes de circulación a gran escala, que siguen siendo objeto de intenso debate. Basándose en trabajos recientes que vinculan las anomalías de agua dulce en el Atlántico Norte con respuestas posteriores en la circulación atmosférica, este estudio en curso explora si parte de la señal climática estival reciente en Europa podría estar influida por forzamientos remotos a escala hemisférica asociados a la pérdida de masa de la capa de hielo de Groenlandia, la cual también se ha acelerado coincidentemente en las últimas décadas debido a influencias antropogénicas. Esta conexión no fue inicialmente el objetivo, sino que surgió de manera inesperada a partir de diagnósticos exploratorios motivados por investigaciones más amplias sobre la variabilidad del Atlántico Norte. Los resultados preliminares indican que los periodos de deshielo intensificado en Groenlandia durante el verano tienden a coincidir con posteriores patrones anómalos de circulación en primavera-verano sobre el sector euro-atlántico, que favorecen condiciones persistentes de dorsales y bloqueos sobre la región euro-mediterránea. Estos estados de circulación son consistentes con entornos propicios para estrés térmico prolongado, el desarrollo de olas de calor marinas y la aparición de un "outbreak" de eventos convectivos severos. Las comparaciones iniciales con modelos climáticos globales del CMIP6 sugieren que esta posible vía está pobremente representada, lo que indica que las proyecciones actuales del clima futuro podrían estar subestimando estos impactos. Nuestros hallazgos apuntan al deshielo de Groenlandia como un motor principal, hasta ahora no reportado, de los cambios en la circulación a gran escala durante primavera-verano. Incorporar estos procesos podría ser esencial para los sistemas de predicción y las proyecciones a largo plazo, representando probablemente una brecha significativa en nuestra capacidad para proyectar el riesgo futuro.

Verificación de la predicción estacional regionalizada de extremos meteorológicos en la península Ibérica

Downscaled extreme events seasonal forecast verification in the Iberian Peninsula

M. Hernández Calleja, M. Domínguez Alonso, E. Rodríguez Guisado

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

Las predicciones estacionales de fenómenos meteorológicos extremos pueden constituir una herramienta clave para la planificación y gestión del riesgo en sectores sensibles como el hídrico, agrícola o energético. No obstante, en latitudes medias como la península Ibérica, la limitada predecibilidad y la baja resolución espacial de los sistemas de predicción estacional condicionan su utilidad operativa, especialmente para la caracterización de fenómenos extremos. En este contexto, la aplicación de técnicas de regionalización estadística se plantea como una vía para mejorar, tanto el detalle espacial como la pericia de las predicciones estacionales. En este trabajo se presenta la verificación de la predicción estacional regionalizada de extremos meteorológicos sobre la península Ibérica y Baleares. El análisis se basa en la predicción retrospectiva o “hindcast” del sistema de predicción estacional SEAS5.1 del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF) para el periodo 1997–2016, con una resolución horizontal de 1°. Las salidas del modelo han sido regionalizadas mediante un método estadístico basado en análogos combinado con regresión, desarrollado en AEMET, que permite alcanzar una resolución espacial de 5 km. Se han regionalizado las variables de precipitación y temperatura a 2 metros, con resolución temporal diaria. A partir de las series regionalizadas se han calculado diversos índices orientados a la caracterización de fenómenos meteorológicos extremos. El análisis se realiza considerando las inicializaciones de abril para el estudio de fenómenos con impacto durante el verano y las de octubre para los asociados al invierno. Para la caracterización de la sequía se han considerado, entre otros, el número de días secos consecutivos (CDD) y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), mientras que los extremos térmicos se han evaluado mediante índices, como el número de noches tropicales, días de helada y otros indicadores representativos de olas de calor y frío. La capacidad predictiva del sistema se evalúa para cada índice mediante métricas probabilistas, incluyendo el *Ranked Probability Score* (RPS), el *Ranked Probability Skill Score* (RPSS) y el área bajo la curva ROC (AUC-ROC), comparando las predicciones del “hindcast” con observaciones procedentes de la malla ROCIO_IBEB desarrollada en AEMET. Los resultados preliminares muestran que la regionalización además de mejorar notablemente el detalle espacial de las predicciones, para determinados índices, inicializaciones y estaciones, podría presentar un incremento significativo en la pericia probabilista de la predicción respecto a la salida original del SEAS5.1. Estos resultados sugieren que el método de regionalización por análogos aporta un valor añadido en la predicción estacional de índices de extremos meteorológicos sobre la península Ibérica, teniendo en consideración que este valor añadido depende tanto del tipo de fenómeno como de la inicialización y la época del año consideradas.

Impactos de los eventos meteorológicos extremos en el sector energético: de Filomena a los incendios de 2025

Impacts of extreme weather events on the energy sector: from Filomena to the 2025 fires

J.A. Añel (1), S. Bayo-Besteiro (2), C. Perez-Souto (1), L. de la Torre (1)

(1) EPhysLab, CIM-Uvigo, Universidade de Vigo, Ourense, España. (2) INESC TEC, Porto, Portugal

RESUMEN

El sector energético es crucial en nuestra sociedad. El consumo mundial de energía aumenta de forma constante cada año, superando ya los 400 EJ. Este consumo y la producción de electricidad están estrechamente vinculados a la meteorología y el clima (p. ej., la generación de energías renovables, la disponibilidad de agua y la temperatura para las centrales térmicas), el transporte y la demanda. Todas estas actividades están vinculadas a las emisiones contaminantes (CO₂, CH₄, etc.) y, por lo tanto, al cambio climático antropogénico y a la mala calidad del aire, lo que a la larga genera problemas de salud e impactos económicos. Por ello, comprender la relación entre el clima y el sector energético es fundamental. En esta presentación revisamos y evaluamos los impactos de los fenómenos meteorológicos extremos en el sector energético, analizando algunos de los casos prácticos más relevantes en España y las condiciones meteorológicas que los provocaron. Ofrecemos una perspectiva sobre sus impactos en la generación, transmisión y consumo de electricidad, y resumimos estimaciones de pérdidas económicas.

Probable relación entre el comportamiento de los incendios forestales en agosto de 2025 en el noroeste de la península Ibérica y las ondas de montaña

Probable relationship between the behavior of wildfires in august 2025 in the northwest of the Iberian Peninsula and mountain waves

J.M. Sánchez-Laulhé

Asociación Meteorológica Española (AME)

RESUMEN

Dentro de la ola de calor de agosto de 2025 en España, los diez días de 8 a 17 de agosto fueron especialmente extremos, ostentando el récord de temperatura media para una decena de días consecutivos para el conjunto de la España peninsular, desde al menos 1950. La causa inmediata fue la presencia en estos días de un máximo de viento del sur en niveles bajos de intensidad anómala en el oeste de la península orientado SSO-NNE que afectó fundamentalmente al cuadrante noroeste de la península, aumentando la difusión de aire de origen subtropical hacia esa zona, que contribuyó a que la temperatura media peninsular alcanzara valores récords. Una grave consecuencia de las condiciones ambientales de alta temperatura, sequedad y viento intenso de estos días de la ola de calor fueron los numerosos, extensos y persistentes incendios forestales. Un factor que probablemente contribuyó a la magnitud de los incendios fue la presencia de ondas de montañas producidas por la interacción que esta corriente en chorro con la disposición este-oeste de las montañas en la zona de los incendios, y su inestabilización y ruptura al ser advectadas hacia la atmósfera no estratificada sobre los incendios, creando turbulencias que dificultaron las labores de extinción y poniendo en riesgo a los componentes de las unidades contraincendios. La corriente en chorro en niveles bajos del oeste de la península está relacionada con el contraste de temperatura entre tierra y mar, y puede ser una señal del cambio climático, pues una respuesta robusta al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero es el aumento de la diferencia del incremento de temperatura media del aire en superficie entre la tierra y el océano, por lo que esta circunstancia podría repetirse con mayor frecuencia o agravarse, si sigue aumentando la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera..

Influência das condições meteorológicas e climáticas extremas nos grandes incêndios em Portugal

Influence of meteorological and climatic conditions on large wildfires in Portugal

C. Lopes (1), M. Pereira (1,2)

(1) Centre for Research and Technology of Agro-Environmental and Biological Sciences (CITAB), Inov4Agro, University of Trás-os-Montes and Alto Douro (UTAD), Vila Real, Portugal. (2) Instituto Dom Luiz (IDL), FCUL, Lisboa, Portugal

RESUMEN

A Península Ibérica é a região da Europa com a maior incidência de incêndios, em termos de número de eventos e de área total ardida. Parte significativa desta área ardida anualmente é causada por grandes incêndios. Em 2025, os dados fornecidos pela Comissão Europeia revelam que este tipo de incêndio teve maior número de ocorrências no oeste da Península Ibérica. Estes incêndios resultam em elevados prejuízos económicos, impactos ambientais notáveis e, em alguns casos, vítimas mortais. Embora o conceito de incêndio extremo esteja definido na bibliografia internacional, o de grande incêndio florestal não está claramente definido. Em geral, pode considerar-se um grande incêndio aquele cuja área ardida se encontra para além dos valores médios normais e assume um valor extremo, por exemplo, é superior a um determinado valor limite, como um percentil elevado. Os grandes incêndios ocorrem associados a eventos meteorológicos e climáticos também extremos. Eventos extremos de temperatura ou calor, como ondas de calor, e de precipitação, como secas severas e persistentes, contribuem para a diminuição da humidade do coberto vegetal, promovem o stress térmico e hídrico e a seca rápida da vegetação. A presença de ventos fortes, associados a tempestades, favorece a velocidade de propagação do fogo e também pode levar à ocorrência de grandes incêndios. O objetivo principal deste trabalho é atualizar e aprofundar o conhecimento sobre a influência das condições meteorológicas e climáticas extremas na ocorrência de grandes incêndios, nomeadamente ondas de calor, secas e tempestades. O foco deste estudo foi os grandes incêndios em Portugal continental. Assim, os dados utilizados serão a cartografia de áreas ardidas disponibilizada pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e pelo European Forest Fire Information System (EFFIS), valores de índices de seca como os do Drought SPEI Monitor, valores de temperatura máxima e registos da passagem do furacão Ophelia pela costa ocidental de Portugal continental, em 2017. Uma análise de dados diversificada confirmou o papel fundamental dos eventos meteorológicos extremos na ocorrência de grandes incêndios em Portugal e permite apoiar a gestão florestal e do fogo.

Análisis de las características de las olas de calor en el norte de África

Assessing heat wave characteristics across North Africa

A. Pérez-Alarcón (1), R. Sorí (1), A. El-Sehwagy (2), R.M. Trigo (3,4), R. Nieto (1,5), L. Gimeno (1,5), Z. Salah (2), M. Stojanovic (1)

(1) Environmental Physics Laboratory (EPhysLab), Universidad de Vigo, Orense, España. (2) Atmospheric Science Dept., Egyptian Meteorological Authority, Cairo Governorate, Egipto. (3) Instituto Dom Luiz (IDL), Universidad de Lisboa, Portugal. (4) Departamento de Met, Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil. (5) UVigo-CESGA (Universidad de Vigo - Centro de Supercomputación de Galicia), España

RESUMEN

Dominated by arid and semi-arid climates, North Africa (Morocco, Algeria, Tunisia, Libya, and Egypt) is recognised as a climate change hotspot, characterised by rising mean temperatures that exacerbate the region's vulnerability to extreme thermal events. This study utilises high-resolution ERA5-Land reanalysis data to examine the characteristics of heat waves (HWs) across North Africa during the extended summer season (May–September) from 2000 to 2024. In this analysis, an extreme temperature event is classified as an HW when both daily maximum and minimum temperatures surpass their respective calendar-day 99th percentiles for at least three consecutive days and affect more than 10% of the area. On average, the annual frequency of HWs ranged from 2.8 to 5 events per year, with the highest frequency observed in Morocco. Results also indicate a statistically significant positive trend in HW frequency, ranging from 1.2 to 1.9 events per decade. Egypt exhibits the strongest trend, while Tunisia and Morocco show the lowest rates of increase. An analysis of the HW life cycle revealed that these events are relatively short-lived, with a mean duration of approximately 6 days across the region. These findings align with the annual average number of HW days, which peaks in Morocco at 31.5 days. The application of a Lagrangian diagnostic allowed for the attribution of sensible heat sources associated with the HWs. Outcomes indicate that temperature increases are predominantly driven by local sensible heating, fostered by intense solar radiation, with secondary contributions from sources close to the target region. Interestingly, a small fraction of sensible heat is advected from southern Europe, particularly during HWs in Libya and Egypt. Overall, these results underscore the critical need for further in-depth analysis to contextualise recent extremes within the framework of future climate projections, thereby aiding in the development of robust regional adaptation strategies.

Avaliação de Eventos Extremos de Precipitação-Escoamento através da Integração de Monitorização, SIG e Modelação Hidrológica

Assessing Extreme Rainfall-Runoff Events through Integrated Monitoring, GIS and Hydrological Modelling

S. Zehsaz (1), J.F. Santos (1,2), D. Costa (1,3,4), M. Potes (1), A. Mendes (3)

(1) Center for sci-tech Research in EArth sysTem and Energy (CREATE), University of Évora, Portugal. (2) Instituto Politécnico de Beja, Portugal. (3) MED, Universidade de Évora, Portugal. (4) University of Saskatchewan, Canadá

RESUMEN

Extreme climate events are increasing across Europe, particularly in Mediterranean regions, highlighting the need for integrated, local-scale observational and modelling approaches capable of representing microclimatic variability and supporting adaptation and risk-reduction strategies. This study presents an interdisciplinary framework developed within the INTERLAYER project, combining field-based meteorological and hydrological monitoring, GIS-based basin characterisation, and hydrological modelling to assess extreme rainfall–runoff processes in Ribeira da Toutalga and Ribeira de São Pedro, tributaries of the Guadiana basin in southeastern Portugal. A monitoring network was established to provide high-quality input and validation data for hydrological analysis. An operational meteorological station measured precipitation and key atmospheric variables. Stream water levels were monitored using HOBO U20L pressure loggers installed along both riverbeds, recording data at five-minute intervals. Water-level time series were used to derive site-specific stage–discharge curves, synthetically constructed based on field-observed channel geometry and hydraulic characteristics. The resulting discharge series served as observed flow data for hydrological model calibration and validation. Comprehensive GIS-based basin characterisation was carried out using high-resolution Digital Elevation Models (DEMs) and land use/land cover datasets. The workflow included DEM-driven basin and sub-catchment delineation, stream network extraction and validation against military topographic maps, slope and land use analysis. Area-weighted Curve Number (CN) values were retrieved under wet antecedent moisture conditions (AMC III) to better capture soil moisture responses. Hydrological modelling was performed via HEC-HMS, applying the SCS Curve Number method for loss estimation, the SCS unit hydrograph for runoff transformation, and Muskingum routing for channel flow propagation. The models were developed, calibrated, and validated for both Toutalga and São Pedro basins using observations from December 2024 to November 2025, with the highest flow events selected as representative extremes. The model was able to capture the overall flow dynamics and timing of peak discharges. The developed framework provides a robust foundation for subsequent hydraulic modelling, flood hazard assessment, and the identification of Nature-Based Solutions (NBSs) aimed at flood mitigation and climate adaptation in Mediterranean environments.

Acknowledgements: To European Commission and Fundação para Ciência e Tecnologia for funding in the frame of the collaborative international consortium INTERLAYER financed under the 2022 Joint Call of the European Partnership 101060874 — Water4All.

Un derecho mediterráneo

A Mediterranean derecho

R. López, B. Fuentes

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

En meteorología, un derecho puede definirse de forma genérica como una fase que se desarrolla en algunos sistemas convectivos mesoescalares organizados, caracterizada por la producción de vientos convectivos intensos y generalizados en línea recta. Quedan excluidos de esta definición los fenómenos asociados a ciclones tropicales. Sin embargo, esta caracterización resulta incompleta, ya que existen múltiples criterios adicionales cuya aplicación varía en función del autor y del marco conceptual empleado. En este contexto, el fenómeno iniciado durante la madrugada del 18 de agosto de 2022 en las inmediaciones de las Islas Baleares, que posteriormente se desplazó hacia Córcega y el norte de Italia (Liguria y Toscana), alcanzando finalmente la República Checa, puede ser clasificado claramente como un derecho. El sistema recorrió más de 1000 km y produjo rachas convectivas extremas, con valores máximos registrados de hasta 62,2 m/s, así como granizo de gran tamaño, con diámetros de hasta 11 cm. El impacto del episodio fue notable, con un balance de al menos 12 víctimas mortales, más de 100 heridos y daños materiales estimados en varios cientos de millones de euros. A pesar de la severidad del fenómeno, los derechos han recibido históricamente una atención considerablemente menor en Europa en comparación con los Estados Unidos, donde constituyen un riesgo bien documentado. En este trabajo se describe el proceso de formación y la evolución dinámica del derecho del 18 de agosto de 2022, analizando los principales mecanismos responsables de su intensificación y mantenimiento a lo largo de su trayectoria. Asimismo, se discuten algunos indicadores clave y estrategias de predicción que pueden resultar útiles para la identificación temprana de situaciones potencialmente favorables al desarrollo de derechos en la cuenca mediterránea, con el objetivo de mejorar la vigilancia y la anticipación de este tipo de episodios de tiempo severo.

Modelización de la precipitación andaluza a ultra alta resolución espacial

Andalusian precipitation modelling at ultra-high spatial resolution

M. García-Valdecasas Ojeda (1, 2), F. Solano-Farías (3), N. Tacoronte (1), D. Donaire-Montaño (1), Y. Castro-Díez (1,2), M.J. Esteban-Parra (1,2), S. Gámiz-Fortis (1,2)

(1) Depto. Física Aplicada, Universidad de Granada, España. (2) Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía (IISTA-CEAMA), Granada, España. (3) Centro de Investigación y Desarrollo del Ejército y Fuerza Aérea, Ciudad de México, México.

RESUMEN

Los modelos climáticos regionales (RCMs) que permiten la resolución explícita de la convección, a escalas espaciales del orden de 1 a 4 km (convection-permitting models, CPMs), podrían reducir la dependencia de las simulaciones climáticas de los esquemas convectivos, mejorando la simulación de los extremos de precipitación. Además, a la resolución espacial de 1 km, las simulaciones locales podrían capturar mejor las retroalimentaciones tierra-atmósfera y el condicionamiento de la orografía, aportando mayor información para la simulación del clima, y por tanto, un valor añadido frente a las modelizaciones regionales convencionales. Así el objetivo de este trabajo es la determinación del valor añadido de la modelización climática en Andalucía a la resolución que resuelve la convección frente a la modelización usando esquemas de convección parametrizada a diferentes escalas temporales. Para ello se ha utilizado el modelo Weather Research and Forecasting (WRF) como RCM a resolución de 5 km (05-WRF) y como CPM a resolución de 1 km (01-WRF) para simular las características actuales (1990-2022) de la precipitación en Andalucía, variable en la que cabe esperar un mayor impacto de la resolución explícita de la convección. Los resultados de dichas simulaciones han sido comparados con los datos observacionales de precipitación procedentes de las estaciones meteorológicas in situ de AEMET. Además, se han comparado los resultados aportados por otros productos de precipitación procedentes de diferentes fuentes (observaciones, modelos y satélites), a escalas anual, estacional, mensual y diaria. Los resultados muestran que ambas modelizaciones (05-WRF y 01-WRF) representan adecuadamente los patrones espaciales anuales y estacionales de la precipitación en la región, capturando de forma adecuada el gradiente este-oeste, la influencia altitudinal y la cercanía a la costa. A escala mensual, 01-WRF presenta una mejora significativa en la representación del ciclo anual de la precipitación, añadiendo valor en la representación espaciotemporal de la precipitación frente a productos de menor resolución como EURO-CORDEX. Además, se demuestra que el incremento de resolución de 5 km a 1 km produce una mejora en la representación de los índices de extremos de intensidad, frecuencia y duración de la precipitación, destacando la simulación 01-WRF incluso frente a la base de datos en rejilla observacional, ROCIO_IBEB, en áreas montañosas.

Agradecimientos: Esta investigación ha sido llevada a cabo en el marco del proyecto PID2021-126401OB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

Índices de peligrosidad de incendios forestales en Castilla y León: integración de técnicas de Machine Learning

Wildfire Hazard Indices in Castile and León: Integrating Machine Learning Techniques

A. Corbea-Pérez, A. Merino, A. Navarro, J.L. Sánchez, E. García-Ortega

GFA. IMARENA. Universidad de León

RESUMEN

The Mediterranean region has emerged as a critical focal point in the context of climate change, where rising temperatures and prolonged water deficits substantially increase vulnerability to wildfires [1]. The 2025 season in Castile and León provided a stark reminder of this reality, with unprecedented destruction, including the burning of more than 150,000 hectares in August alone, underscoring the need for more advanced spatial tools for hazard estimation [2]. This research establishes an operational system to assess ignition potential at a daily 1 km resolution, specifically tailored to the heterogeneous landscapes of north-central Spain. Using a comprehensive dataset spanning 2007–2022, we compare a tabular machine learning approach, XGBoost [3], with a deep-learning architecture, ConvLSTM [4], capable of processing both temporal sequences and spatial neighbourhoods. The analysis shows that both frameworks achieve exceptional discriminatory skill, with AUC values of 0.96 or higher. Interpretable AI techniques such as SHAP and Integrated Gradients (IG) indicate that land surface temperature (LST) and relative humidity (RH) act as the primary physical drivers of hazard. Notably, the ConvLSTM model proved superior in minimising false alerts, whereas XGBoost exhibited greater sensitivity in identifying actual ignition events. These findings provide a technical cornerstone for modernising early-warning infrastructures and refining resource allocation during crises. The integration of these high-resolution models supports a transition towards proactive land-use planning and enhanced socio-ecological resilience in the face of extreme climate events.

References:

- [1] Fernández-Guisuraga, J.M., Martins, S., Fernandes, P.M. (2023). Characterization of biophysical contexts leading to severe wildfires in Portugal and their environmental controls. *Sci.Total Environ.*, 875, 162575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162575>.
- [2] ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) (2025). <https://atmosphere.copernicus.eu/highest-wildfire-emissions-least-23-years-europe-after-hectic-summer>.
- [3] Chen, T., Guestrin, C. (2016). Xgboost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794.
- [4] Shi, X., Chen, Z., Wang, H., Yeung, D.-Y., Wong, W.-K., & Woo, W. (2015). Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 28.

La necesidad de integrar la información histórica (meteorológica, fenológica marina y oceanográfica) para poder mejorar las actuales predicciones relativas a los mares españoles. El ejemplo del decenio extremo 1945-1955

The need to integrate historical information (meteorological, marine phenological, and oceanographic) to improve current predictions for Spanish seas. The example of the extreme decade 1945-1955

J. Pérez-Rubín

Centro Oceanográfico de Málaga (IEO-CSIC)

RESUMEN

Son necesarias las investigaciones científicas retrospectivas, abarcando al menos los últimos 75-100 años, para mejorar la valoración de la situación presente, y poder desarrollar modelos matemáticos predictivos más fiables. Los repositorios digitales de la AEMET (con documentación desde 1803) y del Instituto Español de Oceanografía (desde 1916) facilitan la necesaria información científica fiable para identificar las décadas pasadas de cambios climáticos atmosféricos y marinos. Para investigar los efectos de los anteriores calentamientos/enfriamientos globales o regionales en las poblaciones y ecosistemas es recomendable impulsar la fenología. Sus definiciones son variadas, como las de la RAE (*“estudio de los fenómenos biológicos en relación con el clima, particularmente en los cambios estacionales”*) y del Oxford English Dictionary (*“the study of cyclic and seasonal natural phenomena, especially in relation to climate and plant and animal life”*). Gracias al uso generalizado de termómetros fiables desde el siglo XIX, los meteorólogos han podido demostrar que el actual calentamiento extremo que padecemos se originó a mediados de dicho siglo y que durante los 175 años transcurridos hasta nuestros días se han alternado décadas concretas de enfriamiento y calentamiento notables. Para conocer los cambios climáticos en el mar durante los siglos anteriores (sin termómetros), los biólogos-oceanógrafos podemos confirmar las décadas anómalas de calentamiento/enfriamiento en los mares europeos gracias a la gran fiabilidad de las estadísticas pesqueras centenarias de varias especies de peces que se comportan como “termómetros vivos” (arenque, sardina y atún rojo). Retrocediendo más atrás en el tiempo, a partir de la escala temporal de miles de años, debemos escuchar a los geólogos y paleontólogos que confirman la misma alternancia cíclica de temperaturas extremas. Actualmente continúa siendo un gran reto científico llegar a diferenciar, particularmente a nivel regional, entre la variabilidad climática natural y los cambios inducidos por el ser humano. La mayoritaria “hipótesis antropogénica”, la que identifica al hombre como el único culpable del actual calentamiento global, no es unánime. Algunos de los denominados científicos “disidentes” han demostrado que la mayor parte del calentamiento global marino registrado desde 1980 se debe a una combinación de factores naturales cambiantes periódicamente (los ciclos de calentamiento/enfriamiento atmosférico y las oscilaciones climáticas ENSO, AMO, NAO, ...; la variabilidad de la actividad solar o los aerosoles volcánicos), junto con los negativos efectos antropogénicos (sobrepesca y contaminación).

Modelo predictivo de humedad del suelo basado en datos meteorológicos y sondas de humedad. Aplicación en entornos mediterráneos

Predictive model for soil moisture based on meteorological and sensor data. Application in Mediterranean environments

D. Casado (1), J. Molina (2), J.D. Ruiz Sinoga (2), J.A. Sillero (2)

(1) Universidad de Málaga - Programa de Doctorado de Economía y Empresa. (2) Universidad de Málaga

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo y validación de un modelo predictivo para estimar la humedad del suelo en diferentes condiciones climáticas y edáficas, utilizando datos de sondas instaladas en tres localizaciones del sur de España: La Mayora, Cabo de Gata y Cortes de la Frontera. El modelo se alimenta de datos horarios de humedad del suelo, precipitaciones y temperatura, complementados con parámetros internos como el umbral de escorrentía y la radiación extraterrestre. La metodología distingue dos fases fundamentales: infiltración y secado. Durante la infiltración, el modelo considera la retención de agua en el suelo frente a pérdidas por escorrentía y percolación. Se establecen umbrales de escorrentía (húmedo, intermedio y seco) en función de las precipitaciones acumuladas en las últimas 120 horas. Además, se introduce la estimación de percolación (Ph , Pi , Ps) como variable optimizada mediante un algoritmo Nelder-Mead, minimizando el error cuadrático medio. En la fase de secado, se observa un comportamiento exponencial decreciente de la humedad, modulada por la evapotranspiración y un factor k que ajusta la velocidad de secado según el tiempo transcurrido desde la última infiltración. Se incorpora el concepto de "codo" en la curva de secado, asociado al punto de marchitez real, que condiciona la activación del factor k . Asimismo, se añade una variable de drenaje (Pd) para mejorar la estimación en suelos saturados. El modelo se entrena y valida con series temporales que abarcan más de 10.000 registros por localización, aplicando una división 85%-15% entre entrenamiento y test. Los resultados muestran un buen ajuste, tanto en las fases de entrenamiento como de validación. En conclusión, el modelo propuesto ofrece una estructura flexible para estimar la dinámica de humedad en el suelo, integrando procesos físicos y parámetros optimizados. Su aplicación es relevante para la gestión agrícola y la planificación hídrica en entornos mediterráneos, donde la variabilidad espacial de las precipitaciones y la heterogeneidad del suelo condicionan la disponibilidad de agua. Futuras líneas de trabajo incluyen la ampliación de datos con estaciones locales y la incorporación de características específicas del terreno (pendiente, sombra, profundidad) para mejorar la precisión del modelo.

Situaciones meteorológicas que provocan operaciones frustradas en el aeropuerto de Madrid-Barajas

Weather conditions that cause failed operations at Madrid-Barajas airport

D. Cano Espadas (1), I. Alfaro Rodríguez (2)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) MNCN-CSIC

RESUMEN

En los aeropuertos con gran volumen de tráfico aéreo, las alteraciones en el servicio tienen grandes impactos logísticos y económicos. En este trabajo se analizan 5 años de datos de operaciones frustradas en la aproximación al aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas por motivos meteorológicos. Para ello, se han tenido en cuenta tanto las comunicaciones proporcionadas por las tripulaciones como las condiciones meteorológicas que imperaban en esos momentos desde el 1 de enero de 2018 hasta el 19 de enero de 2023. Los principales motivos para frustrar las operaciones que aluden las tripulaciones son, en este orden: La cizalladura/turbulencia, el viento en cola, la visibilidad, las rachas súbitas de viento y el viento cruzado. Por otro lado, el análisis de las situaciones meteorológicas que provocaron estas operaciones frustradas indica las siguientes causas, también ordenadas por número de incidencias: las tormentas, los vientos fuertes del oeste y del noreste, la falta de visibilidad o nubes bajas, el dipolo orográfico con viento sur y, en menor medida, situaciones como el paso de un frente y el dipolo orográfico con vientos del norte. Los principales motivos de operaciones frustradas son debidos al viento; si unimos las operaciones frustradas por tormentas y por dipolo orográfico, que son las principales responsables de la cizalladura y la turbulencia en las capas bajas atmosféricas, obtenemos más de la mitad de los casos. En el trabajo se describe con ejemplos las condiciones meteorológicas representativas de cada categoría, además de estadísticas detalladas para los casos del aeropuerto operando en configuración de pistas norte y sur.

Tiempo, caos y modelos: prediciendo la incertidumbre en AEMET

Weather, chaos and NWP models: forecasting the uncertainty at AEMET

A. Callado-Pallarès, J. Gómez Navarro, P. Escribà-Ayerbe, D. Gil Oliva

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

AEMET ha desarrollado y mantenido operativamente desde hace más de 20 años Sistemas de Predicción Por Conjuntos (SPCs) o EPSs (Ensemble Prediction Systems, en sus siglas en inglés) en las predicciones de corto plazo hasta 3 días, con el objetivo de acotar las incertidumbres y disponer de información fiable de la predecibilidad de los eventos meteorológicos, con especial atención a los fenómenos de carácter convectivo adversos susceptibles de alertas. El actual SPC operativo, el AEMET-Γsreps (multi-modelo, multi-condiciones de contorno y *convection-permitting*) ofrece los posibles escenarios futuros de evolución de la atmósfera con multitud de productos de carácter probabilístico, y es ampliamente utilizado en el Sistema Nacional de Predicción de AEMET. En la presentación también se repasará la historia y los conceptos de caos, predecibilidad e incertidumbre, la historia de los SPCs en AEMET y el posible futuro hacia un SPC HarmonEPS uni-modelo dentro de ACCORD y UWC-South.

¿Por qué fue tan incierto el pronóstico de Leslie durante su transición extratropical?

Evidencia de una influencia remota de Michael

Why was Leslie's forecast so uncertain during its extratropical transition?

Evidence of a remote influence from Michael

M. López-Reyes (1,2), C. Calvo-Sancho (3), J.J. González-Alemán (4), Y. Luna (4), M.L. Martín (5)

(1) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid, España. (2) Instituto de Astronomía y Meteorología (IAM), Depto. Física, Universidad de Guadalajara, México. (3) Centro de Investigaciones sobre Desertificación, (CIDE, CSIC-UV-GVA), Climate, Atmosphere and Ocean Laboratory (Climatoc-Lab), Valencia, España. (4) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (5) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática de Segovia, Universidad de Valladolid, Segovia, España

RESUMEN

Durante la transición extratropical (ET) del huracán Leslie (octubre de 2018) se observó una incertidumbre inusualmente alta en los pronósticos de trayectoria, incluso a plazos cortos. Este trabajo investiga si dicha incertidumbre estuvo modulada por interacciones remotas con el huracán Michael, que transitaba corriente arriba en fase de ET, a través de la reorganización del patrón dorsal–vaguada y del chorro en el Atlántico Norte. El objetivo es atribuir fuentes dinámicas de incertidumbre en los pronósticos de Leslie y proponer un marco conceptual útil para la operación. Se construyó un “super-ensemble” con 70 miembros (ECMWF-EPS y NCEP-GEFS; 0.25°) y se seleccionó la inicialización del 11 de octubre de 2018 a 00 UTC, cuando la dispersión en las trayectorias fue máxima. Las trayectorias se agruparon mediante “clustering” por modelo de mezcla finita (trayectorias latitud–longitud vs. tiempo; selección por Bayesian Information Criterion), identificando tres clústeres; el análisis dinámico se centró en los dos extremos: (1) trayectorias hacia la Península Ibérica (más cercanas al “best track”) y (2) recurvatura al sur, próxima a Canarias. Se diagnosticó el flujo sinóptico con vorticidad potencial isentrópica (~320–330 K) y el patrón de niveles altos con viento irrotacional (descomposición de Helmholtz) y altura geopotencial en 250 hPa, evaluando diferencias compuestas con prueba Mann–Whitney–Wilcoxon ($\alpha=0.05$), además de comparar miembros extremos (P80 vs. P20). Los resultados muestran que, desde +12 h, un Michael relativamente más intenso en el clúster 1 se asocia con mayores magnitudes de viento irrotacional en niveles altos, lo que amplifica y retrasa la dorsal aguas arriba, modifica la configuración del chorro como “waveguide” y propaga cambios corriente abajo. Esto favorece una vaguada corriente abajo más meridional y lenta, capaz de capturar a Leslie e inducir su desplazamiento hacia Iberia. En contraste, en el clúster 2 la vaguada no incorpora a Leslie, que queda bajo la influencia del anticiclón de Azores y recurva al sur. Se concluye que pequeñas diferencias en la interacción de Michael con la dorsal–chorro pueden crecer rápidamente y explicar gran parte de la incertidumbre de trayectoria de Leslie durante su ET, ofreciendo un esquema conceptual aplicable a la vigilancia operativa de escenarios análogos.

Modelos Híbridos Hidrológicos basados en LSTM y simuladores físicos

Hybrid Hydrological Modeling with LSTM and physical simulators

N. Tacoronte (1), M. García-Valdecasas Ojeda (1, 2), Y. Castro-Díez (1,2), M.J. Esteban-Parra (1,2), S. Gámiz-Fortis (1,2)

(1) Depto. Física Aplicada, Universidad de Granada. (2) Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía (IISTA-CEAMA), Granada

RESUMEN

Los modelos hidrológicos físicos proporcionan datos interpretables y de consistencia física, pero pueden degradarse cuando existen incertidumbres en parámetros, sesgos en forzamientos meteorológicos o simplificaciones estructurales del modelo (omisiones o parametrizaciones simplificadas de procesos como almacenamiento subterráneo, nieve o evapotranspiración). En paralelo, las redes neuronales recurrentes tipo “Long Short-Term Memory” (LSTM) han mostrado capacidad para aprender relaciones no lineales y dependencias temporales en series hidrometeorológicas. En este trabajo se evalúa el potencial de combinar ambos enfoques con un esquema híbrido, analizando la mejora del rendimiento predictivo, y el porqué en algunos casos la ganancia es limitada. Se parte de la hipótesis de que añadir como entradas al LSTM las salidas de modelos físicos junto con forzamientos meteorológicos (datos de temperaturas máxima y mínima, y precipitación) y atributos estáticos de la cuenca, debería mejorar la predicción de caudal al incorporar estados hidrológicos y restricciones dinámicas difíciles de inferir sólo con la meteorología. Resultados iniciales muestran una mejora frente a modelos físicos puros y un desempeño superior de LSTM regional frente a LSTM local. Además, la inclusión de parámetros estáticos aumenta la calidad del ajuste. No obstante, el valor añadido de introducir modelos físicos en el enfoque híbrido es pequeño en promedio, y se aprecia principalmente para caudales bajos, lo que motiva estudiar esta aparente “falta de mejora”. Para explicar este comportamiento se realizan dos pruebas: 1) una prueba de redundancia condicionada, donde se elimina la influencia meteorológica ajustando un modelo lineal (Ridge), tanto para el caudal observado como para la salida del modelo físico, y se evalúa la dependencia entre residuos; 2) una prueba de destilación de conocimiento, entrenando un LSTM para reproducir la salida de modelos físicos usando sólo forzamientos meteorológicos. Los resultados indican que el LSTM aprende a emular el modelo físico casi perfectamente, lo que sugiere que gran parte de la información aportada por el simulador no es independiente para la red, sino derivable a partir de los forzamientos meteorológicos. También se analiza la dependencia regional usando una clasificación de cuencas en cinco clústeres según sus características climáticas y físico-estáticas. En clústeres húmedos/templados se observa alta emulación y ganancia híbrida nula, en clústeres secos/transicionales el simulador puede introducir sesgo/ruido y en un clúster transicional con almacenamiento se identifican cuencas donde la modelización híbrida mejora de forma consistente. En general, los resultados evidencian una firma física predecible que permite anticipar en qué cuencas el enfoque híbrido aporta mejoras consistentes.

Agradecimientos: Esta investigación ha sido llevada a cabo en el marco del proyecto PID2021-126401OB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

Predicción de la velocidad de supercélulas en España mediante la aproximación de Bunkers

Predicting supercell velocity in Spain using Bunkers approximation

F.J. Bello-Millán (1,3), J. Palacios (1), J.A. Quirantes (2), M. Cívica (1), P. Gutierrez-Castillo (3), L. Parras (3)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) AEMET (ret.). (3) Universidad de Málaga

RESUMEN

Las tormentas supercelulares vienen determinadas por la presencia de un profundo y persistente mesociclón o mesoanticiclón en el seno de su corriente ascendente. Debido a esta propiedad, su movimiento se caracteriza por la desviación respecto al viento medio del entorno en el que se desarrollan. Bunkers et al. (2000) propusieron un método para estimar la velocidad de movimiento de una supercélula a partir del perfil de velocidad de su ambiente. Se trata de un enfoque basado en los procesos físicos dominantes, relativo a la cizalladura vertical e invariante desde el punto de vista galileano. En las últimas décadas este esquema se ha popularizado y su uso está muy extendido, tanto en modelización numérica como en predicción operativa. Al igual que en la mayoría de algoritmos de este tipo, la calibración se llevó a cabo a partir de un conjunto de datos de supercélulas registradas en Estados Unidos, en ambientes convectivos normalmente más inestables y con mayor cizalladura que los característicos de Europa. En estudios recientes se ha evaluado el método de Bunkers para supercélulas que tuvieron lugar en Europa y se detectó la sobrestimación que se producía en la velocidad de desplazamiento y en su desviación respecto al viento medio. El factor de desviación ajustado por Bunkers et al., de 7.5 m/s, resultaba elevado. En este trabajo se presenta un análisis de sensibilidad para calibrar el método de Bunkers a partir de una muestra estadística de 873 supercélulas registradas en España entre 2017 y 2023. Se modificaron las definiciones de los diferentes parámetros que constituyen la aproximación para encontrar la configuración óptima en términos de distintos indicadores de error. El conjunto de datos fue dividido en función del giro del mesociclón y el desplazamiento a la izquierda (LM) o derecha (RM) de la cizalladura. El ambiente convectivo fue descrito a partir de perfiles verticales de variables cinemáticas y termodinámicas procedentes del análisis operativo del modelo HARMONIE-AROME, que tiene una resolución horizontal de 2.5 km y una frecuencia temporal de 3 horas. En general, los errores cometidos para la estimación del movimiento de supercélulas LM fueron menores respecto a las RM. En consonancia con otros trabajos, el factor de desviación constituyó el parámetro dominante de la verificación, con un valor óptimo de 5.25 m/s para las LM y 5.75 m/s para las RM. Los resultados de este estudio permiten mejorar la predicción del desplazamiento de estas tormentas en España y apoyar la toma de decisiones en las situaciones de meteorología adversa que suelen provocar.

Referencia:

Bunkers, M.J., B.A. Klimowski, J.W. Zeitler, R.L. Thompson, M.L. Weisman (2000). Predicting supercell motion using a new hodograph technique. *Weather and Forecasting*, 15 (1), 61–79.

Caracterización de diferentes modos convectivos en España mediante distribuciones de índices obtenidos a partir del análisis operativo de HARMONIE-AROME

Characterization of different convective modes in Spain using distributions of indices obtained from HARMONIE-AROME operational analysis

J. Palacios (1), F.J. Bello-Millán (1,2), J.A. Quirantes (3), M. Cívica (1), N. Peinado (1), A. Barranco (1), M. Gómez (1), C.M. Jiménez (1), F. Chinchón (1), J. Castro (1), S. Gómez (1)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) Universidad de Málaga. (3) AEMET (ret.)

RESUMEN

La convección profunda puede dar lugar a efectos adversos en superficie como granizo grande, rachas intensas de viento, precipitaciones torrenciales y tornados. Los modos convectivos con mayor grado de organización, como las supercélulas y los sistemas convectivos de mesoescala (SCM), normalmente presentan una mayor persistencia, lo que incrementa el riesgo para la población y las infraestructuras. Predecir con exactitud el punto geográfico e instante en que se disparará la convección es una tarea extremadamente compleja, debido a las limitaciones de los modelos numéricos de predicción. Sin embargo, con éstos se pueden identificar regiones en las que se favorece la formación de determinados modos convectivos, en caso de desarrollarse la inestabilidad. El objetivo principal de este trabajo es caracterizar los ambientes convectivos en España a través de distribuciones de índices mediante el uso de un modelo numérico de predicción. Para este estudio, se ha utilizado una base de datos de convección profunda que contiene registros de supercélulas, SCM y tormentas unicelulares y multicelulares que han tenido lugar en España en el periodo 2017-2024. Para cada evento se ha obtenido un perfil vertical de temperatura, temperatura de rocío y velocidad del viento a partir del modelo numérico de predicción HARMONIE-AROME en las coordenadas de inicio del evento y para un instante cercano a la hora de inicio. A partir de los perfiles verticales, se han derivado diversos índices convectivos, como CAPE, CIN, cizalladuras verticales, helicidad relativa a la tormenta (SRH) y parámetro compuesto de supercélulas (SCP), entre otros, que permiten caracterizar el ambiente en la formación de cada modo convectivo. Se observa que los entornos de supercélulas tienden a tener mayor inestabilidad que el resto de modos, mientras que supercélulas y SCM se distinguen de las tormentas unicelulares y multicelulares en los valores de cizalladura vertical en niveles medios y altos, en el espesor de la capa efectiva y en el nivel de equilibrio. Una comparativa particular entre supercélulas ciclónicas y anticiclónicas muestra que las distribuciones de índices convectivos correspondientes a ambos tipos son similares, salvo para las SRH y SCP cuando se comparan sin considerar el signo de los índices. Por otro lado, los índices SRH03 y SRH13 muestran los mejores resultados para discriminar entre ambientes favorables para la formación de supercélulas de cada tipo. La capacidad de discriminar entre ambientes favorables a la formación de distintos modos convectivos mediante distribuciones de índices permite planificar mejor la vigilancia de fenómenos meteorológicos adversos en el territorio español.

Características principales de IBERA, Reanálisis Ibérico

Main characteristics of IBERA, Iberian reanalysis

J. Calvo (1), J. Campins (1), M. Díez (1), A. Jiménez de Mingo (1), G. Morales (1), C. Peral (1), A. Montoro-Mendoza (1,2,3), J. Hernández (4), A. Jiménez-Garrote (4)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (3) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática de Segovia, Universidad de Valladolid, Segovia. (4) Tecnologías y Servicios Agrarios S.A. S.M.E M.P. (AEMET-TRAGSATEC)

RESUMEN

Desde hace varios años los centros de predicción numérica tanto a escala global ([1]) como los centros que ejecutan modelos de área limitada ([2]), han generado diversos reanálisis que resultan especialmente útiles para realizar estudios climáticos. En la actualidad se está incrementado el uso de los datos generados en los diferentes reanálisis para entrenar modelos de predicción meteorológica basados en técnicas de *Machine Learning* (ML). Dentro de este contexto, se está ejecutando el proyecto IBERA (Iberian Reanalysis) en la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), cuyo objetivo es realizar un reanálisis desde el año 1990 hasta la actualidad. Este proyecto se desarrolla en dos módulos. El primer módulo consta de la realización de un reanálisis en altura, basado en el modelo HARMONIE-AROME sobre el dominio de la península Ibérica, las Islas Baleares y las Islas Canarias, con una resolución horizontal de 2,5 km y 90 niveles verticales. En el segundo módulo se desarrolla un reanálisis sobre ciertas variables de superficie, como la precipitación acumulada en 24 horas o las temperaturas máximas y mínimas diarias a dos metros, usando Interpolación Óptima como método de análisis. En el marco de este proyecto se ha establecido una colaboración con los servicios meteorológicos nacionales de Portugal, Francia y Marruecos para intercambiar observaciones climatológicas, con el objetivo de mejorar la calidad del reanálisis. Actualmente IBERA se encuentra en la producción y esperamos que las integraciones para esta primera fase estén acabadas para finales del 2026.

Referencias:

- [1] Hersbach H., Bell B., Berrisford P. et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.*, 146: 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- [2] Ridal, M., Bazile, E., Le Moigne, P. et al. (2024). CERRA, the Copernicus European Regional Reanalysis system. *Q J R Meteorol Soc.* 150(763), 3385–3411. <https://doi.org/10.1002/qj.4764>.

Mejoras en la predicción de tormentas convectivas de alto impacto en simulaciones sub-kilométricas con el modelo HARMONIE-AROME

Improvements in the prediction of high-impact convective storms in sub-kilometer simulations with the HARMONIE-AROME model

J.J. González Alemán (1), C. Calvo-Sancho (2), P. Fernández Castillo (3,4), D. Martín Pérez (1), S. Viana (1), J. Calvo (1)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (3) Universidad Complutense de Madrid (UCM). (4) Instituto de Geociencias (CSIC-UCM)

RESUMEN

Las simulaciones numéricas meteorológicas de muy alta resolución y escala subkilométrica son cada vez más comunes, impulsadas por los avances en la capacidad computacional y en las técnicas de modelización atmosférica. Estos modelos de escala más fina ofrecen el potencial de representar con mayor precisión procesos de pequeña escala, como la convección profunda y la dinámica de tormentas, que a menudo están pobremente resueltos en modelos operativos más gruesos. A medida que esta capacidad de modelización crece, resulta fundamental evaluar rigurosamente el rendimiento de estas simulaciones de alta resolución, especialmente en la reproducción de fenómenos meteorológicos de alto impacto. En este estudio evaluamos la capacidad de las simulaciones subkilométricas para representar de forma realista tormentas convectivas severas en distintas regiones de España. Nos centramos en varios episodios seleccionados de tiempo adverso en los que el modelo operativo HARMONIE-AROME, que funciona con una resolución horizontal de 2.5 km, no logró simular adecuadamente el desarrollo convectivo. En contraste, las simulaciones subkilométricas capturaron con éxito características clave de las tormentas, ofreciendo una representación mejorada de su intensidad, estructura y evolución. Los casos seleccionados abarcan una amplia variedad de fenómenos convectivos, incluyendo supercélulas, sistemas convectivos de mesoescala y tormentas ordinarias. Además, buscamos contribuir al desarrollo de modelos conceptuales robustos para la predicción de convección severa. Estos modelos se basan en la información detallada proporcionada por las simulaciones de alta resolución y están diseñados para mejorar la capacidad del predictor de anticipar e interpretar el comportamiento complejo de las tormentas en escenarios reales.

Predicción probabilística de tormentas mediante “Machine Learning”

Probabilistic forecast of convective storms using Machine Learning

J. Castro-Arias (1), A. García-Abenza (1), J. Palacios (1), F.J. Bello-Millán (1,2)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). 2) Universidad de Málaga

RESUMEN

La predicción de tormentas constituye uno de los principales desafíos de la meteorología operativa, especialmente durante el verano, cuando estos fenómenos pueden dar lugar a impactos relevantes. El uso del “graupel” integrado en la vertical, derivado de modelos de modelos meteorológicos, es uno de los métodos más empleados para estimar la probabilidad de tormentas. A pesar de su utilidad, presenta limitaciones para representar adecuadamente la complejidad de los procesos físicos implicados en el desarrollo de la convección profunda. Las técnicas de *Machine Learning* (ML) surgen como alternativa, siendo el objetivo principal de este trabajo el desarrollo de un modelo de ML capaz de estimar la probabilidad de ocurrencia de tormentas en el área de la península Ibérica y el archipiélago balear. De esta forma se persigue, tanto mejorar el método operativo de referencia basado en el “graupel” integrado en la vertical como analizar la capacidad de las técnicas de ML para identificar automáticamente las variables más relevantes asociadas a la formación de convección profunda. El estudio analiza cuantitativamente los resultados obtenidos durante la temporada estival, incluyendo ejemplos representativos que permiten ilustrar el comportamiento del modelo en situaciones concretas. Para el entrenamiento se utilizan datos de los veranos meteorológicos de 2022 y 2023, del verano de 2024 para la fase de validación y de 2025 para la evaluación, asegurando un conjunto de test independiente. Las variables de entrada proceden de las salidas del modelo meteorológico HARMONIE-AROME, permitiendo así analizar el rendimiento del modelo de ML en un contexto próximo al operativo. Para definir de manera objetiva la ocurrencia de tormentas, se considera que un evento convectivo ha tenido lugar cuando se detecta al menos un rayo, tanto nube-tierra como nube-nube, a una distancia inferior a 15 km de un punto determinado. En consecuencia, la evaluación del modelo frente a observaciones permite contrastar directamente las probabilidades estimadas con la ocurrencia real de actividad eléctrica asociada a la convección. Los resultados muestran que el modelo de ML mejora de forma consistente el método de referencia basado exclusivamente en el “graupel” integrado. Asimismo, el análisis de la importancia de las variables identifica la temperatura y la humedad como los predictores más relevantes, lo cual presenta un claro sentido físico, dado su papel fundamental en la inestabilidad atmosférica y en los procesos de génesis y evolución de la convección. Esta coherencia del modelo con el conocimiento meteorológico previo pone de manifiesto el potencial de las técnicas de ML para mejorar la predicción probabilística de tormentas. El enfoque propuesto no solo supera al método operativo de referencia, sino que también aporta información adicional sobre los factores clave implicados en la formación de convección. Por todo ello, el sistema desarrollado presenta un elevado potencial para su implementación en un entorno operativo, contribuyendo a una mejor anticipación de episodios de convección profunda durante la temporada de verano.

IBERA-Suelo: Reanálisis en superficie de precipitación y temperaturas extremas

IBERA-Land: Surface reanalysis of precipitation and extreme temperatures

J. Hernández Lasheras (1,2), M. Díez Muyo (2), A. Jiménez Garrote (1,2), C. Peral (2), A. Montoro Mendoza (2,3,4), G. Morales (2), A. Jiménez (2), J. Calvo (2)

(1) Tecnologías y Servicios Agrarios, S.A., S.M.E., M.P. (TRAGSATEC). (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (3) Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (4) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática de Segovia, Universidad de Valladolid, Segovia

RESUMEN

IBERA is the high-resolution regional reanalysis currently being developed at AEMET (Spanish State Meteorological Agency) and expected to end the production by the end of 2026. The system is based on a regional configuration of HARMONIE-AROME with a horizontal resolution of 2.5 km, 90 levels and ERA5 as lateral boundary conditions. The domain covers the Iberian Peninsula, the Balearic Islands, and the Canary Islands, and the initial production period spans from 1990 to 2021. Within the IBERA project, AEMET is also developing a land component for near-surface temperature and precipitation. This component is designed to complement the HARMONIE-AROME surface analysis, which does not include precipitation and extreme temperatures. Besides, this offline component gives more freedom for the analysis settings and allows to include additional sources of observations. Several Optimal Interpolation (OI) schemes have been evaluated, using HARMONIE-AROME fields as first guess and observations from different meteorological networks. In this contribution, we present results obtained with Gridpp (HYPERLINK "<https://github.com/metno/gridpp>"), a Python-based open-source post-processing tool developed by MET Norway and the so called ROCIO scheme used in previous precipitation analysis performed by AEMET. The results show a clear improvement over ERA5-Land and CERRA-Land for both temperature and precipitation, with performance comparable to classical interpolation methods such as Kriging. Gridpp emerges as a robust alternative, offering similar skill while benefiting from a physically based framework and seamless integration with numerical model output.

¿Pueden las técnicas de regionalización estadística mejorar la pericia de la simulación de la precipitación intensa a escala estacional?

Can statistical downscaling techniques improve the accuracy of seasonal-scale heavy rainfall simulations?

M. Domínguez-Alonso (1,2), S. Sanfiz (1,2), E. Rodríguez-Guisado (2)

(1) TRAGSATEC, Grupo Tragsa. (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

Una predicción estacional de variables extremas con alta pericia es muy necesaria a la hora de mejorar la planificación de los recursos en sectores vulnerables, como el agrícola o el hídrico, y la gestión de eventos adversos, sobre todo en el marco de las cambiantes condiciones climáticas. Las técnicas de regionalización estadística forman parte de las herramientas de post-proceso con capacidad para aumentar dicha pericia, pudiendo proporcionar anomalías estacionales, con meses de antelación, de olas de calor o de episodios de precipitación extrema. El algoritmo que aquí se presenta se basa en la analogía sinóptica de variables de circulación atmosférica en un periodo pasado (predictores) que se vinculan a la variable de interés observada en superficie (predictando) mediante el uso de la distancia euclídea y de la regresión múltiple. Estas relaciones se emplean para calcular, a partir de variables atmosféricas a gran escala y baja resolución espacial ($1^\circ \times 1^\circ$), precipitaciones diarias de alta resolución (5 km x 5 km), que cubren la España peninsular y las Islas Baleares. Como base de datos observacional se ha utilizado el conjunto de datos ROCIO_IBEB de AEMET con una resolución horizontal de 5 km. Para evaluar el rendimiento del algoritmo, la primera parte de este trabajo presenta la evaluación de las precipitaciones regionalizadas de ERA5 para el periodo 1997-2016. ROCIO_IBEB se utilizó tanto para calibrar el método (1981-1996) como para validar los resultados (1997-2016). La predicción estacional retrospectiva o hindcast de 20 años (1997-2016) basada en 25 miembros del conjunto se ha considerado como la referencia climatológica del modelo. Los resultados de la validación revelan un pequeño sesgo, valores RMSE bajos y una buena correspondencia de los percentiles. Para las precipitaciones estacionales acumuladas y para la precipitación máxima acumulada en 5 días (rx5day) (invierno extendido, inicialización de octubre) se calcularon los siguientes índices de verificación: anomalía, probabilidad de ocurrencia del tercil inferior y superior y el área ROC para los terciles inferior y superior. Los resultados demuestran una mayor resolución espacial en la probabilidad de ocurrencia en relación con los datos sin regionalizar, junto con altos valores del área ROC, tanto en términos espaciales como porcentuales. Estos hallazgos indican que, al menos durante ciertas estaciones y en la península Ibérica, el algoritmo de regionalización desarrollado por AEMET añade un valor significativo a las previsiones estacionales.

Verificación espacial de la precipitación del reanálisis regional IBERA

Spatial verification of precipitation from IBERA regional reanalysis

A. Jiménez-Garrote (1,2), J. Calvo (2), J. Campins-Pons (2), M. Díez-Muyo (2), J. Hernández-Lasheras (1,2), A. Jiménez (2), A. Montoro-Mendoza (2,3,4), G. Morales (2), C. Peral-García (2), J. Sánchez-Arriola (2)

(1) Tecnologías y Servicios Agrarios, S.A., S.M.E., M.P. (TRAGSATEC). (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (3) Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (4) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática de Segovia, Universidad de Valladolid, Segovia

RESUMEN

En los últimos años se ha visto incrementada la demanda de un gran volumen de datos meteorológicos para diversas aplicaciones y estudios. Estos datos deben cubrir grandes extensiones de terreno y un amplio periodo temporal, de manera que queden representados el mayor número de situaciones y eventos extremos. Debido a estas características, la opción más adecuada es emplear datos procedentes de un reanálisis atmosférico. Además, estos datos deben contar con un alto grado de fiabilidad, para que los resultados que se deriven de los mismos sean significativos. Por tanto, la validación y comparativa de estas bases de datos resultan esenciales. En este trabajo se presenta una verificación del campo de precipitación acumulada del reanálisis IBERA (IBERian ReAnalysis). IBERA es el reanálisis regional de alta resolución (2.5 km) que está siendo desarrollado por AEMET y cuyo dominio incluye España, Portugal y Marruecos. Los conjuntos de datos que se pueden encontrar en IBERA son reanálisis instantáneos y diagnósticos cada 3 horas de perfiles verticales, parámetros de superficie y variables del suelo, así como campos previstos de cantidades integradas de diferentes variables, entre las que se encuentra la precipitación. Estas acumulaciones están disponibles en intervalos trihorarios o con un alcance de H+03 en las pasadas de las 00UTC. En particular, se ha realizado la verificación espacial de la precipitación acumulada en 24 h en varios casos de estudio. Este enfoque ofrece una evaluación más representativa del desempeño de los reanálisis de alta resolución que la verificación puntual. Para ello, se ha empleado un “kriging” de los valores de precipitación diaria registrados por el conjunto de estaciones que ha sido utilizado durante el proceso de asimilación de IBERA. Estos valores no han sido asimilados por el sistema HARMONIE-AROME (en el cual se basa IBERA), por lo que constituye una validación con observaciones independientes. De manera adicional, los valores de precipitación acumulada han sido computados mediante dos métodos. Por un lado, agregando estimaciones más precisas debido a alcances más cortos y, por otro, empleando las estimaciones de una simulación de mayor alcance que solventa los posibles problemas de “spin-up” entre ciclos consecutivos. Los resultados obtenidos sobre estos casos de estudio muestran un alto grado de fiabilidad del reanálisis en el campo de precipitación diaria.

Comparación de enfoques de anidamiento en HARMONIE-AROME para la simulación del múltiple evento supercelular del 31 de julio de 2015 en el este peninsular

Comparison of nesting approaches in HARMONIE-AROME for simulating the multiple supercell event of July 31, 2015 in the eastern Iberian Peninsula

J. Díaz-Fernández (1,2), P. Gómez-Plasencia (1), E.J. Rodríguez-Acosta (1), J.J. González-Alemán (2), C. Calvo-Sancho (3), P. Bolgiani (4), A. Morata (2), Y. Luna (2), M.L. Martín (1), I. Gómara (1)

(1) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática, Universidad Valladolid, Segovia. (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (3) Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Valencia. (4) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN

Las supercélulas constituyen uno de los fenómenos convectivos más severos en la atmósfera, caracterizadas por la presencia de mesociclones profundos, persistentes, capaces de generar granizo de gran tamaño, vientos intensos y tornados. La simulación precisa de estos eventos es fundamental para mejorar la capacidad predictiva de los modelos numéricos de predicción meteorológica y reducir el impacto social de estos fenómenos convectivos adversos. En este estudio se evalúa el rendimiento de dos configuraciones del modelo de alta resolución HARMONIE-AROME, aplicado a un episodio múltiple de supercélulas ocurrido el 31 de julio de 2015 en el este de la península Ibérica, donde se registraron al menos seis supercélulas que provocaron daños significativos. Se realizaron dos configuraciones diferentes del modelo HARMONIE-AROME ejecutadas en el entorno de supercomputación del ECMWF: H500_NESTED, que emplea un enfoque de anidamiento unidireccional con un dominio padre de 2.5 km y un dominio anidado de 500 m; y H500, una simulación de dominio único a 500 m de resolución. La validación se realizó mediante comparación con datos de radar OPERA, estaciones meteorológicas de AEMET y el radiosondeo de Murcia. Se analizaron parámetros convectivos clave como CAPE, CIN, SRH (helicidad), WS06 (Cizalladura 0–6 km) y SCP (parámetro supercelular), así como perfiles verticales de temperatura y humedad. Para evaluar el rendimiento estadístico se calcularon bias, RMSE y coeficiente de correlación de Pearson, y se aplicó el test de Mann–Whitney para verificar diferencias significativas entre ambas configuraciones. El gasto computacional de H500_NESTED supuso un coste adicional de un 30% respecto a H500. Los resultados muestran que ambas simulaciones reproducen adecuadamente la estructura general del evento, aunque H500_NESTED presenta una ligera mejora en la representación de núcleos convectivos, reflectividad máxima y perfiles térmicos. El estudio sugiere que las simulaciones de dominio único de alta resolución pueden ser una alternativa más eficiente para representar eventos convectivos severos, sin pérdida significativa de calidad en los resultados.

Verificación de parametrizaciones microfísicas del WRF con datos observacionales GPM-DPR: casos de estudio de granizadas en Francia meridional (2014–2018)

Verification of WRF microphysics parameterizations with GPM-DPR observational data: hailstorm case studies in southern France (2014–2018)

L. Rivero-Ordaz (1), E. García-Ortega (1), A. Navarro (1), F. J. Tapiador (2), J.L. Sánchez (1), A. Merino (1)

(1) Universidad de León. (2) Universidad de Castilla-La Mancha

RESUMEN

Avanzar en la predicción de tormentas de granizo es esencial por los significativos daños materiales y económicos asociados. Esta investigación se centró en el sur de Francia, región mediterránea, una de las más afectadas de Europa. Se estudiaron siete casos (2014-2018), donde la presencia de granizo en superficie fue confirmada con la red de granizómetros de la *Association Nationale d'Étude et de Lutte contre les Fléaux Atmosphériques* (ANELFA). El objetivo fue verificar el rendimiento del modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF, v4.4). Se usaron cuatro parametrizaciones microfísicas que incluyen la formación de granizo: esquema Milbrandt-Yau Double-Moment 7-class (P09), NSSL 2-Moment 7-class (P17), WRF Single-Moment 7-class (WSM7, P24), el único esquema de momento único analizado, y WRF Double-Moment 7-class (WDM7, P26). Las simulaciones se configuraron con una resolución horizontal de 3 km en el dominio anidado más fino. La validación se realizó mediante la comparación directa con observaciones satelitales del sensor DPR (Dual-Frequency Precipitation Radar) a bordo de la misión GPM (Global Precipitation Measurement). Este sensor es eficaz para monitorizar eventos extremos al proporcionar una visión 3D de la estructura de la tormenta, siendo su banda Ku particularmente efectiva en el estudio de granizo. La comparación se centró en tres variables indicadoras de convección profunda: la reflectividad máxima en el perfil vertical, y el agua precipitable integrada verticalmente en fase líquida y sólida. Para una evaluación robusta, se usó la puntuación SAL (Structure-Amplitude-Location), método orientado a objetos que evalúa la capacidad del modelo para reproducir la estructura espacial, la intensidad media y la ubicación precisa del fenómeno. Se emplearon también otras métricas estadísticas, como Diagramas de Taylor. Los resultados revelaron diferencias claras: la parametrización P09 fue la más efectiva para simular la reflectividad máxima y el agua precipitable integrada verticalmente en fase sólida. En cambio, para el agua precipitable integrada verticalmente en fase líquida, el esquema WSM7-P24 ofreció los resultados más fiables. Un hallazgo notable fue que el esquema WDM7-P26 destacó consistentemente en la precisión de la localización para las tres variables analizadas. Por el contrario, el esquema P17 mostró, en general, un rendimiento inferior en la simulación de las variables y la predicción de granizo. La identificación de parametrizaciones óptimas resulta crucial para mejorar significativamente la precisión de futuras simulaciones de tiempo extremo en la región mediterránea.

Agradecimientos: queremos expresar nuestra gratitud a la ANELFA.

Predicción de viento a muy alta resolución combinando NWP y “Deep Learning”

Very high-resolution wind prediction combining NWP and Deep Learning

K. Abu-Shams (1), P. Oria (2)

(1) Universidad Pública de Navarra. (2) Depto. Reducción de Riesgo de Desastres, TESICNOR

RESUMEN

Predecir el flujo de viento en terrenos orográficamente complejos es un desafío para todos los modelos de predicción numérica del tiempo. Cuando los procesos físicos necesitan resolverse de manera explícita a nivel espacial, a menudo se requieren rejillas de cálculo con una alta resolución horizontal de unos pocos cientos de metros, lo que en muchos casos limita drásticamente la extensión y duración de las simulaciones. El “downscaling” estadístico puede proporcionar los datos necesarios, pero ningún modelo puede alcanzar de manera efectiva las resoluciones deseadas y proporcionar velocidades y direcciones del viento con resolución temporal en terrenos de complejidad orográfica. Por otro lado, la evaluación del potencial de energía eólica en cadenas montañosas es algo prometedor en la transición energética, así como un ejemplo donde las limitaciones anteriores generan restricciones importantes. El modelo presentado en esta contribución está basado en aprendizaje profundo (Deep Learning) y descubre algunas de las interacciones entre la topografía de alta resolución y los estados de la atmósfera de resolución más baja para generar campos de viento en la superficie con una resolución de 50 metros. Para ello se emplea un gran número de estaciones meteorológicas en Francia y en España para entrenar el modelo, y un modelo de predicción meteorológica operacional (WRF) como predictor. El modelo usa una arquitectura personalizada que analiza el estado de la atmósfera en varias escalas y lo asocia con la topografía de alta resolución. Una función de pérdida dedicada conduce a métricas de puntuación buenas, así como a distribuciones precisas de la velocidad del viento en una serie de estaciones independientes utilizadas para una validación exhaustiva. Los campos de viento a resolución de 50 metros se generan de manera eficiente y muestran varios efectos orográficos esperados, como la aceleración en crestas, la protección y desviación del viento. Se presentan una serie de resultados de validación para testar la capacidad del modelo.

BOREAS: Combinando conocimientos de predicciones y proyecciones climáticas para incrementar la resiliencia del sector energético español frente a la variabilidad y el cambio climático

BOREAS: Blending knowledge from climate predictions and projections to make the Spanish energy sector more resilient to climate variability and change

P. Trascasa-Castro, V. Torralba, S. Moreno, M. Olmo, C. Delgado-Torres, V. Agudetse, S. Octenjak, E. Baulenas, A. Batalla, A. Lacima-Nadolnik, P. Cos, N. Pérez Zanón, A. Soret

Barcelona Supercomputing Center

RESUMEN

Spain is legally committed to carbon neutrality by 2050 but remains heavily dependent on imported energy and fossil fuels. Although greenhouse gas emissions fell by 35% between 2005 and 2023, renewables accounted for only 24.6% of energy consumption in 2024. To meet climate targets, Spain's green transition prioritises rapid expansion of wind and solar energy. Spain has a high potential for renewable energy generation, which could significantly reduce dependency on fossil fuels and, under appropriate infrastructural and regulatory conditions, support energy exports. In this context, the BOREAS project aims to support the sustainable and climate-resilient development of renewable energies. To this end, we explore the climate information needs of a range of stakeholders (mainly energy companies but also climate information providers), including indicators relevant for decision-making in the energy sector at different timescales. Among other aspects, BOREAS project produces monthly forecast outlook webinars aimed at energy providers, offering updates on recent climate conditions and upcoming subseasonal and seasonal forecasts of energy-relevant variables. At decadal timescales, a comprehensive comparison of statistical downscaling methods is being carried out. High-frequency energy-related indicators, including wind and solar capacity factors, are calculated alongside combined metrics to assess the complementarity of both energy sources, with results showing generally higher predictability for solar energy. In parallel, BOREAS develops strategies to merge climate predictions and projections into coherent climate information products, with successful examples of seasonal-to-decadal blending already demonstrated (doi.org/10.5194/esd-17-41-2026). This will overcome the issue of having inconsistent predictions due to using different sources of climate information for different timescales. We also work with future climate projections, exploring uncertainties in wind power generation in Europe with CMIP6 models. Beyond delivering tailored climate information, we explore predictability gaps in energy-relevant variables such as wind and precipitation. At seasonal timescales, we conduct process-based evaluations to understand how the model representation of specific physical processes (e.g., Tropical Atlantic SST and SLP variability, ENSO) in seasonal forecasting systems can be linked to the observed surface wind and precipitation over Northeast Brazil. At seasonal-to-decadal timescales, we enhance wind prediction skill over the Americas by subsampling ensemble members that best predict modes of internal variability such as the El Niño-Southern Oscillation.

Ayuda a la planificación de los vuelos con “unmanned aerial systems” (UAS) a partir de modelos de predicción meteorológicos específicos

Support for planning unmanned aerial systems (UAS) flights based on specific weather forecast models

J.L. Sánchez, G. Mérida, R. Weigand

GFA. IMARENA. Universidad de León

RESUMEN

The use of “unmanned aerial systems” (UAS) has increased exponentially in recent years. For civil flights, regulations are issued by EASA (European Aviation Safety Agency) and each country adapts them to its needs. Flights are conducted within the first 125 meters of height, in areas far from airports, therefore within the boundary layer, and with limited meteorological information. The successive projects we have carried out since 2018 aim to create decision-making tools that determine flight risks based on the limitations of the UAS to be used, and the analysis of meteorological conditions present in the first 125 meters of altitude. We also cover the entire Iberian Peninsula and the Balearic Islands with a 3 x 3 km resolution. Since these flights are highly influenced by the characteristics of each area and change over time, it is necessary to develop specific models. To this end, we used the facilities of the Barcelona Supercomputing Center (BSC) to run 20 WRF-based parameterization combinations and evaluate them with measurements taken from a UAS 8 (called METEOUAS), equipped with specific meteorological instrumentation developed by us and with the corresponding certifications to guarantee the quality of the measurements. The results of the comparisons have shown that the meteorological models that best predict weather conditions for UAS flights in one area differ completely from those that are most suitable in others. The ultimate goal of weather prediction models is to provide users with a tool that allows them to make the best decisions for safe flight. To this end, the tool allows, for each area, the determination of

- the hourly wind speed at different levels.
- vertical profiles according to the Skew-T diagram and tri-hourly changes.

In cases where the prediction models have been fine-tuned in areas where UAS prototypes are being developed, we have achieved a prediction that, in at least 50% of cases, the wind speed uncertainty at flight levels below 125 meters is less than ± 1 m/s. For temperature, the value is $\pm 1^\circ\text{C}$. This allows for the planning of flight tests and the selection of the levels and time windows that best suit the needs.

Acknowledgments: The use of forecast models has made use of the facilities of the Barcelona Supercomputing Center (BSC). The authors thankfully acknowledge RES resources provided by BSC. We would also like to acknowledge the support of Digital Aeronautics Engineering Services in the development of the application and of Nimbus5 as the developer of the measuring instruments that have made it possible to surpass the meteorological instrumentation currently available on the market, achieving high reliability.

Predicción estacional de índices climáticos combinando modelos dinámicos y métodos estadísticos

Seasonal forecasts of climate indices combining dynamical models and statistical methods

P. Fernández Castillo (1,2), E. Rodríguez Guisado (3), T. Losada Doval (2), B. Rodríguez de Fonseca (1,2)

(1) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid. (2) Instituto de Geociencias (IGEO), CSIC-UCM, Madrid. (3) Área de Evaluación y Modelización del Clima, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

La información recogida en diferentes índices climáticos (p. ej. nº de días de helada, nº de días consecutivos sin precipitación y nº de noches tropicales) es muy útil para una variedad de sectores, como la agricultura, generación de energía renovable o la salud, entre otros. Sin embargo, la predicción estacional (a varios meses vista) de estos índices supone un reto complejo, ya que implica trabajar con bases de datos de enorme volumen obtenidas a partir de modelos dinámicos. El coste computacional de este proceso es muy elevado, a menudo inasumible cuando se pretende abarcar áreas geográficas extensas, y la información puede tardar días en generarse, lo que limita su aplicabilidad. Frente a este reto, las metodologías híbridas emergen como una herramienta útil que permite ahorrar significativamente en el coste computacional. Estas metodologías suelen combinar datos de modelos dinámicos con técnicas estadísticas. Así, el objetivo principal de este trabajo consiste en generar predicciones estacionales de indicadores climáticos de impacto relevantes para diferentes sectores de una forma computacionalmente poco costosa. Para ello, el primer paso consiste en entrenar la metodología estadística para “aprender” cómo se relaciona un campo de circulación de gran escala con un índice climático concreto. Hecho esto, se aplica esta misma relación empírica a las predicciones estacionales de circulación de gran escala procedentes de modelos dinámicos para así generar predicciones híbridas del índice climático en cuestión. La metodología estadística que se emplea para aprender la relación empírica es el análisis de covarianza máxima (MCA, por sus siglas en inglés), que permite generar las predicciones híbridas de un índice climático en cuestión de minutos. Asimismo, se encuentra que las predicciones generadas con MCA presentan una capacidad predictiva (skill) relativamente buena, especialmente en aquellos índices relacionados con la temperatura en superficie. Por tanto, los resultados abren la puerta a la posibilidad de generar información sobre índices climáticos sectoriales también en el marco de la predicción estacional, como alternativa a tener que recurrir a los datos horarios de modelos dinámicos. Esto ofrece aplicaciones importantes para diversos sectores que demandan esta información.

De la Ciencia a la Operatividad: Servicios Climáticos de Predicción Estacional de TRAGSATEC para AEMET

From science to operations: TRAGSATEC's Seasonal Climate Prediction Services for AEMET

S. Sanfiz (1), M. Domínguez (1), M. Senande (2), E. Rodríguez-Guisado (3)

(1) TRAGSATEC – AEMET. (2) Mitiga S.L. (3) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

¿Cómo contribuye el apoyo técnico de TRAGSATEC a reforzar la predicción estacional en AEMET? Desde finales de 2024, en el marco del apoyo técnico prestado por TRAGSATEC a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), se ha desarrollado un trabajo continuado de procesamiento, postproceso y evaluación de predicciones estacionales con el objetivo de mejorar su capacidad predictiva (skill) en la Península Ibérica. Usando predicciones estacionales de diferentes modelos de Copernicus Climate Change Service (C3S), se han aplicado diversas técnicas estadísticas de postproceso, con especial atención al invierno del hemisferio Norte, periodo en el que existe un mayor potencial de mejora de la predicción estacional. Estas metodologías se han evaluado mediante verificación, comparando su rendimiento con la predicción en bruto (sin postproceso), y analizando tanto habilidades deterministas como probabilísticas a escalas mensuales y estacionales. Además, se ha puesto especial énfasis en la visualización avanzada de resultados y su comunicación, desarrollando productos gráficos e interfaces generados mediante herramientas de programación, con el objetivo de facilitar la interpretación y el uso de la información por perfiles operativos. Estos desarrollos contribuyen a mejorar la transferencia desde la predicción estacional a productos útiles para la toma de decisiones en AEMET. El proyecto continúa en marcha, finalizando a mediados de 2026.

Serviço Meteorológico Português: Passado, Presente e Desafios Futuros

Portuguese Meteorological Service: Past, Present and Future Challenges

L. Bugalho (1), M. Pereira (1,2), O. Rasquinho (1), D. Henriques (3)

(1) Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica (APMG). (2) CITAB, Inov4Agro, UTAD, Vila Real, Portugal; IDL, FCUL, Lisboa, Portugal. (3) IPMA, Dept. Meteorologia, Açores, Portugal

RESUMEN

As atividades de meteorologia em Portugal remontam ao séc. XV, com a fundação da Escola de Sagres. Observações meteorológicas sistemáticas tiveram início no séc. XVIII. O Observatório do Infante D. Luís foi fundado em 1853 e o seu diretor foi o representante de Portugal no I Congresso Meteorológico Internacional, realizado em 1873, em Viena. Este evento contou com a participação de representantes de 12 países, decidindo criar um organismo internacional destinado a coordenar e uniformizar as atividades meteorológicas a serem realizadas em todo o mundo. Em 1878, foi instituída a Organização Meteorológica Internacional (OMI). A Convenção Meteorológica Mundial, adotada em 1947, entrou em vigor em 23 de março de 1950, criando a Organização Meteorológica Mundial (WMO) em substituição à OMI. Em 1901 foi criado o Serviço Meteorológico dos Açores, representando a primeira tentativa para o estabelecimento de um serviço meteorológico internacional, graças à recente instalação do cabo submarino que ligava o continente americano ao europeu. Em 1946, foi criado o Serviço Meteorológico Nacional (SMN), que unificou vários serviços dispersos, incluindo o dos Açores. No início da década de setenta, foi criada a Unidade de Previsão Matemática do Tempo, que iniciou este tipo de previsão em Portugal e foi dissolvida alguns anos depois, sob o pretexto de que, com a integração, em 1976, no European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), como um dos seus estados-membros fundadores, a sua continuação seria redundante. Em 1976, o SMN foi extinto e reestruturado como Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG), adquirindo um estatuto mais técnico-científico. Em 1993, o INMG deu origem ao Instituto de Meteorologia (IM) e formou-se um novo grupo de trabalho de previsão numérica do tempo. Em 2012, foi criado o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), que passou a integrar o IM e o Instituto Nacional de Recursos Biológicos (INRB). O SMP passou por períodos de instabilidade política (1910–1926) e crises económicas (nos períodos entre as Guerras Mundiais, após a II Guerra Mundial e após 1992). Nestes períodos, o SMP sofreu desinvestimento, com impactos significativos, especialmente na desvalorização e perda de profissionais qualificados, no melhoramento da rede de observação, na manutenção e calibração dos instrumentos, comprometendo, por alguns períodos, a confiabilidade dos dados observados. Apesar das dificuldades, o SMP tem conseguido responder aos desafios, informando e alertando as populações. O SMP enfrenta desafios para o futuro relacionados com a manutenção e modernização da rede de observação; digitalização e automatização da recolha e tratamento de dados; formação de profissionais; produção de previsões detalhadas e localizadas; emissão de alertas precoces e eficazes sobre fenómenos extremos; apoio à Proteção Civil. Este conjunto de desafios implica maior investimento e eficácia, maior apoio à investigação e ao serviço público operacional e colaboração mais eficaz com universidades, serviços públicos e privados.

Las plataformas AgroClima y DataClima: una forma sencilla, intuitiva e interactiva de acceder a datos climáticos y agroclimáticos en Portugal

The AgroClima and DataClima platforms: a user-friendly and interactive way to access climatic and agroclimatic data in Portugal

C. Pereira (1), R. de Melo Durão (1), V. Pires (1), L. Oliveira (1), N. Camara (1), J. Ferreira (1), R. Deus (1), A. Oliveira (2), I. Girão (2), R. Cunha (2), P. Salge (2)

(1) Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), Lisboa. (2) CoLAB +ATLANTIC, Lisboa

RESUMEN

Under the framework of the ECMWF's Copernicus Climate Change Service (C3S), the Portuguese Institute for the Sea and Atmosphere (IPMA), in collaboration with the +ATLANTIC CoLAB, as coordinator of the National Collaborative Programme for Portugal (NCP Portugal), developed an interactive way to access, visualize, and download relevant climate information for Portugal. By building 2 digital platforms – both with climate data from downscaled ECMWF's ERA5 reanalysis (3x3km), ECMWF's weather forecasts (9x9km) and interpolated IPMA's weather station networks, the platforms are targeted to various stakeholders, such as agriculture, agroforestry, hydrology, water management, energy, health, environment, civil protection or society. Through stakeholder consultations and the development of a continuously updated national user requirements database (URDB), NCP Portugal ensures that climate services are tailored to sectoral demands. The indicators present in both platforms vary from air temperature statistics (mean, maximum, and minimum, number of days above or below certain thresholds), total precipitation, wind speed, ground or surface temperature, relative air humidity, chill hours, soil moisture, drought and aridity indexes, evapotranspiration, among others. Led by IPMA, Portugal's national meteorological authority with long-standing operational and scientific expertise, and supported by +ATLANTIC CoLAB's agile delivery capacity, particularly in terms of translating user needs into applications and learning materials. The NCP Portugal team integrates multidisciplinary specialists in climate science, data analysis, and stakeholder engagement. Together, aim to promote climate resilience, informed policy-making, and effective use of Copernicus datasets through accessible, user-centred and operationally relevant climate services, in full alignment with the C3S vision for the future.

Modelización de zonas propensas a los aludes en la Sierra de Guadarrama

Modelling snow-avalanche prone areas in the Sierra de Guadarrama

A. Chazarra (1), J.A. Fernández-Cañadas (1), L. Pantoja (1), A. Pantoja (2)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) Asociación RecMountain

RESUMEN

Desde 2009, la Agencia Estatal de Meteorología emite, durante la temporada de nieve, boletines nivológicos y de peligro de aludes para la sierra de Guadarrama, en los cuales se informa del estado del manto nivoso y se evalúa el nivel de peligro de aludes conforme a la Escala Europea. Las descripciones incluidas en los boletines de peligro de aludes de las zonas propensas a la ocurrencia de avalanchas son, por definición, generales, limitándose normalmente a informar sobre las orientaciones y las altitudes en las que son más probables. En este trabajo se muestran los resultados que se han obtenido al estimar las zonas potenciales de salida y de recorrido de aludes en la sierra de Guadarrama utilizando el modelo "Gravitational Process Path". El modelo se calibró a partir de un registro histórico de aludes observados en la zona de estudio, y se aplicó utilizando un modelo digital de elevaciones y un modelo de vegetación de alta resolución para estimar las áreas propensas a aludes en zonas cercanas donde no existe un registro detallado de avalanchas de nieve. Finalmente, se realizó una validación de los resultados obtenidos comparándolos con los aludes observados. Los resultados obtenidos se han utilizado para generar un mapa con la clasificación del terreno ATEs (Avalanche Terrain Exposure Scale), la cual permite evaluar el grado de exposición del terreno a los aludes en función de sus características intrínsecas, como pendiente, orientación, etc. Es una herramienta que complementa a los boletines de peligro de aludes y que resulta fundamental para la gestión del riesgo asociado a las avalanchas de nieve, ya que permite distinguir, en función del peligro previsto en el boletín, las zonas en las que la probabilidad de ocurrencia de accidentes debidos a aludes es mayor.

Modelización de la formación de estelas producida por tráfico aéreo

Modeling the formation of contrails produced by air traffic

A. Fornieles-Castro (1), L. Sánchez (2), R. Weigand (1), J.L. Sánchez (1)

(1) GFA, IMARENA, Universidad de León. (2) Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, Ministerio de Defensa

RESUMEN

The formation of contrails from aircraft has generated controversy over the years and an interesting scientific debate surrounding two very different types of impact: their effect on military flights and their contribution to global warming. The relative humidity near the tropopause rarely exceeds 40% or 50% in most cases. This means that at the low temperatures found in these regions, the amount of available ambient water vapor is very low. Under these atmospheric conditions, when an aircraft crosses these levels with its engines running, a considerable and significant amount of water vapor is emitted due to the combustion process in the engines. Therefore, the mass of ambient water vapor is added to that produced at the engine nozzles. If the temperature of this vapor is below -41°C and the surrounding environment is saturated, spontaneous nucleation occurs, forming ice crystals. This work shows the meteorological conditions necessary for the formation of these contrails, differentiating between persistent and non-persistent ones. The Schmidt-Appleman model, to account for the increase in water vapor per unit mass due to fuel consumed, defines the parameter EI, which is a vapor emission index. Considering the heat capacity of air, the calorific value of the fuel and the propulsive efficiency of the engine, the parameter G is calculated, which represents the relationship between the increase in the partial pressure of the vapor added by the combustion of the fuel and the increase in the temperature produced. To do this, the Schmidt-Appleman model was refined and applied to a sample of 50 cases, half without contrails and the other half with them. The characteristics of the engine type and fuel most used in commercial air transport flights were used. The results show high reliability of the model in detecting the altitudes at which contrails can appear, depending on the meteorological conditions, distinguishing between persistent and more ephemeral ones. Based on these results from the application of the model, it is possible to establish, among other things, a climatology of this type of cloud artificially created by air traffic. The results show that for a given flight level, such as that corresponding to 39 kft, in the months when the temperature is lower, i.e., in winter, it is more likely that condensation trails formed by the exhaust gases from aircraft engines will form, than in those other months when the temperature is higher and therefore it is a little more difficult to reach vapor saturation.

Acknowledgments: The use of forecast models has made use of the facilities of the Barcelona Supercomputing (BSC). The authors thankfully acknowledge RES resources provided by BSC.

Riesgos climáticos en sistemas eléctricos aislados: el impacto del polvo sahariano en la generación fotovoltaica en Canarias

Climate-driven risks in isolated power systems: the impact of Saharan dust on photovoltaic generation in the Canary Islands

C. Gutiérrez, R. Vázquez, E. Scott, F.J. Álvarez-García, J.C. Nieto-Borge, W. Cabos

Depto. Física y Matemáticas, Universidad de Alcalá

RESUMEN

Las intrusiones de polvo sahariano tienen un impacto significativo en ciertas regiones del mundo. Reducen la radiación solar que alcanza los paneles fotovoltaicos (FV) y pueden depositarse sobre ellos, disminuyendo la producción de energía. La Unión Europea ha reconocido la mayor vulnerabilidad de las regiones insulares al cambio climático, enfatizando la importancia de estrategias de adaptación específicas. Estas regiones, con su dependencia de las importaciones de energía y los picos de demanda estacionales debido al turismo, deben aumentar la integración de energías renovables para reducir tanto las emisiones de gases de efecto invernadero como la dependencia energética exterior. Sin embargo, una mayor dependencia de las renovables hace que la generación de energía sea más sensible a la variabilidad atmosférica. Este estudio examina si las intrusiones de polvo sahariano podrían representar un riesgo significativo para un sistema eléctrico aislado con alta penetración fotovoltaica (FV). Con este objetivo analizamos el sistema de las Islas Canarias, un archipiélago altamente expuesto a estos eventos. El riesgo surge de la creciente frecuencia de estos eventos de polvo combinada con la vulnerabilidad del sistema, que se vuelve crítica cuando la producción FV reducida, causada por polvo suspendido o depositado, coincide con períodos de alta demanda eléctrica. Este enfoque mejora la comprensión de los riesgos asociados a los días con altas cargas de aerosoles y apoya la creación de estrategias de mitigación para garantizar la fiabilidad energética en sistemas aislados.

La nueva generación de escenarios de cambio climático nacionales: Escenarios PNACC y el visor de AdapteCCa

The new generation of national climate change scenarios: "Escenarios PNACC" and the AdapteCCa viewer tool

A. Hernanz (1), C. Correa (1), E. Rodríguez (1), M.Y. Luna (1), A.B. Morata (1), M. Iturbide (2), J.M. Gutiérrez (2), M. Sánchez (3), R. Labad (2), J.F. Heras (3), A. Lancho (4)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (3) Oficina Española de Cambio Climático. (4) Fundación Biodiversidad

RESUMEN

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) tiene el mandato de proveer de escenarios de cambio climático para el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Estos escenarios se elaboran con la colaboración de varias instituciones en el denominado Grupo de Trabajo de Escenarios PNACC, conformado por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), la Fundación Biodiversidad (FB) y AEMET. Así mismo, existe una estrecha colaboración con la plataforma PTI-Clima, donde se abordan servicios climáticos e información climática en otros horizontes temporales (climatología, monitorización, predicción estacional). Los escenarios nacionales provienen de dos fuentes: los modelos regionales del proyecto EURO-CORDEX y la regionalización estadística llevada a cabo por el AEMET y CSIC, y ambas fuentes de datos se nutren de las proyecciones globales de CMIP. Se ha realizado un trabajo de evaluación y selección de modelos globales atendiendo a diversos criterios, con el fin de seleccionar un "ensemble" multimodelo fiable para nuestra región y representativo del cambio proyectado y la incertidumbre existente. La nueva generación de escenarios, coincidente con la sexta fase de CMIP (CMIP6) y el sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6), ya ha sido generada mediante métodos estadísticos y está a disposición de la ciudadanía. Para dicha regionalización se han empleado dos metodologías, una basada en regresión (lineal para temperatura y con árboles de decisión para precipitación, ambas con un ajuste de sesgos; "RegBA"), y otra basada en redes neuronales convolucionales (DeepESD). Se han empleado las sendas de emisiones SSP1-2.6 (emisiones bajas), SSP2-4.5 (emisiones medias), SSP3-7.0 (emisiones altas) y SSP5-8.5 (emisiones muy altas). La regionalización se ha ejecutado sobre un amplio conjunto de estaciones de AEMET y sobre una rejilla de alta resolución de aproximadamente 5 km (2.5 km en Canarias). Sin embargo, los escenarios dinámicos (EURO-CORDEX anidado en CMIP6) aún están en proceso de generación y serán incorporados en un futuro. Existen dos plataformas para acceder a los escenarios nacionales, una orientada a la fácil visualización y navegación de los principales conjuntos de datos, el visor de AdapteCCa (<https://escenarios.adaptecca.es/>) y otra orientada a la descarga masiva de datos (<https://archivo-proyecciones-climaticas.aemet.es/>). El archivo de proyecciones permite la descarga por subregiones (provincias, comunidades autónomas o cuencas hidrográficas) de los ficheros con dato diario, mientras que el visor de AdapteCCa dispone además de un amplio conjunto de índices climáticos de interés para la comunidad de impactos y adaptación (olas de calor, noches cálidas, número de días con precipitación, etc.)

Análisis meteorológico de eventos de estrés en el sistema eléctrico español a partir de simulaciones con PyPSA

Meteorological analysis of stress events in the Spanish power system based on PyPSA simulations

F.J. Santos-Alamillos (1), L. Pinilla-Ortiz (1), J.A. Ruiz-Arias (1), C. Gallego-Castillo (2), D. Pozo-Vázquez (3), J. Tovar-Pescador (4)

(1) Depto. Física Aplicada I, Universidad de Málaga. (2) Depto. Aeronaves y Vehículos Espaciales, Universidad Politécnica de Madrid. (3) IISTA, Depto. Física, Universidad Jaén. (4) Depto. Física, Universidad Jaén

RESUMEN

El despliegue a gran escala de energías renovables variables – principalmente solar fotovoltaica y eólica – supone un reto para la operación de los sistemas eléctricos. La variabilidad inherente de dichos recursos puede comprometer la seguridad de suministro y dificultar el equilibrio entre generación y demanda en todo momento. En particular, cuando se encadenan periodos de baja producción renovable con una demanda elevada, el sistema puede entrar en un escenario de estrés operativo, obligando a incrementar de forma significativa el despacho de tecnologías de respaldo (térmicas, hidráulicas regulables, importaciones o servicios complementarios). Esto se traduce en un aumento del precio marginal de la electricidad, al estar determinado por generación de mayor coste, para mantener el equilibrio y la operación dentro de condiciones seguras. Si estas condiciones se prolongan, el operador puede verse obligado a aplicar medidas de emergencia, como la activación de protecciones automáticas de desconexión de carga, pudiendo incluso derivar en caídas parciales del sistema eléctrico. PyPSA (Python for Power System Analysis) es una herramienta de modelado y simulación ampliamente utilizada en el ámbito académico y de investigación, que permite representar la operación del sistema eléctrico con resolución horaria integrando de forma coherente sus principales componentes: generación, demanda, transmisión y almacenamiento. Gracias a estas capacidades, es posible reproducir de manera realista y fiable el comportamiento del sistema para evaluar su respuesta ante diferentes condiciones de operación, incluyendo la detección de episodios potencialmente críticos. Este trabajo analiza la relación entre la meteorología y episodios de estrés en el sistema eléctrico mediante simulaciones realizadas con PyPSA. Para ello, se ha modelado la operación del sistema eléctrico español durante el periodo 2015–2024 a partir de un modelo simplificado aislado y con flexibilidad operativa limitada, con el objetivo de facilitar la identificación de las situaciones potenciales en que los condicionantes meteorológicos tienen una mayor influencia sobre la operación del sistema. Los episodios de estrés se han identificado a partir del comportamiento del precio marginal, prestando especial atención a intervalos con precios elevados. Una vez detectados, se ha realizado un análisis meteorológico orientado a caracterizar los patrones atmosféricos y las situaciones sinópticas asociadas a dichos episodios, con el fin de comprender con mayor profundidad cómo la variabilidad meteorológica condiciona la estabilidad del sistema eléctrico.

La Plataforma Estatal de Servicios Climáticos de la AEMET y el CSIC

The National Platform for Climate Services of AEMET and CSIC

A. Morata (1), Y. Luna (1), E. Rodríguez (1), J.M. Gutiérrez (2), S. Vicente (3), S. Beguería (4), D. Barriopedro (5), C. Azorín (6), R. García (5)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) IFCA. (3) Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Zaragoza. (4) Estación Experimental de Aula Dei, CSIC, Zaragoza. (5) Instituto de Geociencias, Madrid. (6) Centro de Investigaciones Sobre Desertificación, CSIC, Valencia

RESUMEN

La AEMET y el CSIC, a través de la Plataforma Temática Interdisciplinar de Clima y Servicios Climáticos (PTI+Clima), están desarrollando una Plataforma Estatal de Servicios Climáticos que integra diez servicios climáticos operativos en áreas clave como extremos térmicos y de precipitación, sequías, viento, predicción estacional o agroclimatología. El lanzamiento de la Plataforma está previsto para mediados de 2026 y se ejecuta en el marco del PRTR, financiado por el MITECO y la Comisión Europea – NextGenerationEU. El desarrollo de Servicios Climáticos responde a un marco global impulsado por la OMM, que formuló el Marco Global de Servicios Climáticos (GFCS) para promover la información climática en la toma de decisiones. En este contexto, la Plataforma combina la capacidad investigadora de la PTI+Clima, que aporta investigación y el desarrollo de nuevas y metodologías, con el papel de AEMET como referencia nacional en climatología, en validación, estandarización y consolidación de los productos climáticos conforme a los marcos de la OMM, Copernicus y GCOS, y de su alineamiento estratégico con el PNACC. Los servicios se desarrollan sobre infraestructuras de la PTI+Clima y se integran en los sistemas de AEMET, garantizando su funcionamiento operativo, el mantenimiento a largo plazo y la coherencia con los estándares nacionales e internacionales. De este modo, la PTI contribuye al avance metodológico mediante nuevas herramientas de procesado, modelización, regionalización y análisis, mientras que AEMET actúa como proveedor de datos y responsable de traducir el conocimiento en servicios operativos sostenibles, reproducibles y utilizables por administraciones públicas, sectores productivos y la sociedad. La Plataforma ha creado diez servicios climáticos temáticos operativos que abarcan distintos aspectos del clima y sus impactos, incluyendo la predicción estacional, los eventos extremos de temperatura, las sequías meteorológicas, los eventos de precipitación extrema, el viento, la agroclimatología, la radiación, los indicadores de cambio climático, el riesgo meteorológico de incendios forestales y la atribución de extremos al cambio climático. Estos servicios cubren escalas temporales que van desde la climatología histórica hasta pronósticos estacionales y proyecciones a largo plazo, proporcionando información relevante para sectores como la agricultura, la gestión del agua, la energía y la planificación urbana. La Plataforma adopta un enfoque interdisciplinar que integra observaciones de alta resolución, simulaciones y productos de iniciativas internacionales como Copernicus, junto con desarrollos propios en verificación y generación de indicadores climáticos. AEMET desempeña un papel central en la operatividad del conocimiento climático, asegurando que los avances científicos se traduzcan en servicios consistentes y comparables en el tiempo, mientras que el CSIC contribuye al fortalecimiento del conocimiento fundamental que sustenta dichos servicios.

La formación en predicción meteorológica. Pasado, presente y futuro

Training on weather forecasting. Past, present and future

A. Roa

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

La formación de expertos en predicción meteorológica ha sido una cuestión esencial para los Servicios Meteorológicos de todo el mundo desde sus orígenes. Así lo ha entendido la Organización Meteorológica Mundial, que hace ya muchos años incluyó en su Reglamento Técnico un apartado sobre enseñanza y formación profesional del personal meteorológico, que divide en dos clases, el de Meteorólogos y el de Técnicos en Meteorología. Los predictores meteorológicos entran dentro de la primera de las dos clases, y sus tareas incluyen no sólo los conocimientos técnicos necesarios, sino también las capacidades de comunicación con toda clase de usuarios. Por su parte, los diversos Servicios Meteorológicos del Mundo imparten formación a sus predictores, siendo ejemplares algunos como Météo-France y algunos otros. También algunos organismos meteorológicos que no son Servicios Nacionales, tales como el *European Laboratory of Severe Storms* (ESSL) imparten formación especializada para predictores. En el contexto actual de irrupción de la Inteligencia Artificial y dada la cada mayor importancia de la correcta comunicación de las predicciones meteorológicas en el entorno determinado por cambio climático, es esencial buscar nuevas maneras de formar al personal dedicado a la predicción, pero sin olvidar el conocimiento y el legado que atesoran los Servicios Meteorológicos Nacionales, tales como AEMET.

Seguridad, riesgo y vulnerabilidad. El caso del cierre del Parque del Retiro de Madrid en verano

Safety, risk and vulnerability. The case of the closure of Madrid's Retiro Park in summer

M. Palomares

Asociación Meteorológica Española (AME)

RESUMEN

Dictionaries define Safety as the condition of being safe; freedom from danger, risk or injury. Weather elements pose a threat to life, property and the environment when they are intense or persist for abnormal periods of time. Hazardous and extreme weather exist on widely varying temporal and spatial scales. The term safety is generally accepted to be referred to human life, rather than to property or goods. In any case ethics prioritises protection of human life whatever be the lost of material goods. However, destruction of property and resources in natural disasters can lead to lost of lives as a later consequence. Therefore, Risk can be defined as “the degree of probability of loss or injury” as a consequence of a given scenario. The scenario includes the factor potentially provoking losses or injuries and the vulnerability of persons or material goods to that factor, which on its turn depends on different conditions. In the simplified context of risk of death or injuries to human individuals due to hazards related to weather the Risk can then be expressed as: $Risk = Hazard\ Probability \times Human\ Vulnerability$, where Probability is expressed in the mathematical sense and Vulnerability also ranges from 0 to 1. If every person subject to the hazard is injured, the vulnerability takes the value 1, and it decreases as the probability of being injured by the hazard decreases. Of course the vulnerability depends on the intensity of the hazard. For the sake of simplification, it is usual to use thresholds which raise the hazard risk to significant levels, for instance “winds higher than 100 Km/h”. Some hazards are dangerous enough to make unnecessary to define intensity thresholds: avalanches, tornados.

The case of the Retiro Park in Madrid: The Retiro Park is a broad vegetal area with lakes in the very centre of Madrid. There is a growing discontent among residents and visitors regarding the frequent summer closures of the park, allegedly for safety reasons due to weather-related risks. However, temperatures in Madrid may very well reach 35 °C or higher in summer and the benefit of shadow and fresh air in the park also contributes to safety, particularly for elder people. The closure protocol in summer depends on the information the City Council receives from the State Meteorological Agency. The park is closed if thunderstorms are forecasted with high probability in the area of Madrid. This is because thunderstorms may produce strong gusts of wind at surface and also lightning hitting trees. In both cases there is risk of branches falling over people in the park. In principle, this closure protocol seems appropriate, but a closer study reveals a series of inconsistencies. This and other shortcomings related to the rational use of information are addressed in the full study.

Mejorando la comprensión y predicción de brisas marinas y sus efectos en las condiciones meteorológicas de regiones semiáridas complejas: la campaña brisa en la costa de Cádiz

Improving the understanding and prediction of sea breezes and their effects on the meteorological conditions of complex semi-arid regions: the brisa field campaign on the coast of Cádiz

C. Román-Cascón (1), M.A. Jiménez (2), D. Martínez-Villagrasa (2), R. Mañanes (1), J. Mercader (3), J. R. Miró (3), E. Luján-Amoraga (1), M. Bolado-Penagos (1), J. Cuxart (2), P. Le Moigne (4), A. Boone (4), S. Kral (5, 6), J. Reuder (5,6), B. Wrenger (7), J. Groh (8), E. Pardyjak (9)

(1) Applied Physics Dept., INMAR, CEIMAR, University of Cádiz, Spain. (2) Physics Dept., University of the Balearic Islands, Mallorca, Spain. (3) Applied Research and Modelling Dept., Meteorological Service of Catalonia, Barcelona, Spain. (4) CNRM, CNRS, Météo-France, Toulouse, France. (5) Geophysical Institute and BOW, University of Bergen, Bergen, Norway. (6) Bjerknes Centre for Climate Research, Bergen, Norway. (7) Dept. Environmental Engineering and Computer Science, University of Applied Sciences Ostwestfalen-Lippe, Höxter, Germany. (8) Institute of Bio- and Geoscience IBG-3: Agrosphere, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Germany. (9) University of Utah, US

RESUMEN

The BRISA project focuses on sea breezes developed in three Spanish semi-arid areas: the coast of the Gulf of Cadiz, the island of Mallorca and the eastern part of the Ebro Valley. The breezes in these regions interact with processes of different scales, such as the mesoscale thermal-low pressure systems formed over the Iberian Peninsula in summer, the secondary circulations generated in inhomogeneous surfaces characterised by wetlands and irrigated/non-irrigated agricultural patches, or the thermally driven flows favoured in complex-terrain regions. These interactions affect the formation and the characteristics of the sea breezes, with numerous impacts that affect society, highlighting their thermoregulatory role during extreme temperatures, or their importance for inland and offshore wind energy resources, among others. The methodology proposed in the BRISA project (PID2024-159841OA-I00) combines the use of long-term in situ observations and experimental field campaigns, as well as the use of numerical weather prediction models. In this work, we present the BRISA-Cádiz field campaign (July 2026), which will bring together national and international boundary-layer researchers and oceanographers to characterise the horizontal and vertical extension of the breezes. Among the planned activities are the installation of a WindCube LIDAR just at the shoreline, the launching of frequent radiosondes inland and at sea, the profiling of the atmosphere with tethered balloons, the use of drones with instrumentation to characterise the horizontal boundary-layer meteorology and turbulence contrasts between the land and the sea, or the use of marine instrumentation to monitor the sea surface conditions. The high amount of data expected to be gathered during the intensive observational periods will allow us to study how these phenomena form, evolve, and impact the meteorological conditions in coastal sites. The next step following the observational characterisation of the breezes will be the evaluation of high-resolution numerical models, to ultimately improve how these processes should be represented within them.

COCCON-España: Hacia un Sistema Integrado para la Observación de Gases de Efecto Invernadero en España

COCCON-Spain: Towards an Integrated System for the Observation of Greenhouse Gases in Spain

O.E. García (1), N. Taquet (2), E. Sepúlveda (2), I. Cabello (2), R. Ramos (1), F. Hase (3), D. Dubravika (3), J. Chen (4), M. Makowski (4), A. Alcántara (1), V. Carreño (1), P. P. Rivas (1), A. Álvarez (2), M. Yela (5), J.A. Adame (5), G. Villalba-Méndez (6), R. Curcoll (7), A. Calle (8), R. González (8), P. Martín-Mateos (9), A. Collado-Rodríguez (9), Ó. Bonilla-Manrique (9), J. Alonso-Montesinos (10), J. M. Ballestrín-Bolea (11), M. Guevara (12), P. Castesana (12), C. Pérez García-Pando (12), C. Torres (1)

(1) Centro de Investigación Atmosférica de Izaña-Agencia Estatal de Meteorología. (2) TRAGSATEC. (3) Instituto de Tecnología de Karlsruhe. (4) Universidad Técnica de Munich. (5) Área de Instrumentación e Investigación Atmosférica-Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. (6) Instituto de Ciencia y Tecnología Ambiental-Universidad Autónoma de Barcelona. (7) Institut de Tècniques Energètiques-Universitat Politècnica de Catalunya. (8) Grupo de Óptica Atmosférica-Universidad de Valladolid. (9) Depto. Tecnología Electrónica-Universidad Carlos III de Madrid. (10) Grupo de Recursos Energéticos Solares, Climatología y Física de la Atmósfera-Universidad de Almería. (11) Plataforma Solar de Almería-Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. (12) Centro de Supercomputación de Barcelona

RESUMEN

La disponibilidad de información sobre gases de efecto invernadero (GEI) atmosféricos es crucial para desarrollar políticas efectivas de mitigación, seguir el progreso hacia los objetivos de reducción de emisiones y respaldar las acciones de adaptación necesarias para abordar los crecientes efectos del calentamiento global. Los sistemas de observación integrados y multidisciplinarios son herramientas necesarias para mejorar el conocimiento de los ciclos de carbono a diferentes escalas temporales y espaciales. En este contexto, este trabajo proporciona una visión general de un sistema integrado de observación de GEI en España, COCCON-España, que se encuentra actualmente en fase de implementación por parte de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). El sistema de observación previsto tiene como principal objetivo cubrir la falta latente de observaciones atmosféricas de GEI en España, incluyendo estimaciones de emisiones de GEI en los principales puntos críticos urbano-industriales a nivel nacional (Madrid y Barcelona). COCCON-España será la primera infraestructura permanente a nivel nacional para monitorear concentraciones y emisiones atmosféricas de GEI mediante observaciones de teledetección terrestre. Colaborará estrechamente con otras iniciativas de GEI como ICOS-España, así como con redes regionales y locales de medida de GEI para construir un sistema integrado para la observación de GEI en España. El sistema integrado resultante será una herramienta indispensable para la verificación de los inventarios de emisiones y las acciones de mitigación adoptadas a nivel nacional, así como para la validación de misiones actuales y futuras satelitales de GEI. (Financiación: Next Generation EU – actuaciones P02.C05.I03.P51.S000.42, P02.C05.I03.P05.S000.43 y P02.C05.I03.P05.S000.44)

Evaluación de la deposición de polvo en Murcia mediante observaciones corregidas y modelos MERRA-2, CAMS y MONARCH

Evaluation of dust deposition in Murcia using corrected observations and the MERRA-2, CAMS and MONARCH models

A. García Abenza

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) - Centro Meteorológico de Málaga

RESUMEN

La deposición de polvo mineral procedente del norte de África es un fenómeno muy relevante en el sureste peninsular, con implicaciones en la calidad del aire, visibilidad y procesos biogeoquímicos. Tras la caracterización en trabajos previos de la climatología de las lluvias de barro en la España peninsular y Baleares [1], el presente estudio evalúa la capacidad de distintos sistemas de modelización para reproducir la deposición total registrada en un emplazamiento de referencia. Para ello se analiza la serie diaria del observatorio de Murcia (AEMET) entre octubre de 2024 y octubre de 2025. El registro observado combina aportes saharianos y un nivel basal local asociado a sedimentación cercana, resuspensión y ruido instrumental, lo que dificulta su comparación directa con modelos globales o regionales. Para mejorar esta comparabilidad se aplica una corrección simple substrayendo la mediana de la serie observada, interpretada como un nivel basal no sahariano. La mediana preserva la señal de los episodios relevantes. Los valores negativos tras la resta se fijan a cero, generando una serie “observada corregida” más coherente con la deposición mineral representada por los modelos. Se comparan tres sistemas ampliamente utilizados: el reanálisis MERRA-2 [2], los pronósticos globales de CAMS, basados en el sistema químico operativo del Integrated Forecasting System de ECMWF [3], y MONARCH [4], un modelo químico de predicción meteorológica multiescala. El análisis incluye: (i) evolución acumulada, (ii) series suavizadas mediante media móvil de tres días y (iii) diagramas de dispersión frente a las observaciones brutas y corregidas. Los acumulados muestran patrones consistentes: MERRA-2 subestima la deposición de manera sistemática; CAMS tiende a sobreestimar los episodios húmedos intensos; y MONARCH reproduce con mayor fidelidad la magnitud acumulada. Tras la suavización temporal se observa que MONARCH captura mejor la estructura de los principales episodios saharianos, mientras que CAMS sobre amplifica algunos eventos y MERRA-2 presenta una señal demasiado amortiguada. Los diagramas de dispersión confirman estas tendencias: CAMS y MONARCH muestran mayor coherencia con la distribución observada, mientras que MERRA-2 exhibe baja variabilidad y un sesgo negativo persistente. En su conjunto, los resultados sugieren que MONARCH presenta el comportamiento más equilibrado para reproducir la deposición sahariana en Murcia durante el periodo analizado. Referencias: [1] García Abenza, A., et al. (2024). Climatologías de lluvias de barro en la España peninsular e Islas Baleares. XXXVI Jornadas Científicas de la AME. [2] Gelaro, R. et al. (2017). The MERRA-2 reanalysis. *J. Climate*, 30, 5419–5454. [3] Flemming, J. et al. (2015). Tropospheric chemistry in the ECMWF IFS. *Geosci. Model Dev.*, 8, 975–1003. [4] Klose, M. et al. (2021). Mineral dust cycle in MONARCH v2.0. *Geosci. Model Dev.*, 14, 6403–6444.

Meteo-Dron: un nuevo dron de bajo coste para la monitorización meteorológica y fenómenos de tiempo severo

A new low-cost unmanned aerial vehicle (Meteo-Dron) for monitoring upper air weather data and severe weather phenomena

C. Azorin-Molina (1), A. Pirooz (2), N. Kay (3), J. Gómez-Reyes (1), C. Calvo-Sancho (1)

(1) Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CIDE, CSIC-UV-GVA), Laboratorio de Clima, Atmósfera y Océano (CLIMATOC-LAB), Valencia, España. (2) National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), New Zealand. (3) The University of Auckland (UOA), Auckland, New Zealand

RESUMEN

In the framework of the ThinkInAzul programme, the WIND-COAST project is a joint collaboration between the CSIC, NIWA and UOA aimed at designing and developing a new inexpensive “Meteo-Dron” for monitoring weather data across the low and mid-levels of the troposphere (up to 5,000-7,000 m a.s.l.). The Meteo-Dron is based on a DJI Matrice 350 RTK drone, equipped with the LI-550 TriSonica Mini Wind & Weather Sensor as its size and weight make it perfect for Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The Meteo-Dron reports wind speed, direction, air temperature, humidity, pressure, tilt, and compass data. The prototype has already been tested and calibrated in the wind tunnel of UOA to correct motion errors and evaluate its performance in different conditions of wind and turbulence. Field campaigns already started in September 2024 in New Zealand and Spain, first by flying the Meteo-Dron near a 10-m weather station from NIWA. The Meteo-Dron has potential in the long-term to be the substitute of existing operational radiosonde systems such as sounding balloons, which are very expensive and have relatively high environmental impact. The use of Meteo-Dron will lead to better real-time monitoring and forecasting of extreme weather events, in a more sustainable and less costly way. For instance, this novel equipment could improve convection-permitting models by sampling water content with high accuracy; e.g., HARMONIE does not properly estimate this parameter and the potential energy available to develop deep convection. Therefore, its ability to monitor wind storms and capabilities to improve the nowcasting of severe weather could be very useful for different socioeconomic sectors. For instance, the Meteo-Dron can have a wide range of applications, as e.g. being used by the General Directorate for the Prevention of Forest Fires in Valencia, supporting both the extinguishing and emergency management tasks.

Caracterización de los vientos de valle nocturnos a partir de una campaña observacional de un año en el Valle de Aure (Francia)

Characterisation of nocturnal valley winds from a one-year observational campaign in the Aure Valley (France)

P. Ortiz-Corral (1), C. Román-Cascón (2), J. Sun (3), F. Lohou (4), M. Lothon (4), J. Jiménez-Rincón (2), C. Yagüe (1)

(1) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid. (2) Depto. Física Aplicada, INMAR, Universidad de Cádiz, España. (3) NorthWest Research Associates, Boulder, US. (4) Laboratoire d'Aerologie, CNRS, Universidad de Toulouse, Francia

RESUMEN

Las brisas de valle nocturnas son circulaciones térmicas que se generan por diferencias en el calentamiento/enfriamiento del aire cercano a las laderas y al fondo del valle, que producen contrastes de densidad y establecen un flujo a lo largo del eje del valle. En conjunto, el aire se canaliza por el valle, dando lugar a vientos descendentes durante la noche y ascendentes durante el día. Los mecanismos que intervienen en la generación y el desarrollo de estos flujos son complejos y varían en función de las características específicas de cada emplazamiento, por lo que resulta necesario analizarlos en detalle. En este trabajo observacional se analizan las brisas de valle nocturnas en una zona situada en el sur de Francia, en la cara norte de los Pirineos, en colaboración con el proyecto francés MOSAI, con amplia participación internacional. Para ello, se instalaron tres estaciones, de las cuales dos tenían medidas turbulentas en localizaciones estratégicas dentro del valle, que proporcionaron un conjunto de datos de observaciones cercanas a la superficie durante un año. Además, se utilizó una estación meteorológica adicional situada en la meseta adyacente, a varios kilómetros al norte del valle y más influenciada por el conjunto del relieve montañoso circundante que por el propio valle. Este sistema observacional combinado permite investigar la ocurrencia, la organización y la evolución de estos flujos a lo largo del ciclo anual. Para la identificación de los episodios de brisas nocturnas de valle se aplicó un algoritmo de detección de brisas basado en filtros con criterios objetivos a cada una de las estaciones de medida, lo que permitió establecer la ocurrencia de eventos simultáneos en las tres estaciones. Por otro lado, se ha investigado la influencia de las condiciones sinópticas en las características de estos vientos en las tres localizaciones, observándose que los eventos pueden desarrollarse en algunas de ellas bajo intensidades de viento a 700 hPa superiores a 12 m/s, debido al apantallamiento generado orográficamente. Los eventos detectados simultáneamente en todas las estaciones permitirán analizar en detalle la heterogeneidad del flujo y cómo interacciona con el terreno adyacente. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis para distinguir distintos regímenes de turbulencia en función de la altura de la vegetación, lo que proporciona una comprensión más profunda de la interacción entre la turbulencia y la dinámica del flujo. En particular, se observan niveles de turbulencia más elevados en los periodos en los que la vegetación presenta mayor altura.

RBCC-E (2003–2025): dos décadas de calibración Brewer y retos para el futuro de la medida de ozono

RBCC-E (2003–2025): Two Decades of Brewer Calibration and Future Challenges for Ozone Measurements

A. Redondas Marrero (1), V. Carreño Corbella (1), A. Berjon Arroyo (2), F. Parra Rojas (2)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) TRAGSA

RESUMEN

El Centro Regional de Calibración Brewer para Europa (RBCC-E), establecido en 2003 en el Observatorio Atmosférico de Izaña (AEMET, España), proporciona calibración absoluta, aseguramiento de la calidad y trazabilidad metrológica a los espectrofotómetros Brewer de la red global WMO/GAW. Aprovechando las condiciones subtropicales y de gran altitud de Izaña, el RBCC-E realiza calibraciones absolutas rutinarias mediante el método Langley, comparables a las de Mauna Loa, para garantizar una transferencia de calibración robusta hacia la red operativa. Inicialmente, la referencia del RBCC-E se vinculó al sistema mundial (WBCC/WBT) mediante instrumentos de referencia itinerantes y comparaciones periódicas, asegurando coherencia internacional. Desde 2011, con autorización del SAG-Ozone de la WMO, el RBCC-E transfiere su propia calibración primaria basada en Langley, consolidando su capacidad metrológica independiente. En la actualidad, comparte el estatus de Laboratorio Central de Calibración (CCL) con *Environment and Climate Change Canada*, aplicando procedimientos armonizados y realizando intercomparaciones regulares entre referencias. La estabilidad a largo plazo de la tríada original del RBCC-E (Brewers #157, #183 y #185) es excelente, con desviaciones relativas mensuales (respecto a la media de la tríada) del orden de 0,19–0,24% durante 2005–2024. La nueva tríada operativa desde 2022 (#256, #257 y #258) muestra un desempeño equivalente, con diferencias medias inter-tríadas cercanas a 0,3% y desviaciones estándar alrededor de 0,4–0,5%. Los análisis reportan ausencia de dependencias significativas con la columna oblicua de ozono, lo que refuerza la consistencia del sistema de referencia. El RBCC-E ha organizado campañas internacionales de calibración de forma regular y ha calibrado más de 370 instrumentos Brewer hasta la fecha, sustentando la homogeneidad de las observaciones en Europa y a escala global. La 20.ª Campaña RBCC-E (El Arenosillo, España, 2025) reunió a unos 50 participantes de 16 países e incluyó instrumentación Dobson, Brewer y BTS, integrando además actividades de formación técnica. Fue la primera campaña operada íntegramente a través de EUBREWNET, con envío de datos y control de calidad en tiempo real. La interrupción de la producción de instrumentos Brewer introduce riesgos para la continuidad del sistema de referencia y para la sostenibilidad de la red operativa. El RBCC-E subraya la necesidad de coordinar la gestión de repuestos (incluida la creación de estrategias/almacenes compartidos) y de evaluar alternativas emergentes como BTS o Pandora sin degradar la trazabilidad ni la calidad de las series de ozono. Estas acciones se plantean como claves para mantener la comparabilidad a largo plazo de las observaciones en el marco WMO/GAW.

Calibración exterior de piranómetros en el IPMA de acuerdo con la Norma ISO 9847:1992

Outdoor calibration of pyranometers at IPMA, following ISO 9847:1992

C. Morais Esteves, J. Neto, M. Mendes, J. Marques

Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), Lisboa, Portugal

RESUMEN

Pyranometers play a fundamental role in meteorology and climate research by measuring incoming solar radiation at the Earth's surface, a key variable controlling weather processes, climate variability, and surface-atmosphere energy exchanges. In this study, 23 pyranometers were calibrated at the Portuguese Institute for Sea and Atmosphere (IPMA) following the ISO 9847:1992 standard, which is based on outdoor calibration through comparison with a higher-class reference pyranometer. The calibration procedure relies on the determination of a reference irradiance constant obtained from simultaneous measurements between the test and reference instruments. Only data corresponding to solar elevation angles greater than 20° were considered to ensure measurement reliability. For each pyranometer, two independent calibration constants were computed using two different methods and subsequently compared. If the relative deviation between the two constants exceeded 2%, the corresponding data series was rejected. When the deviation was below 2%, the resulting calibration constant was further validated using an independent dataset. Prior to calibration, the root mean square error (RMSE) between test and reference irradiances for the 23 pyranometers ranged from 105.19 to 15.35. After calibration, RMSE values were substantially reduced, lying between approximately 19.56 and 14.92, indicating a significant improvement in measurement accuracy. These results demonstrate the effectiveness of the ISO 9847:1992 outdoor calibration methodology and highlight its importance for ensuring the quality and consistency of surface solar radiation measurements.

Las lluvias torrenciales del 29 de octubre de 2024: interrogantes y propuestas

The torrential rains of October 29, 2024: questions and proposals

A. Rivera

Meteorólogo jubilado de AEMET y divulgador

RESUMEN

Las torrenciales lluvias provocadas por la dana que a finales de octubre de 2024 afectó, entre otras muchas zonas geográficas españolas, a la provincia de Valencia originando precipitaciones muy intensas -que en algún punto sobrepasaron los 700 mm y los 185 mm en una hora- y que produjeron al menos 230 muertos a causa de las "barrancadas" subsiguientes, merece un estudio aún más profundo y detallado de los que hasta ahora se han realizado. Y ello por su gran importancia meteorológica, su fuerte impacto social y económico así como para lograr una más adecuada gestión de otras situaciones de este tipo que pudieran presentarse. La presente comunicación presenta algunas posibles pistas para ese estudio, sobre todo de su episodio principal durante la tarde-noche del día 29/10/2024, así como desarrolla un cierto modelo conceptual de cómo las cosas pudieron ocurrir. La hipótesis básica es que la aparición de un máximo de viento a primera hora de la tarde en el seno de la circulación de altura de la dana provocó un fuerte desequilibrio dinámico y, a causa de ello, unos intensos ascensos del aire húmedo de capas bajas. A su vez, ello dio lugar a una intensificación del flujo de levante en niveles bajos, lo que originó una marcada cizalladura vertical con la aparición de varios tornados. La lenta evolución de la situación dio lugar a que las copiosas precipitaciones afectaran a prácticamente las mismas zonas geográficas originando las inundaciones relámpago que produjeron el elevadísimo número de víctimas. A la vista de todo ello, esta comunicación trata de resaltar la necesidad de estudiar a fondo el forzamiento dinámico de esta situación e investigar si el cambio climático pudo estar de algún modo relacionado, como parece demostrado que sí lo estuvo en el termodinámico. Se trata de un factor al que posiblemente debería prestarse gran atención, y más cuando parece que están apareciendo cambios en las circulaciones de los chorros de niveles altos.

Mecanismos dinámicos y termodinámicos de la transición tropical del huracán Ophelia (2017)

Dynamical and thermodynamical mechanisms of the tropical transition of hurricane Ophelia (2017)

C. Calvo-Sancho (1), R. Rotunno (2), A. Montoro-Mendoza (3,4,5), M. López-Reyes (6,7,8), J.J. González-Alemán (3), P. Bolgiani (7), M.L. Martín (4)

(1) Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CIDE, CSIC-UV-GVA), Laboratorio de Clima, Atmósfera y Océano (CLIMATOC-LAB), Valencia, España. (2) National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, Colorado, US. (3) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (4) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática de Segovia, Universidad de Valladolid, Segovia, España. (5) Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España. (6) Instituto de Astronomía y Meteorología (IAM), Depto. Física, Universidad de Guadalajara, México. (7) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica. Universidad Complutense de Madrid, España. (8) Instituto Frontera A.C., Depto. Investigación, Tijuana, México

RESUMEN

Este estudio investiga los complejos mecanismos dinámicos y termodinámicos que gobernaron la Transición Tropical (TT) del huracán Ophelia (2017), un evento de alto impacto que evolucionó desde un entorno baroclino hasta convertirse en un huracán de categoría 3. Utilizando simulaciones numéricas de alta resolución con el modelo WRF-ARW y diagnósticos de balances de energía y de tendencia del viento, se cuantifican las contribuciones relativas de los procesos convectivos y de mesoescala en el desarrollo de la circulación secundaria. Los resultados revelan una transformación en la estructura vertical del sistema. Aunque la génesis fue impulsada por precursores baroclinos y ríos de vorticidad potencial en niveles altos, la convección profunda facilitó la redistribución de vorticidad potencial. La evolución de la circulación secundaria tuvo dos fases claramente definidas: durante el inicio de la TT, los forzamientos de momento, térmico y fricción contribuyen equitativamente, pero tras la transición, el forzamiento térmico (flotabilidad) domina claramente, consistente con la intensificación de ciclones tropicales. Los balances de temperatura potencial y temperatura potencial equivalente muestran que, durante la fase de transición, la difusión vertical asociada a flujos superficiales e inestabilidad aire-mar es la fuente energética dominante. En contraste, la fase posterior a la TT está regida por la advección vertical de la componente húmeda en la pared del ojo. Asimismo, se identificó una no-linealidad en el proceso, caracterizada por una relajación estructural temporal antes del acoplamiento convectivo total. Se concluye que la TT es un proceso multiescalar donde la interacción entre el forzamiento baroclino y las torres convectivas ("hot towers") es crucial para establecer un régimen gobernado por flujos de entalpía superficial.

Caracterización de las circulaciones forzadas por diferencias térmicas superficiales y su interacción con la Isla de Calor Urbana en Madrid

Characterization of thermally-driven flows and their interaction with the Urban Heat Island in Madrid

J. Carbone (1), B. Sánchez (2), A. Martilli (2), J.L. Santiago (2), P. Ortiz-Corral (1), C. Román-Cascón (3), V. Cicuéndez (4), R.M. Inclán (2), D. Royé (5), S. Viana (6), M. Sastre (1), C. Yagüe (1)

(1) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid. (2) Unidad de Modelización Atmosférica, CIEMAT. (3) Universidad de Cádiz. (4) Universidad Politécnica de Madrid (UPM). (5) Misión Biológica de Galicia, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (MBG-CSIC), Pontevedra. (6) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

La ciudad de Madrid se emplaza en un entorno topográfico complejo, siendo la Sierra de Guadarrama el sistema montañoso más relevante de la zona, donde las circulaciones mesoescalares forzadas térmicamente, como las brisas de montaña y las brisas de valle, interactúan con la isla de calor urbana (ICU) y modulan la meteorología local. En las últimas décadas (1970-2020), la población de su área metropolitana se ha duplicado, mientras que la superficie urbana ha aumentado por un factor de cinco, y las proyecciones futuras para 2037 indican una expansión de entre 1,15 y 2,14 veces respecto a 2010, junto con un aumento poblacional del 15% ([1]). En este contexto, resulta esencial comprender cómo la urbanización modifica los regímenes de viento a través de cambios en las variables superficiales y en la rugosidad del terreno, así como su interacción con la ICU. El objetivo principal de este trabajo es caracterizar las circulaciones generadas por diferencias térmicas que afectan a Madrid, así como analizar su interacción con la ICU, evaluando su variabilidad espacial-temporal, y su influencia sobre la estructura térmica y dinámica de la capa límite atmosférica urbana. Para ello, el estudio se apoya principalmente en un análisis observacional y estadístico de bases de datos meteorológicas procedentes de estaciones urbanas y rurales, así como de campañas de medidas específicas. Esta estrategia permite examinar las variaciones diurnas, estacionales y anuales de los patrones de viento, con especial atención a la detección y caracterización de eventos de brisa, y a las diferencias en su intensidad, dirección, frecuencia y duración entre el entorno urbano y las zonas montañosas circundantes. De forma complementaria, se realizan simulaciones numéricas con el modelo mesoescalar WRF empleando esquemas urbanos avanzados, como BEP-BEM ([2]), con el fin de profundizar en los procesos físicos observados y evaluar el impacto de la urbanización y las circulaciones mesoescalares forzadas térmicamente en el confort térmico y la calidad del aire. Este trabajo se enmarca en los proyectos MULTIURBAN-II y AIRTEC2-CM cuyos resultados contribuirán a una mejor comprensión de los procesos atmosféricos urbanos en entornos topográficamente complejos y proporcionarán información relevante para la planificación urbana y el diseño de estrategias de adaptación climática.

Referencias:

[1] INE (2022). https://www.ine.es/ine/planine/informe_anual_2022.pdf

[2] Carbone, J. y 5 coautores (2024). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102198>

Influencia de la meteorología sinóptica, transporte atmosférico y estructura vertical sobre el ozono troposférico en Belgrano II, Antártida occidental

Influence of synoptic meteorology, atmospheric transport, and vertical structure on tropospheric ozone at Belgrano II, western Antarctica

J.A. Adame (1), M. Navarro-Comas (2), H. Ochoa (3), C. Prados-Roman (2), M. Yela (2)

(1) Estación de Sondeos Atmosféricos – El Arenosillo, Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Huelva. España. (2) Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica, INTA, Madrid. Spain. (3) Dirección Nacional del Antártico (DNA)/Instituto Antártico Argentino (IAA), San Martín, Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

Belgrano II (77.87°S, 34.62°W) es una estación ubicada en la Antártida occidental, en la costa del mar de Weddell. El Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), en colaboración con la Dirección Nacional del Antártico Argentino (DNA)/Instituto Antártico Argentino (IAA), realiza sondeos meteorológicos y de ozono de forma continua desde 1999. A partir de 754 sondeos lanzados durante el periodo 1999–2023, se han investigado las condiciones meteorológicas de la Antártida occidental y su influencia en el ozono troposférico. A partir de los campos de presión en superficie y de geopotencial a 850 hPa procedentes del reanálisis ERA5 (ECMWF), se ha caracterizado la meteorología sinóptica, identificándose la presencia del anticiclón casi permanente sobre la meseta antártica y de los sistemas de bajas presiones que rodean el continente, en particular aquéllos en los mares de Weddell y de Amundsen–Bellingshausen, que influyen directamente en la estación. Mediante el análisis de las trayectorias de las masas de aire, generadas con el modelo HYSPLIT y con los campos meteorológicos de ERA5, se identificaron cuatro patrones de transporte, con origen en el mar de Weddell, la península Antártica y dos flujos continentales procedentes del norte y sur. Estos regímenes de transporte modulan la estructura vertical de la troposfera en Belgrano y el comportamiento de la distribución de gases traza como el ozono. El análisis de los perfiles meteorológicos estacionales revela una atmósfera fuertemente estratificada, con una capa límite poco profunda y altamente estable, así como máximos de velocidad del viento asociados tanto a flujos catabáticos invernales como al chorro polar en la alta troposfera. En niveles bajos, el flujo dominante procede del interior continental hasta aproximadamente 700 hPa, mientras que en niveles superiores predomina la influencia marina desde el mar de Weddell. Los perfiles troposféricos de ozono muestran una clara dependencia del tipo de transporte atmosférico, tal que las diferencias asociadas persisten hasta ~400 hPa; por encima de este nivel, el ozono aumenta con la altura y se vuelve prácticamente independiente del origen de la masa de aire. Finalmente, el análisis de la tendencia mensual de los perfiles meteorológicos indica un enfriamiento de ~1 °C dec⁻¹ durante las dos últimas décadas, mientras que el ozono muestra un aumento inferior a ~1 ppb dec⁻¹. Estos resultados evidencian cómo la interacción entre la circulación atmosférica a gran escala, los procesos dinámicos locales y la estacionalidad controla la estructura vertical de la troposfera, los patrones de transporte y la distribución del ozono troposférico, proporcionando una base para evaluar su evolución futura en la Antártida occidental.

Configuración sinóptica y efectos locales de la brisa marina en el Golfo de Cádiz

Synoptic situation and local effects of the sea breeze in the Gulf of Cádiz

E. Luján-Amoraga (1), C. Román-Cascón (1), A. Izquierdo (1), C. Yagüe (2), M. Bolado-Penagos (1)

(1) Depto. Física Aplicada, Instituto de Investigación Marina (INMAR), Universidad de Cádiz, Puerto Real, Cádiz. (2) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN

Las brisas marinas son un fenómeno meteorológico mesoescalar originado por el gradiente térmico entre la superficie terrestre y oceánica, y desempeñan un papel fundamental en numerosos procesos ambientales y socioeconómicos, como la dispersión de contaminantes atmosféricos, el confort térmico o el aprovechamiento de los recursos eólicos. Debido a su relevancia, han sido ampliamente estudiadas en distintas regiones costeras. En el golfo de Cádiz, Adame et al. (2010) identificaron dos patrones principales de brisa marina ("brisas puras" y "brisas no puras") en función de la configuración sinóptica dominante. Las brisas puras se desarrollan bajo la influencia conjunta de un sistema de altas presiones sobre el océano Atlántico, asociado al anticiclón de las Azores, y otro sistema de altas presiones sobre el Mediterráneo occidental, lo que favorece la presencia de viento sinóptico de componente este en la zona de estudio. Por el contrario, las brisas no puras se caracterizan por una posición del anticiclón de las Azores frente a la costa occidental de la península Ibérica y por el desarrollo de una baja térmica sobre la península Ibérica, dando lugar a un flujo sinóptico dominante de componente noroeste. En el presente trabajo se ha identificado un tipo adicional de brisa marina en el golfo de Cádiz, denominado "brisa no pura con sur". Este nuevo patrón se caracteriza por la presencia de viento sinóptico de componente sur y por una posición del anticiclón de las Azores desplazado hacia el oeste en comparación con las brisas no puras descritas por Adame et al. (2010), que en adelante se denominarán "brisas no puras con norte". El objetivo principal de este trabajo es identificar y caracterizar sinópticamente los tres tipos de brisa marina descritos en el Golfo de Cádiz. Para ello, se analizan mapas sinópticos, prestando especial atención a la posición del anticiclón de las Azores y al gradiente de presión entre éste y la baja térmica ibérica. Asimismo, se evalúa el efecto en la meteorología local mediante registros observacionales de estaciones meteorológicas situadas en la costa gaditana. A partir de datos correspondientes a los meses de verano desde 2023, se analizan los cambios en la temperatura del aire y la humedad específica. Los resultados muestran descensos superiores a 10 °C e incrementos de la humedad específica superiores a 11 g kg⁻¹ tras la aparición de brisas puras. En los días con brisa no pura, tanto con norte como con sur, los cambios observados son menores, evidenciándose diferencias claras en el impacto de cada tipo de brisa sobre las condiciones meteorológicas locales.

Referencia:

Adame, J.A., Serrano, E., Bolívar, J.P., De la Morena, B.A. (2010). On the tropospheric ozone variations in a coastal area of southwestern Europe under a mesoscale circulation. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49(4), 748-759.

Sobre el impacto del balance de energía superficial urbano (SEB) evaluado mediante un gemelo digital CFD a escala de distrito

On the impact of the urban surface energy balance (SEB) assessed using a district-scale CFD digital twin

E. Rivas (1), J.L. Santiago (1), A. Martilli (1), B. Sánchez (1), F. Martín (1), F. Meier (2), D. Hervés, M. Sastre (3), M. Theobald (1), M. García (1)

(1) UNIMA – Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

(2) TUB. (3) Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN

Understanding the urban Surface Energy Balance (SEB) is fundamental to characterising surface–atmosphere interactions in cities and to assessing the performance of urban mitigation and adaptation strategies under extreme climate conditions. The SEB controls the partitioning of radiative, convective, and conductive heat fluxes at urban surfaces and, therefore, governs buoyancy production, turbulence generation, and vertical exchange within the urban canopy, with direct implications for pedestrian-level thermal comfort and air quality. Through its coupling with building envelopes, the SEB also affects indoor thermal conditions and, consequently, cooling energy demand. In this study, a Computational Fluid Dynamics (CFD) model is applied to a representative area of the Salamanca district in Madrid (Spain) during a documented summer heat-wave episode to analyse the urban SEB under realistic extreme conditions. The objective is to assess the impact of the thermal cycling, surface optical properties, and material thermal properties on the hourly evolutions of roof- and façade-averaged surface boundary heat flux components. Particularly, on the net radiative (Q_{rad}), convective (Q_{conv}), and conductive (Q_{cond}) heat fluxes. Anthropogenic and latent heat fluxes are neglected here. The CFD model explicitly resolves atmospheric flow, radiative exchanges, and Conjugate Heat Transfer (CHT) between building envelopes and the outdoor and indoor environments. Opaque building envelope elements are modelled as finite-thickness solids, allowing thermal inertia to be captured and enabling a physically consistent representation of thermal cycling across consecutive diurnal cycles. Short-wave and long-wave radiation processes are explicitly simulated. A scenario-based approach is adopted to investigate comparatively the impacts of (i) the initial thermal state of the building envelopes, (ii) the cool roofs, and (iii) the water walls on the temporal evolutions of SEB components. Unsteady simulations over two diurnal cycles enable the assessment of how these factors modulate the magnitude, timing, and persistence of Q_{rad} , Q_{conv} , and Q_{cond} under heat-wave conditions, as well as their implications for indoor thermal comfort. The results demonstrate that thermal cycling plays a central role in the urban SEB, with thermal inertia strongly influencing both the redistribution of radiative gains into convective and conductive pathways and the persistence of heat release during evening and night time hours. Surface optical properties primarily govern peak radiative forcing, while material thermal properties control heat storage and delayed release, directly affecting indoor temperature dynamics during extreme heat events. This findings supports the evaluation of envelope-level mitigation strategies in heat-stressed urban environments.

Influencia de las circulaciones mesoescalares forzadas térmicamente en la capa límite urbana y la calidad del aire en la ciudad de Madrid

Influence of mesoscale thermally driven circulations on the urban boundary layer and air quality in the city of Madrid

M. Sastre (1), J. Carbone (1), P. Ortiz-Corral (1), E. Serrano (1,2), C. Román-Cascón (3), V. Cicuéndez (4), A. Martilli (5), B. Sánchez (5), J.L. Santiago (5), R.M. Inclán (5), J. Sun (6), S. Viana (7), R. Borge (8), C. Yagüe (1)

(1) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Univ. Complutense de Madrid. (2) Asociación Meteorológica Española. (3) Depto. Física Aplicada, INMAR, Univ. Cádiz. (4) Depto. Ingeniería Agroforestal, Univ. Politécnica de Madrid. (5) Unidad de Modelización Atmosférica, CIEMAT. (6) NorthWest Research Associates, Boulder, Colorado, USA. (7) Agencia Estatal de Meteorología. (8) Depto. Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Univ. Politécnica de Madrid

RESUMEN

Durante tres semanas a comienzos del verano de 2025 (23 junio–13 julio), y en el marco de los proyectos AIRTEC2-CM y MULTIURBAN-II, se llevó a cabo una campaña intensiva de observación meteorológica y de la turbulencia en el entorno de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid (ETSII-UPM), ubicada en el Paseo de la Castellana, una de las principales arterias urbanas de la ciudad. La campaña incluyó datos de una estación meteorológica permanente y de una estación portátil de la Red GuMNet equipada con instrumentación de alta frecuencia, ambas instaladas en la terraza del edificio de la ETSII-UPM, a 27 m sobre el nivel de la calle. Se registraron variables meteorológicas básicas (temperatura, humedad y viento), flujos radiativos de onda corta y larga, y parámetros turbulentos derivados mediante la técnica de Eddy Covariance, como la velocidad de fricción, la energía cinética turbulenta y el flujo de calor sensible. Asimismo, se emplearon datos de estaciones de calidad del aire del Ayuntamiento de Madrid, incluida una situada en las inmediaciones del área de estudio. El periodo analizado estuvo dominado por condiciones sinópticas muy estables, asociadas a situaciones anticiclónicas persistentes sobre la península Ibérica, con altos valores de presión en superficie y anomalías positivas del geopotencial a 500 hPa. Estas condiciones favorecieron el desarrollo de circulaciones forzadas térmicamente, en particular brisas nocturnas, que desempeñaron un papel relevante en la modulación de la capa límite urbana y en la evolución de las concentraciones de contaminantes. Se analizan los ciclos diarios de temperatura, humedad, viento, radiación y parámetros turbulentos, prestando especial atención a la transición vespertina y a la influencia de las circulaciones mesoescalares nocturnas, así como a su impacto en la calidad del aire, especialmente en situaciones de débil forzamiento sinóptico. Durante varios episodios se registraron concentraciones horarias de NO₂ superiores a 100 µg m⁻³ bajo condiciones muy estables, que disminuyeron notablemente tras el establecimiento de las brisas nocturnas. Finalmente, se presentan simulaciones con el modelo mesoescalar WRF, para evaluar su capacidad de reproducir estas circulaciones. Los resultados indican que las circulaciones forzadas térmicamente pueden desempeñar un papel clave en la redistribución y acumulación de contaminantes en el entorno urbano de Madrid durante episodios estivales.

Interacciones multiescalares entre la estructura urbana y la atmósfera en el contexto de cambio climático (MULTIURBAN-I)

Multiscale modelling of urbanization and green infrastructure impacts on local climate and thermal comfort from a global warming perspective (MULTIURBAN-I)

B. Sánchez (1), J.L. Santiago (1), E. Rivas (1), S. Martínez (1), R. Canino (1), A. Martilli (1), F. Martin (1), S. German (2), A. Boso (2), C. Oltra (2), M. Sánchez (3), D. Argüeso (4), R. Monjo (5), D. Roye, (6) J. Carbone (7), M. Sastre (7), C. Yagüe (7)

(1) Unidad de Modelización Atmosférica, CIEMAT. (2) Centro de Investigaciones Sociotécnica, Departamento de Medio Ambiente, CIEMAT. (3) Real Jardín Botánico, CSIC. (4) Universitat de les Illes Balears. (5) Fundación para la Investigación del Clima. (6) Misión Biológica de Galicia, (MBG-CSIC). (7) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid

RESUMEN

En la actualidad, más del 50% de la población mundial vive en zonas urbanas, y se prevé que esta proporción aumente a más de dos tercios en 2050. Este rápido crecimiento de la población implica un aumento acelerado de la urbanización, lo cual altera las circulaciones atmosféricas, aumenta el estrés térmico urbano, empeora la calidad del aire y aumenta el consumo de energía. En las ciudades, el futuro crecimiento urbano supondrá un incremento aún mayor de las temperaturas, lo que significa que el número de personas que tendrán que hacer frente a los riesgos por el sobrecalentamiento urbano sea mayor. En este trabajo, se van a presentar los objetivos del proyecto de investigación MULTIURBAN-I donde se tratará de comprender cuáles son los mecanismos responsables del impacto de la estructura urbana en el clima urbano y confort térmico en el contexto del cambio climático. Para ello, se estudiará el impacto de la urbanización e infraestructuras verdes sobre el clima local y confort térmico a través de un sistema de modelización multiescalar. Los primeros resultados obtenidos a través del modelo meteorológico mesoescalar WRF permiten disociar los efectos de la evolución del clima y de la urbanización de los últimos 50 años sobre el estrés térmico de la población. El impacto esperado del proyecto es proporcionar el conocimiento científico necesario para abordar eficazmente el diseño e implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, mejorando así el bienestar de la población en la ciudad.

Análisis comparativo de dos sistemas tropicales con impacto en las Islas Canarias

Synoptic comparison of two tropical systems impacting the Canary Islands

E.J. Rodríguez Acosta (1), P. Gómez Plasencia(1), J.J. González Alemán (2), C. Calvo Sancho (3), P. Bolgiani (4), J. Díaz Fernández (1,2), Ana Morata (2), A. Montoro Mendoza(1,2,5), M.L. Martín (1), Iñigo Gómara(1)

(1) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática de Segovia, Universidad de Valladolid, Segovia. (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (3) Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CIDE, CSIC-UV-GVA), Laboratorio de Clima, Atmósfera y Océano (CLIMATOC-LAB), Valencia. (4) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica. Universidad Complutense de Madrid. (5) Consejo Superior de Investigaciones Científicas

RESUMEN

Las Islas Canarias pueden verse afectadas por ondas africanas del este que, bajo condiciones favorables evolucionan rápidamente a ciclones tropicales, con trayectorias anómalas hacia el norte. Este estudio compara la tormenta tropical Hermine (2022) con la depresión tropical de septiembre de 1951, dos episodios con impactos pluviométricos excepcionales en el archipiélago canario. Se emplean datos de reanálisis ERA5 para caracterizar los ambientes, analizando la vorticidad potencial y humedad específica en 700 hPa, altura geopotencial en 300 hPa, presión media a nivel del mar y temperatura superficial del mar. El impacto local se documenta con registros de precipitación acumulada en 24 horas y viento en superficie en diversos observatorios de las Islas Canarias, con el fin de identificar similitudes y diferencias dinámicas. El análisis muestra que ambas perturbaciones se originan sobre el continente africano y adquieren características de ciclón tropical sobre aguas cálidas próximas a Cabo Verde. Al aproximarse a Canarias, el menor aporte de calor y humedad desde la superficie favorece un rápido debilitamiento, con descensos moderados de presión en el centro del ciclón y velocidad del viento. En 1951, la fractura de una dorsal anticiclónica por una vaguada en niveles altos abre un canal de giro hacia el norte; el centro del ciclón cruza las islas orientales y deja acumulados superiores a 50 mm en menos de 24 horas. En Hermine, un bloqueo de la trayectoria por una onda corta y la interacción con una vaguada extratropical que alcanza Canarias genera precipitaciones severas (> 100 mm) durante 72 horas intensificadas por la orografía. Se concluye que Hermine no es un evento aislado, sino parte de un patrón sinóptico recurrente, cuya severidad podría aumentar con el calentamiento oceánico, subrayando la necesidad de mejorar la predicción y el estudio de estos riesgos emergentes.

Hacia una necesaria reformulación de los avisos y alertas por fenómenos atmosféricos extremos

Towards a necessary reformulation of warnings and alerts for extreme atmospheric phenomena

A. Rivera

Meteorólogo jubilado de AEMET y divulgador

RESUMEN

La catastrófica inundación del 29 de octubre de 2024 en varios municipios de L'Horta Sud en la provincia de Valencia ha vuelto a abrir el debate sobre la necesidad de una optimización de los sistemas de avisos y alertas de fenómenos atmosféricos adversos, y muy en especial de las lluvias intensas por la posibilidad de aparición de inundaciones relámpago. Más allá de cuestiones puntuales sobre la gestión de esta situación, parece clara la conclusión de que el público debe recibir a través de los móviles una información única y continuamente actualizada sobre qué se espera que ocurra, cómo puede afectar y qué recomendaciones o instrucciones se estiman oportunas, y todo ello con el lenguaje más claro y asequible posible. Conseguir esto supone cambios sustanciales en la coordinación de los diferentes actores e instituciones, y en este aspecto sería muy deseable la creación de un centro o centros de trabajo conjuntos, una cuestión complicada dada la estructura organizativa y el reparto de competencias en la Administración española. En la comunicación también se plantea la conveniencia de la realización de amplias encuestas entre la población afectada por un fenómeno adverso como forma óptima de obtener información relevante para la mejora del sistema.

Sensibilidad de la previsión operativa del modelo WRF a la inicialización con AIFS: caso de estudio de las implicaciones durante tormentas de alto impacto que afectaron a España en 2025

Sensitivity of WRF operational forecasting to AIFS initialization: a case study on the implications during high-impact storms affecting Spain in 2025

R. Arasa (1), M. García-Valdecasas (2,3), B. Codina (1,4), M. Picanyol (1)

(1) Meteosim. (2) Universidad de Granada. (3) Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía. (4) Universidad de Barcelona

RESUMEN

Las predicciones meteorológicas basadas en herramientas de modelización se han vuelto esenciales para la gestión de posibles fenómenos meteorológicos extremos, contribuyendo a la protección de la vida humana. Además, constituyen una variable de entrada fundamental para una amplia gama de aplicaciones de predicción. Hasta la última década, tanto las agencias meteorológicas nacionales como los institutos de investigación, universidades y empresas privadas han utilizado modelos que resuelven las ecuaciones que rigen la dinámica de la atmósfera para proporcionar pronósticos tanto a escala global (modelos globales como GFS o IFS) como a escala regional/local (modelos de área limitada como el modelo WRF o AROME. Los avances en inteligencia artificial han propiciado la aparición de modelos de este tipo para aplicaciones de pronóstico meteorológico en los últimos años. Modelos como GraphCast, Pangu-Weather o FourCastNet, entre otros, han demostrado su capacidad para proporcionar pronósticos meteorológicos con igual o incluso mayor precisión que los modelos numéricos bajo ciertas condiciones. Asimismo, se han identificado algunas limitaciones en este tipo de modelos. Durante los últimos años, el Centro Europeo para el Clima a Medio Plazo -ECMWF- ha desarrollado un nuevo modelo basado en inteligencia artificial, AIFS. Éste se ha entrenado utilizando información histórica del Reanálisis ERA5 así como los pronósticos IFS. En febrero de 2025, el ECMWF lanzó abiertamente los pronósticos AIFS. A fecha de hoy, aún no existen evidencias publicadas de su aplicación e impacto en la península Ibérica como condiciones iniciales y condiciones de borde para los modelos de área limitada. Esta investigación tiene como objetivo evaluar cómo el uso de las predicciones AIFS influye en los pronósticos de mesoescala generados por el modelo WRF, en comparación con los obtenidos usando los resultados de GFS como condiciones iniciales y de contorno, como continuación de un estudio previo (Arasa et al., www.mdpi.com/2673-4834/6/4/132), cuyo enfoque se centró principalmente en aplicaciones de calidad del aire. Sin embargo, el interés principal del presente estudio reside en el análisis de la sensibilidad del WRF para inicializarse con diferentes modelos globales para la predicción de eventos de precipitación y vientos intensos. Se seleccionó un período de modelización en el que se identificaron episodios relevantes de precipitación y vientos fuertes, correspondientes a tres tormentas de alto impacto según definición de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) que afectaron España entre marzo y abril de 2025: Martinho, Nuria y Olivier.

¿Anticipan los avisos meteorológicos tradicionales los impactos locales?

Are traditional hazard-based weather warnings anticipating local impact?

J. Morales (1,2), X. Llord (2), A. Lapedriza (3,1), A. Kaltenbrunner (4,1)

(1) Universitat Oberta de Catalunya. (2) Hydrometeorological Innovative Solutions.

(3) Northeastern University. (4) Universitat Pompeu Fabra, Barcelona

RESUMEN

Hazard-based weather warnings are the standard tool for alerting responders and the population about meteorological risks, yet they typically do not consider data on vulnerability and exposure, relying instead on fixed or climatology-based thresholds. This raises questions on their effectiveness at higher resolutions, as weather impacts are ultimately determined by local characteristics such as infrastructure, population distribution, or land use. This work addresses this gap by providing the first quantitative and high-resolution assessment of how traditional heavy rain and wind gust warnings correlate with actual registered impacts, using 112 emergency calls as an impact proxy. We evaluate warning performance at a municipal and hourly resolution across Catalonia, in Northeastern Spain, over six years (from October 2018 to February 2025), analyzing warnings from two meteorological agencies: the national (AEMET: FMA - “Fenómenos Meteorológicos Adversos”, part of the EU MeteoAlert program) and regional (SMC: SMP - “Situació Meteorològica de Perill”). The study begins by examining how the spatial distribution of issued warnings aligns with the rain and wind climatology of the region, and assesses if these geographical patterns relate to the distribution of emergency calls. Following this, overall warning performance metrics are calculated assuming a real-time setting. Furthermore, we conduct a series of experiments to examine relevant variables. These include varying the forecast lead-time to assess how anticipation capacity evolves over prediction horizons up to 48 hours, and comparing performance when warnings are evaluated at both their original zone resolution and the municipal level. We also analyze seasonal patterns in both warning activations and impacts to understand their influence on performance. Finally, we consider increasingly severe impact thresholds, defined by the number of emergency calls received per hour, to assess the performance sensitivity to this variable. Our analysis reveals that while traditional warnings can effectively identify general impact zones, they are severely limited when considered at the local scales due to a high number of false alarms, which can reduce their public use and trust, and potentially lead to warning fatigue. We discuss potential solutions to mitigate these limitations, such as integrating additional data layers on vulnerability, exposure, and historical impacts to refine and downscale from the original, broad warning zones to the local level. This work aims to provide not only a methodology for quantifying impact assessment at a high resolution, but also a solid evidence base to inform and accelerate the transition from traditional, hazard-centric systems towards more actionable and precise impact-based warning systems. By demonstrating both the potential and limitations of the systems currently in place, we highlight the necessity of collaborative frameworks to overcome the scarcity of open and varied impact data through standardized processes for its collection, sharing, and integration into operational warning pipelines.

Sistema de predicción en tiempo real de la contaminación por municipios en la Región de Murcia

Real-time prediction system for pollution by municipality in the Region of Murcia

J.P. Montávez, V. Martínez, M.Cervantes, E. Raluy-López, L. Segado-Moreno, P. Jiménez - Guerrero, S. Gil-Guirado

Grupo de Modelización atmosférica Regional, Universidad de Murcia

RESUMEN

La estimación de la calidad del aire a nivel municipal es fundamental para proteger la salud pública. La calidad del aire se mide mediante costosas estaciones de contaminación atmosférica que suelen no ser suficientes por la gran variabilidad espacio temporal de la concentración de contaminantes. En este trabajo se presenta una metodología para obtener el índice de calidad del aire para todos los municipios de la Región de Murcia (un total de 49) a partir de un conjunto de once estaciones de medición (11). La metodología desarrollada se basa en técnicas de aprendizaje automático. El modelo que se presenta, aprende las relaciones espacio-temporales entre los puntos donde se sitúan las estaciones y las series de contaminación municipales, utilizando una serie de predicciones horarias a un kilómetro de resolución espacial, obtenidas mediante el sistema de modelado WRF-CHIMERE para un periodo de 10 años. Las series municipales de ozono, óxidos de nitrógeno, y material particulado se obtienen como un promedio de las series del modelo pesado por las áreas habitadas y su población a partir de los datos de muy alta resolución del catastro. Así pues, para cada paso temporal en el que se disponga de datos observados, nuestro modelo generará las series de contaminantes para cada municipio. Para testear el modelo, se han utilizado las campañas de medida de una unidad móvil, realizadas durante dos años completos, cubriendo casi todos los municipios de la Región de Murcia. Los resultados indican que para el caso del ozono, la predicción es casi perfecta con correlaciones por encima de 0.9. Para el caso de los óxidos de nitrógeno y el material particulado, los resultados son aceptables, con correlaciones superiores a 0,7 en un 90% de los casos. El sistema se está aplicando de manera operacional en la Región de Murcia.

El sistema Meteoalerta de avisos meteorológicos. Reflexiones y propuestas para una mayor efectividad

The Meteoalerta weather warning system: Reflections and proposals to enhance effectiveness

D. Gutiérrez Rubio

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

Meteoalerta es el Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos de AEMET. Su primera versión, heredera de anteriores planes puestos en marcha en los años 80 y 90, se lanzó en junio de 2006. El Plan se revisa sin periodicidad fija. Actualmente está en vigor la versión 9, de enero de 2025. El objetivo de los avisos meteorológicos es facilitar información a la sociedad acerca de la posible ocurrencia de fenómenos que amenacen la seguridad de personas y bienes. Por supuesto, el primer desafío consiste en producir predicciones tan certeras como la ciencia meteorológica permita, pero incluso si la predicción fuera perfecta, hay una cadena de requisitos que deben cumplirse para que sea efectiva, p.ej., permita a las personas usuarias tomar decisiones acertadas. La información debe ser:

- 1) Recibida: tenemos que pensar en cómo y cuándo se diseminan los avisos. Los horarios de emisión de los avisos para distintos alcances, la posibilidad de que tengan distinta resolución espacial según el alcance, y la importancia de una gestión rápida y decidida de los avisos de "nowcasting" y observados deben ser considerados.

- 2) Entendida: estructurar y presentar la información de manera intuitiva es clave. Revisar y optimizar cuestiones como la zonificación, los umbrales o la clasificación y denominación de los fenómenos puede ayudar mucho. Además, presentar la información en términos probabilistas es crítico para facilitar la comprensión de la inevitable incertidumbre asociada a la predicción.

- 3) Creída: robustecer la credibilidad de la institución y de la ciencia en general y luchar contra la desinformación es un trabajo de base y de mayor alcance. Más específicamente, debemos tener presente que la comunicación de la incertidumbre aumenta la credibilidad.

- 4) Permitir saber qué hacer con ella: si el aviso incluye una información básica acerca de las posibles consecuencias del fenómeno previsto y unas recomendaciones genéricas de actuación, sin duda facilitaremos este eslabón.

- 5) Provocar una actuación efectiva: si bien esto va más allá de nuestra responsabilidad, podemos contribuir, con información climatológica, a una toma de conciencia de la amenaza que suponen los fenómenos meteorológicos. Si esta cadena se rompe en cualquiera de sus eslabones, la predicción, por muy buena que sea, no alcanzará su objetivo de ser útil para la protección de vidas y bienes. Por tanto, cuando se establece un plan de avisos meteorológicos, no sólo hay que pensar en la meteorología.

Anemoi: desarrollo del modelo de predicción meteorológica con Inteligencia Artificial en AEMET. Evolución, primeros resultados y comportamiento en eventos extremos

Anemoi: the implementation of Artificial Intelligence weather prediction model at AEMET. Evolution and results in extreme weather events

C. Toledano (1,2), F. Belinchón (1), T. García (1), J. Martínez (1), J. Casado (1)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) Tragsatec

RESUMEN

AEMET está trabajando en la implementación de modelos predicción meteorológica basados en datos (Data-Driven Weather Forecasting Models) en el marco del ANEMOI-ML Pilot Project. Anemoi es la herramienta de código abierto basada en Python desarrollada en el ECMWF y cuyo objetivo es proporcionar los elementos fundamentales para entrenar modelos avanzados basados en datos y ejecutarlos en un contexto operativo. Los primeros entrenamientos se han hecho a partir de los datos de análisis del modelo HARMONIE-AROME que opera en AEMET para sus dos dominios (Iberia y Canarias), con diferentes arquitecturas en las mallas, así como aplicando distintas estrategias: entrenando desde cero o utilizando aprendizaje por transferencia (*transfer learning*). Las predicciones generadas a partir de esos entrenamientos nos han permitido investigar la respuesta de las variables meteorológicas tanto a escala regional como sinóptica, así como el comportamiento en eventos extremos como la dana de octubre de 2024 o Filomena. Como resultado de la validación de estas simulaciones, se presentan los resultados obtenidos hasta la fecha, que muestran el potencial del Anemoi, así como algunos problemas en los que hay que seguir avanzando.

El proyecto DEODE (Gemelos Digitales bajo demanda orientados a extremos): estado actual y contribución de AEMET

The On-Demand Extremes Digital Twins initiative: current status and AEMET's contribution

S. Viana, D. Martín, J.J. González-Alemán, L. Esbrí, M. Martínez, A. Jiménez-Garrote y J. Calvo-Sánchez

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

La iniciativa europea Destination Earth (DestinE) está orientada a la creación de gemelos digitales del Sistema Terrestre con el objetivo de mejorar la anticipación, predicción y evaluación de impactos asociados a fenómenos extremos y al cambio climático. En este contexto, el Proyecto DEODE (*Destination Earth's On-Demand Extremes Digital Twin*) constituye una componente importante del gemelo digital orientado a extremos meteorológicos, conocido como Extremes DT (*DestinE Digital Twin for Weather-Induced Extremes*) licitada por el ECMWF a un consorcio liderado por Météo-France y formado por 31 instituciones europeas, fundamentalmente SMNs junto con otros centros de investigación y supercomputación. El Proyecto DEODE introduce un nuevo paradigma de predicción configurable y bajo demanda, capaz de generar simulaciones de muy alta resolución (entre 500 y 750m, y hasta 200m en casos específicos) de eventos extremos meteorológicos, hidrológicos y de calidad del aire. A partir de información procedente de modelos globales o regionales, el sistema permite detectar las áreas más probables de extremos meteorológicos y configurar de forma dinámica los dominios de ejecución, su resolución espacial y otros aspectos de la simulación (incluyendo la activación de predicción por conjuntos en situaciones de baja predecibilidad), así como el acoplamiento de modelos de impacto (energías renovables, hidrología, incendios, etc). El núcleo del sistema se basa en los modelos meteorológicos de mesoescala desarrollados por el consorcio ACCORD (AROME, HARMONIE-AROME y ALARO), acoplados a los gemelos digitales globales. El desarrollo se apoya en infraestructuras de supercomputación pertenecientes al EuroHPC Joint Undertaking, que permiten flujos de trabajo escalables, interactivos y adaptados a las arquitecturas de supercomputación de nueva generación. En este trabajo se presenta el estado actual del Proyecto DEODE, sus objetivos científicos y tecnológicos y los principales avances alcanzados hasta el momento, con especial énfasis en la componente de evaluación y verificación del sistema, en la que AEMET centra la mayor parte de su contribución al proyecto. Finalmente, se discuten las oportunidades que este nuevo enfoque ofrece para los SMNs y la toma de decisiones ante eventos extremos.

Aprendizaje profundo aplicado a imágenes radar para “nowcasting” de precipitación

Deep Learning applied to radar images for precipitation nowcasting

P. Oria (1), I. Pérez del Notario (1,2), A. del Rey (1), H. Bustinze (2)

(1) Depto. Reducción de Riesgo de Desastres, TESICNOR. (2) Universidad Pública de Navarra

RESUMEN

El “nowcasting” de precipitación es una disciplina meteorológica que se centra en la predicción en un horizonte temporal de una a pocas horas, de eventos climáticos relacionados con la lluvia, tormentas y otros fenómenos atmosféricos. En este contexto, la utilización de imágenes de radar para el seguimiento y pronóstico de posibles impactos es fundamental, ya que proporciona datos en tiempo real sobre la distribución y movimiento de las precipitaciones, permitiendo una monitorización precisa y actualizada del estado atmosférico. Sin embargo, predecir la evolución futura de estas imágenes en un horizonte temporal tan corto presenta desafíos significativos, lo que ha impulsado la adopción de técnicas avanzadas de aprendizaje profundo o “Deep Learning”. El arquetipo de estas técnicas son las redes neuronales, que permiten aprender representaciones jerárquicas y detectar patrones sutiles en grandes volúmenes de datos lo hace especialmente adecuado para tareas relacionadas con imágenes. En el ámbito del “nowcasting” de precipitación, las redes convolucionales (CNN), redes neuronales recurrentes (RNN) o “Transformers” se han empleado para analizar imágenes radar y predecir su evolución futura. El enfoque empleado en la presente contribución consiste en el uso de modelos de predicción de secuencias, que toman una serie de imágenes radar en el pasado y predicen el conjunto de imágenes siguientes en la secuencia, típicamente del orden de 6 a 10. Esto se realiza mediante arquitecturas como “ensembles” de modelos basados en redes recurrentes secuenciales que aprenden a modelar la dinámica del movimiento de las precipitaciones, capturando patrones de desplazamiento, desarrollo y disipación de los sistemas de precipitación. Por otro lado, la utilización de este tipo de redes permite no solo predecir la cantidad de precipitación, sino también identificar patrones que indican eventos severos, como tormentas intensas o lluvias extremas, lo cual es crucial para la gestión de riesgos y la toma de decisiones en tiempo real. En cualquier caso, la interpretabilidad de estos modelos aún es limitada, lo que dificulta aún su aceptación en aplicaciones operativas.

Urban Heat Island intensity and Thermal Extremes in Lisbon: Observational insights for Urban Climate Adaptation

Urban Heat Island intensity and Thermal Extremes in Lisbon: Observational insights for Urban Climate Adaptation

D. Vilão (1,2), M.G. Pereira (2,3)

(1) Divisão de Meteorologia Aeronáutica, Dep. Meteorologia e Geofísica, Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Lisboa, Portugal. (2) Centre for Research and Technology of Agro-Environmental and Biological Sciences (CITAB), Inov4Agro, University of Trás-os-Montes and Alto Douro (UTAD), Vila Real, Portugal. (3) Instituto Dom Luiz, FCUL, Lisboa, Portugal

RESUMEN

The increasing frequency and severity of heat extremes represent a major challenge for urban areas under ongoing climate change. In this context, the Urban Heat Island (UHI) effect acts as a local-scale amplifier of thermal stress, intensifying exposure during heatwaves and prolonging unfavourable thermal conditions, particularly at night. A robust observational characterisation of UHI is therefore essential to support climate risk assessment and evidence-based urban adaptation strategies. This study provides a detailed observational assessment of the UHI effect in Lisbon, Portugal, focusing on the role of land use/land cover, urban density, and morphological characteristics in shaping urban thermal patterns. The analysis is based on air temperature data from a reference station operated by the Portuguese Institute for Sea and Atmosphere at Lisbon Airport and a quality-controlled municipal meteorological network in contrasting urban environments, compliant with World Meteorological Organisation installation standards. Several urban indices were considered, including aerodynamic roughness, compactness (height-to-width ratio), volumetry, urban density class and biomass, allowing a comprehensive evaluation of the links between urban form and thermal behaviour. UHI intensity was quantified as the temperature deviation between each urban station and the reference site, and its diurnal and nocturnal evolution was analysed separately to capture the dynamics of heat accumulation and release. Results reveal a clear and consistent relationship between UHI intensity and urban structure, the critical role of urban greenery and permeable surface and the importance of natural ventilation corridors and wind exposure. Asphalted areas characterised by high urban density, compactness, roughness, and low biomass exhibit the highest UHI intensities, reaching average values close to 2 °C. These areas display pronounced nocturnal heat retention, reflecting the combined effects of a higher thermal inertia and reduced ventilation. In contrast, locations with greater vegetation cover and higher biomass exhibit significantly lower UHI intensities, even when situated within densely built environments and characterised by high surface roughness. Areas that preserve favourable ventilation conditions experience reduced heat accumulation, reinforcing the need to integrate climatic considerations into urban planning. Overall, this work demonstrates how high-resolution observational networks can effectively diagnose urban thermal patterns and extremes and identify priority areas for intervention. The results provide strong empirical support for nature-based solutions, strategic land-use planning, and climate-sensitive urban design as key components of urban heat adaptation and resilience in Mediterranean cities facing increasing thermal risk.

El Pantanal bajo una presión creciente de sequía: análisis histórico y futuro de la duración y severidad de las sequías

The Pantanal under increasing drought pressure: historical and future drought duration and severity analysis

J. Ernst, R. Sorí, M. Stojanovic

Environmental Physics Laboratory (EPHysLab), Universidade de Vigo, Ourense

RESUMEN

El Pantanal, considerado el pantano tropical más grande del mundo, se encuentra cada vez más amenazado por el incremento de las sequías, impulsadas por la variabilidad climática y el cambio climático. Utilizando datos meteorológicos de múltiples fuentes (Multi-Source Weather; MSWX) y medias del ensamble multimodelo corregidas por sesgo, para el período 1980–2100. El ensamble multimodelo se compone de cinco simulaciones del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados, Fase 6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6; CMIP6). Se evaluaron las condiciones históricas y futuras de sequía en el Pantanal bajo los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Las sequías se identificaron mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Precipitación–Evapotranspiración Estandarizado (SPEI). El análisis histórico reveló una tendencia significativa hacia condiciones más secas, que culminó en las sequías extremas de 2019/2020 y 2023/24. En cuanto a la duración y severidad de las sequías, se identificó una tendencia positiva. Las proyecciones futuras indican una intensificación de las condiciones secas y una prolongación en la duración y severidad de los episodios de sequía. Hacia finales del siglo XXI, el escenario SSP5-8.5 muestra sequías persistentes, severas y de varios años, mientras que el SSP2-4.5 proyecta períodos secos más variables, aunque igualmente en intensificación. La duración de las sequías aumenta de forma más pronunciada al considerar el SPEI en comparación con el SPI, lo que subraya el papel creciente de la demanda evaporativa, asociada a la doble presión de la disminución de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas. Estos resultados aportan información de alta resolución sobre la dinámica de las sequías en el humedal del Pantanal, con impactos críticos sobre la biodiversidad, los recursos hídricos y el riesgo de incendios forestales. Por ello, se destaca la urgencia de implementar estrategias de gestión adaptativa para preservar la integridad del ecosistema en un futuro climático más cálido y seco.

Estudio de tendencias de precipitación en España desde 1950

An analysis of precipitation trends in Spain since 1950

P. Álvarez-Zapatero, J.V. Moreno, R. Romero, A. Morata

Área de Climatología y Aplicaciones Operativas, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

En este estudio se analizan las observaciones de precipitación mensual registradas en España con la red de estaciones de AEMET en el periodo 1950-2025 con el objetivo de caracterizar su distribución temporal y espacial, así como detectar posibles tendencias asociadas al cambio climático. Las precipitaciones mensuales se han interpolado a una malla regular de 1 km. Se emplean tanto la pendiente de Sen como el test de Mann-Kendall para evaluar la magnitud y significación de las tendencias encontradas. Los resultados muestran que no se detecta una tendencia anual significativa en el conjunto del país durante el periodo analizado. Sin embargo, sí se observan tendencias estacionales en verano e invierno, concentradas en regiones concretas, consistentes con resultados de trabajos previos.

Modelización climática en AEMET: contribuciones a modelos, predicciones y proyecciones climáticas

Climate modelling at AEMET: contribution to model development, climate predictions and projections

E. Rodríguez-Guisado (1), A. Hernanz-Lázaro (1), C. Correa-Guinea (1), J.C. Sánchez-Perrino (1), I. Prieto-Rico (1), A. Fernández-Andrade (1), J.A. Parodi-Perdomo (1), A. Martínez-Ferrer (1), J. J. González-Alemán (1), F. Franco-Manzano (1), M. Domínguez-Alonso (2), S. Sanfiz (2), J. Gutiérrez-Fernández (2), I. Rodríguez-Muñoz (2), M. Ortega-Camacho (2)

(1) Depto. Desarrollo y Aplicaciones, Servicios Centrales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Madrid. (2) AEMET-TRAGSATEC

RESUMEN

AEMET tiene entre sus responsabilidades la generación de información del comportamiento del clima futuro, incluyendo predicciones climáticas y proyecciones de cambio climático. Además, representa a España en los diferentes consorcios e iniciativas internacionales que desarrollan los modelos climáticos necesarios para generar dicha información, y con las organizaciones que colaboran internacionalmente para su generación. En esta contribución se describen las principales líneas de actividad y su estado actual. Actualmente AEMET forma parte de dos consorcios de modelización. Por un lado, es miembro del consorcio EC-EARTH, compuesto por decenas de instituciones europeas, que desarrolla un modelo del sistema Tierra usando como punto de partida el modelo del centro europeo de predicción a plazo medio. AEMET participa en su desarrollo y contribuye a los esfuerzos globales de IPCC y WMO para la generación de escenarios futuros de cambio climático en el marco de CMIP. A nivel regional, AEMET es miembro del consorcio HCLIM, que desarrolla una versión climática del modelo de predicción HARMONIE-AROME. AEMET ha contribuido al desarrollo de varios componentes (aerosoles, humedad del suelo y acoplamiento con océano), y está involucrada en iniciativas para la generación de simulaciones climáticas y escenarios de alta resolución en zonas de montaña (proyecto CIMAS) y Macaronesia (CORDEX-FPS). Por otro lado, AEMET genera escenarios regionalizados de cambio climático para España mediante metodologías estadísticas y de Inteligencia Artificial, habiendo desarrollado un software especializado integrando múltiples técnicas, usado con éxito en otras zonas del mundo. La información generada se pone a disposición de la sociedad en un repositorio y en un visor dinámico desarrollado conjuntamente con la Oficina Española de Cambio Climático, CSIC y Fundación Biodiversidad, en el grupo de trabajo "Escenarios-PNACC". Además, es responsable de la predicción estacional operativa para España, y trabaja en el desarrollo de servicios climáticos junto a la Dirección General del Agua (visor de ayuda a la gestión de embalses) y CSIC proyecto de Servicios climáticos AEMET-PTI Clima.

Caracterización del viento en superficie a partir del conjunto de modelos regionales de clima de EURO-CORDEX forzados con ERA5 (1980-2020)

Surface wind characterization from EURO-CORDEX regional climate modelling ensemble ERA5-forced (1980-2020) simulations

E. Sánchez (1), C. Gutiérrez (2), N. López de la Franca (1), M.O. Molina (3), M. Ortega (4), The Euro-CORDEX wind evaluation community.

(1) Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). (2) Universidad de Alcalá de Henares (UAH). (3) Universidade de Lisboa (ULisboa). (4) TRAGSATEC / Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

La iniciativa Euro-CORDEX (<https://www.euro-cordex.net/>) coordina las simulaciones de clima regional (RCMs) sobre Europa, ofrece una oportunidad única de estudiar el campo de viento en superficie en escalas climáticas a alta resolución (10-12 km de malla), empleando las simulaciones que se están llevando a cabo para en el siguiente informe del IPCC, forzados por los modelos globales de clima (GCMs) de CMIP6. Como primer paso para estos análisis, los RCMs modelizan las condiciones de clima presente forzados por el reanálisis ERA5 sobre un periodo presente común (1980-2020), para poder conocer su capacidad para describir en esas escalas de manera conjunta (como un ensemble) el clima regional de Europa, analizando tanto los aspectos más robustos como también aquellos en los que puedan existir más discrepancias o variabilidad, comparando frente a las observaciones disponibles y otros reanálisis de mayor resolución (CERRA). La caracterización climática regional de temperatura y precipitación a partir de estos “ensembles” ha sido extensamente estudiada en los ciclos de simulaciones de los anteriores informes del IPCC, y de nuevo se llevará a cabo con estas simulaciones. Sin embargo, el campo de viento, y en particular en superficie, no ha sido evaluado de manera detallada. Este trabajo propone analizar los aspectos más consistentes entre los modelos, así como aquellos en los que presenten más discrepancias, y sesgos entre ellos y las observaciones. Se estudiarán los campos medios anuales o estacionales, los ciclos anuales o incluso diarios, así como estadísticas más regionales, asociadas a aspectos orográficos o de contraste tierra/mar, incluyendo también la caracterización de conocidos vientos regionales. Estos análisis pretenden incluir también el estudio de recurso energético eólico, en función de la frecuencia temporal y espacial (verticalmente) de datos disponible en los RCMs. Todo ello permitirá una mejora en el conocimiento de la capacidad de los modelos en estas resoluciones para describir el viento en escalas climáticas sobre Europa, y, a partir de ello, poder servir de referencia para estudiar sus posibles cambios en las proyecciones de cambio climático futuro.

Modelado de Alta resolución para Resolver los Sistemas de Afloramientos costeros: pasado, presente y futuro (ARSA)

High-resolution modeling to resolve coastal upwelling systems: past, present, and future (ARSA)

R. Vázquez (1), C. Gutiérrez (1), A. Izquierdo (2), M. Des (3), M. Gómez-Gesteira (3), D. Sein (4), J.C. Nieto-Borge (1), W. Cabos (1)

(1) Universidad de Alcalá. (2) Universidad de Cádiz. (3) Universidad de Vigo. (4) Alfred Wegener Institute

RESUMEN

Los afloramientos costeros de límites orientales oceánicos (EBUS) son ecosistemas marinos altamente productivos que sostienen más del 20% de la pesca global, a pesar de ocupar solo el 2% del océano. Estos sistemas dependen de la dinámica de Ekman, que transporta aguas superficiales mar adentro y favorece la afloración de aguas profundas ricas en nutrientes. Sin embargo, su respuesta al cambio climático sigue siendo incierta debido a la interacción entre el calentamiento global, la intensificación de vientos y el aumento de la estratificación oceánica. Estudios previos han propuesto diferentes hipótesis sobre el futuro de los EBUS, pero la baja resolución de los modelos globales y las limitaciones de los modelos regionales dificultan una evaluación precisa de su evolución. Para abordar esta incertidumbre, el presente proyecto propone utilizar un modelo global de alta resolución que permita analizar los cuatro principales EBUS (Canarias, Benguela, Humboldt y California) bajo un mismo forzamiento climático, integrando procesos de mesoescala, regionales y de gran escala. Los objetivos principales del proyecto incluyen: 1) Evaluar el estado actual de los EBUS y la capacidad del modelo para reproducir su variabilidad; 2) Cuantificar la influencia del cambio climático en los vientos costeros, la estratificación oceánica y la circulación a gran escala; 3) Analizar las diferencias latitudinales y estacionales en la respuesta de los EBUS al cambio climático; 4) Comparar los resultados con modelos de menor resolución para evaluar ventajas y limitaciones de cada enfoque. Este proyecto contribuirá a reducir la incertidumbre sobre el futuro de los EBUS, proporcionando información clave para la gestión de estos ecosistemas y su papel en la sostenibilidad de la pesca y los recursos marinos en un contexto de cambio climático.

Tendências de longo prazo nos índices e descritores de seca na África Austral

Long-term trends in drought indices and descriptors in Southern Africa

F. Maliti Chivangulula (1,2), M. Amraoui (1), M. Gonzalez Pereira (1,3)

(1) Centre for the Research and Technology of Agroenvironmental and Biological Sciences, CITAB, Inov4Agro, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, UTAD, Vila Real, Portugal. (2) Instituto Politécnico da Huíla (IPH), Universidade Mandume Ya Ndemufayo (UMN), Lubango, Angola. (3) Instituto Dom Luiz (IDL), FCUL, Lisboa, Portugal

RESUMEN

A seca provoca múltiplos e diferenciados impactes, que vão desde a escassez de água e a perda de biodiversidade em climas áridos e semiáridos até ao stress ecológico, ao aumento do risco de incêndios e à redução da produtividade agrícola em regiões semiáridas e equatoriais. A seca afeta um grande número de pessoas na África Austral (AA) e constitui um desafio de gestão de grande proporção nesta região. Este estudo teve como objetivo avaliar as tendências de longo prazo dos índices e dos descritores de seca para caracterizar o regime de seca na AA nos últimos 50 anos, de 1971 a 2020. A metodologia utilizada nesta avaliação incluiu regressão linear, estimativa robusta da tendência de Theil-Sen e teste de Mann-Kendall para avaliar a significância estatística. Foi descarregado um vasto conjunto de reanálises climáticas ERA5 para o período de estudo, no domínio espacial definido por 0°–35° Sul e 7,5°–42,5° Este, com resolução espacial horizontal de 0,25° de latitude × 0,25° de longitude. Esses dados foram utilizados para calcular os índices de seca SPI e SPEI em diferentes escalas temporais, no Matlab e no R, respetivamente. Em seguida, foram calculados, no Matlab, os descritores de seca (número, intensidade, duração e severidade da seca). Os resultados revelaram a existência de tendências de longo prazo estatisticamente significativas (i) nos elementos climáticos, (ii) nos dois índices de seca, (iii) em todas as escalas de tempo, (iv) em áreas de maior dimensão com o SPEI em comparação com o SPI, (v) com padrões semelhantes e de acordo com os das tendências avaliadas para subperíodos climatológicos, (vi) uma sazonalidade acentuada entre os meses da estação seca e da estação chuvosa. Esta análise permitiu identificar vários hotspots de tendência de seca, dos quais os principais e mais recentes ocorrem em áreas com densidade populacional moderada a elevada, dentro de ecoregiões altamente sensíveis à variabilidade da precipitação, afetando zonas agroecológicas e sistemas agrícolas.

Regionalización de escenarios de cambio climático para las principales variables climáticas, parte I: Evaluación y metodologías novedosas de aprendizaje profundo

Downscaling of Climate Change Scenarios for main climate variables, part I: Evaluation and innovative Deep Learning methodologies

M. Ortega (1,2), I. Rodríguez-Muñoz (1,2), J. Gutiérrez-Hernández (1,2), A. Hernanz (2), M. Domínguez (1,2), S. Sanfiz (1,2), C. Correa (2), E. Rodríguez-Guisado (2)

(1) TRAGSATEC, Grupo Tragsa. (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

En el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030 se pone de manifiesto la necesidad de la generación de escenarios de cambio climático para España, mediante métodos estadísticos, pero también dinámicos, de manera que puedan publicarse para disposición y conocimiento de toda la sociedad. Por ello, en la Agencia Estatal Meteorología (AEMET) se han desarrollado diferentes softwares y metodologías novedosas mediante las cuales se procede al cálculo, el refinamiento y la generación de resultados de escenarios de cambio climático para las principales variables climáticas, como temperatura y precipitación, así como para variables para las que apenas existen publicaciones acerca de evaluaciones o escenarios regionalizados, como la velocidad del viento, la humedad relativa o la radiación superficial de onda corta. En este trabajo, se ha realizado una primera evaluación de estas cinco variables en la península Ibérica a partir de distintos productos de reanálisis, debido a la falta de trabajos globales que traten las variables menos comunes y también las escasas bases de datos observacionales robustas y con suficiente información como para extender métodos estadísticos de evaluación a trabajos que no versen sobre temperatura y precipitación. Así, se pretende llenar un amplio hueco en la literatura climática y seleccionar una base de datos de reanálisis que poder llevar a cabo la regionalización de escenarios climáticos. Hernanz et al. (2023), por otro lado, ha puesto de manifiesto el interés de utilizar metodologías novedosas de aprendizaje profundo e inteligencia artificial, como DeepESD, para generar información regionalizada en un grupo más amplio de variables. Por tanto, se ha utilizado el software pyClim-SDM para llevar a cabo la regionalización del escenario de cambio climático más adverso en un “ensemble” multimodelo de once miembros, frecuentemente utilizada por AEMET, a través del reanálisis de alta resolución CERRA, mediante diversos métodos (RAW-BIL, QDM, MLR, XGB y DeepESD) con el objetivo de evaluar la “performance” de cada uno de ellos. Los resultados muestran conclusiones interesantes acerca de la utilización de estas metodologías para variables a las que tradicionalmente no se han aplicado, así como las principales limitaciones que podemos encontrar a la hora de realizar este tipo de trabajos.

Referencia:

Hernanz, A., Correa, C., Domínguez, M., Rodríguez-Guisado, E., Rodríguez-Camino, E. (2023). Comparison of machine learning statistical downscaling and regional climate models for temperature, precipitation, wind speed, humidity and radiation over Europe under present conditions. *Int. J. Climatol.*, 43(13), 6065–6082. <https://doi.org/10.1002/joc.8190>.

Regionalización de escenarios de cambio climático para las principales variables climáticas, parte II: Aplicación a predicción estacional

Downscaling of Climate Change Scenarios for main climate variables, part II: Application to seasonal prediction

I. Rodríguez-Muñoz (1,2), M. Ortega (1,2), J. Gutiérrez-Hernández (1,2), A. Hernanz (2), M. Domínguez (1,2), S. Sanfiz (1,2), C. Correa (2), E. Rodríguez-Guisado (2)

(1) TRAGSATEC, Grupo Tragsa. (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

Dentro de sus responsabilidades en el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021–2030, AEMET genera y pone a disposición de la sociedad, información de escenarios de cambio climático para España mediante métodos estadísticos de regionalización (Correa et al., 2023). Estos métodos requieren bases de datos observacionales robustas y suficientemente largas para su correcto entrenamiento y validación, lo que tradicionalmente ha limitado su aplicación principalmente a las variables de temperatura y precipitación. Sin embargo, la evaluación de impactos y la planificación de medidas de adaptación al cambio climático demandan información de un conjunto más amplio de variables climáticas esenciales (ECV). Trabajos recientes han puesto de manifiesto el potencial de los métodos de regionalización estadística empírica (ESD) y, en particular, de las nuevas técnicas basadas en inteligencia artificial para generar información regionalizada de un mayor número de ECVs. En este trabajo se aborda la generación de escenarios de cambio climático de alta resolución para un conjunto de variables que incluye la humedad relativa, el viento y la radiación superficial de onda corta, así como, por coherencia, la temperatura y la precipitación. La cobertura observacional de alguna de estas variables es limitada. Por ello, resulta fundamental el uso de productos de reanálisis. A partir de un análisis comparativo frente a observaciones de AEMET, se ha seleccionado CERRA como rejilla observacional, lo que permite disponer de información a una resolución que alcanza los 5.5 km. Se ha llevado a cabo una regionalización del escenario de cambio climático más adverso usando un “ensemble” multimodelo y se han calculado diversos índices climáticos asociados, mediante distintos métodos de regionalización estadística, siendo DeepESD el que ha presentado el mejor desempeño. La experiencia adquirida y los resultados obtenidos han motivado la extensión de esta metodología al ámbito de la predicción estacional. En particular, se explora la aplicación de DeepESD para la regionalización de predicciones estacionales, inicialmente de viento y humedad, evaluando si esta aproximación es capaz de aportar información adicional útil o si, aplicado a predicciones de temperatura y precipitación, mejora los resultados actualmente disponibles.

Referencia:

Correa, C., Hernanz, A. y Rodríguez-Guisado, E. (2023). Evaluación de métodos de regionalización estadística para la generación de proyecciones climáticas en el marco del PNACC-2 2021-2030. Nota técnica 41 de AEMET.

La energía fotovoltaica en la península Ibérica bajo escenarios de inyección de aerosoles de azufre en la estratosfera

Photovoltaic power in the Iberian Peninsula under stratospheric sulfate injection

S. Bayo-Besteiro (2), C. Perez-Souto (1), J.C. Antuña (3), L. de la Torre (1), J.A. Añel (1)

(1) EPhysLab, CIM-Uvigo, Universidade de Vigo, Ourense, España. (2) INESC TEC, Porto, Portugal. (3) IGEO (CSIC-Universidad Complutense de Madrid), Madrid, España

RESUMEN

La energía solar fotovoltaica cubrió el 19% de la demanda total de electricidad en España en 2025, con un crecimiento de casi el 150% a lo largo de los últimos cinco años. El plan actual de España para cumplir con los objetivos de descarbonización establece que para 2030 la capacidad total instalada de generación de energía solar en España será ligeramente más de cuatro veces superior a la capacidad instalada en 2019, con un crecimiento continuo hasta 2050. Dado el importante porcentaje del “mix” eléctrico que ya cubre la energía solar y el aumento previsto para los próximos años, es necesario tener en cuenta e investigar adecuadamente el riesgo potencial que representa la intervención climática para la seguridad energética de España. En este estudio presentamos los posibles impactos en la producción de energía solar fotovoltaica en España bajo varios posibles escenarios de intervención climática por inyección de aerosoles de sulfato en la estratosfera.

Proporcionando información de impactos del cambio climático para adaptación en zonas de orografía compleja: la iniciativa CIMAs

Providing climate change information for adaptation over areas with complex orography: CIMAs initiative

E. Rodríguez-Guisado (1), F. González-Rouco (2), E. Rodríguez-Camino (3), C. Vegas (2), J.C. Sánchez Perrino (1), I. Prieto-Rico (1), J. Navarro-Montesinos (4), E. García-Bustamante (4)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) Instituto de Geociencias, IGEO (UCM-CSIC), (3) Asociación Meteorológica Española (AME) (4) Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)

RESUMEN

Las zonas de montaña presentan una compleja distribución de climas y ecosistemas, que tienden a sufrir en mayor medida las consecuencias del cambio climático por las retroalimentaciones positivas que amplifican los efectos del calentamiento global. Además, la gran variabilidad espacial de los gradientes de temperatura y la heterogeneidad en la ocurrencia, cantidad y distribución de las precipitaciones y la cubierta de nieve son especialmente relevantes para sectores como los recursos hídricos, la biodiversidad, y el riesgo de inundación, señalados como prioritarios en el Plan Nacional de Adaptación. Sin embargo, las duras condiciones meteorológicas y la compleja orografía asociada a este entorno que, como parte del Mediterráneo, ha sido señalado como “hot-spot” climático, dificultan la toma de datos en montaña y plantean retos para los modelos climáticos regionales, por lo que la información de escenarios de cambio climático disponible actualmente no tiene el nivel de detalle necesario para describir adecuadamente. CIMAs representa un esfuerzo conjunto entre AEMET y la Universidad Complutense de Madrid (UCM) destinado a mejorar nuestra comprensión de la variabilidad y el cambio climático en zonas de montaña de la península Ibérica. En el proyecto se ha realizado un trabajo exhaustivo de recopilación de datos de diferentes instituciones, que se están utilizando para desarrollar simulaciones de muy alta resolución con dos modelos climáticos diferentes, explorando la capacidad de dichas herramientas de describir adecuadamente los climas de montaña, con objeto de generar escenarios de cambio climático y servicios climáticos que atiendan las necesidades actuales de información para adaptación sobre estas regiones clave.

Predicción de aportaciones a embalses en España a través de modelos climáticas de proyecciones de precipitación regionalizadas del CMIP6

Prediction of contributions to reservoirs in Spain using CMIP6 regionalised precipitation projection climate models

J. Gutiérrez-Fernández (1,2), S. Sanfiz (1,2), E. Rodríguez-Guisado (2)

(1) TRAGSATEC, Grupo Tragsa. (2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

La península Ibérica es una de las regiones del Mediterráneo que tiene una mayor recurrencia a sufrir episodios prolongados de sequía. Estos episodios de escasez de precipitaciones hacen necesario la presencia de grandes reservas artificiales de agua para su almacenamiento en periodos de sequías. En España contamos con una amplia red de embalses que son monitorizados a través del MITECO y que nos ofrece información de las entradas, acumulación y salidas de agua de los embalses a nivel mensual. En los últimos años, distintos estudios sobre cambio climático ponen a la península Ibérica como una de las regiones del planeta que presentarán un mayor descenso de las precipitaciones, y por tanto que podría tener problemas y restricciones graves para el consumo y aprovechamiento de los recursos hídricos. En consecuencia de esta problemática, el principal objetivo de este trabajo es trasladar los datos de anomalía sobre las precipitaciones previstas al impacto sobre las reservas de agua. Para ello se crea un modelo de regresión lineal múltiple que permita predecir las entradas de agua en los embalses a partir de proyecciones climáticas de precipitación. Para este trabajo utilizaremos los datos de entrada de agua en los diferentes embalses disponibles en la página web del MITECO, que serán entrenados a través de datos de precipitación del reanálisis de CERRA para generar un modelo predictivo de regresión lineal múltiple que pueda ser utilizado en modelos climáticos de precipitación del CIMP6. Con este resultado se quiere estudiar los posibles cambios en la cantidad de entrada de agua y estudiar cómo en el futuro pueden variar los extremos de los valores de aportaciones.

Predictibilidad de las teleconexiones oceánicas que modulan el clima del Atlántico Norte en invierno temprano mediante “deep learning”

Deep Learning identification of ocean teleconnections driving early-winter North Atlantic climate

V. Galván Fraile (1,2), I. Polo (1), M. Martín-Rey (1), B. Rodríguez-Fonseca (1,2), M.A. Balmaseda (3)

(1) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid, España. (2) Instituto de Geociencias (IGEO), CSIC-UCM, Madrid, España. (3) European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), Reading, Reino Unido

RESUMEN

La predictibilidad estacional de la circulación atmosférica temprana invernal (noviembre-diciembre) en la región Euro-Atlántica está, en gran medida, condicionada por las anomalías de la temperatura superficial del mar (SST). Las regiones extratropicales presentan mayores desafíos, debido a la complejidad de sus procesos atmosféricos y la interacción de múltiples fuentes de señal predictiva. Los sistemas de predicción estacional actuales, que dependen en gran medida de fenómenos interanuales conocidos, como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), presentan sesgos importantes en las SSTs extratropicales, lo que reduce su capacidad predictiva en variables clave para la región Euro-Atlántica. Esto destaca la necesidad de desarrollar metodologías estadísticas alternativas que puedan superar dichas limitaciones. En este estudio se evalúa la capacidad predictiva de las anomalías globales de la SST para pronosticar anomalías de presión a nivel del mar (MSLP) durante noviembre-diciembre. Para ello, se emplean dos enfoques estadísticos: (i) Análisis de Covarianza Máxima (MCA), para identificar patrones dominantes de covariabilidad océano-atmósfera; (ii) redes neuronales (NN), diseñadas para capturar teleconexiones no lineales; y se comparan los resultados con los obtenidos por un modelo dinámico de predicción estacional (SEAS5 del ECMWF). Los resultados indican que el modelo basado en NNs tiene una capacidad predictiva similar a los sistemas dinámicos y a los enfoques estadísticos tradicionales, mejorándolos en ciertos aspectos clave de la variabilidad Euro-Atlántica. Entre 1995 y 2019, se observa una mejora significativa en la predicción del patrón del Atlántico Este (EA), mientras que para el período 1970-1994, se constata un aumento notable de la habilidad predictiva del índice de Oscilación del Atlántico Norte (NAO). El análisis de la no estacionariedad de las teleconexiones SST-MSLP permite identificar “ventanas de oportunidad” en las que los pronósticos estacionales son más fiables. Estos hallazgos contribuyen a una mejor comprensión de las teleconexiones forzadas por el océano en la región Euro-Atlántica, proporcionando información útil para el desarrollo de modelos predictivos más robustos y precisos. Asimismo, los resultados destacan la relevancia de combinar métodos lineales y no lineales para capturar la complejidad de las interacciones océano-atmósfera y mejorar la predicción estacional temprana del invierno.

Clasificación de patrones meteorológicos asociados a grandes incendios forestales

Classification of weather patterns associated with large forest fires

P. Oria (1), C. Montiel (2), J.J. Boulandier (3), C. Villabril (2)

(1) Depto. Reducción de Riesgo de Desastres, TESICNOR. (2) Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense de Madrid. (3) Depto. Interior, Función Pública y Justicia - Gobierno de Navarra

RESUMEN

La clasificación sinóptica propuesta de Font, empleada por AEMET, ha sido recientemente actualizada y reconstruida utilizando el reanálisis ERA40 del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo. Esta clasificación resulta útil para comprender la variabilidad y la complejidad de los patrones meteorológicos a escala sinóptica, dividiéndolos en 23 situaciones tipo. Se ha aplicado esta clasificación para analizar la relación entre la estadística de incendios forestales en la península Ibérica y Baleares y los diferentes patrones, con objeto de determinar si una mayor ocurrencia de ciertos patrones conduce a condiciones compatibles con un mayor riesgo de incendio forestal. Por otro lado, la presente contribución analiza también los patrones atmosféricos a escala meso- y sinóptica que favorecen la propagación de incendios forestales ocurridos en las dos principales cuencas hidrográficas de la región de Navarra, al norte de la península Ibérica. Para ello, se emplean variables meteorológicas en superficie y en niveles atmosféricos de 850 y 500 hPa, además de utilizar un algoritmo de agrupamiento (“clustering”) aplicado a datos diarios. Se presentan diversos indicadores, como la evolución de los regímenes meteorológicos asociados a los días en que se han registrado grandes incendios forestales en las últimas décadas, considerando tanto su frecuencia absoluta como su distribución a lo largo del año. Los resultados, junto con investigaciones recientes sobre los posibles efectos del cambio climático en los incendios forestales, indican que en la cuenca del Mediterráneo se observa un aumento claro en la ocurrencia y persistencia de ciertos patrones meteorológicos asociados con incendios de gran escala. Sin embargo, estas tendencias no se detectan en el extremo norte de la región, donde se encuentra la cuenca que drena hacia el Cantábrico.

Tendencias pasadas, presentes y futuras de la radiación solar en superficie en Europa: Evaluación multifuente

Past, present, and future trends of surface solar radiation in Europe: Multi-source evaluation

J.A. Ruiz-Arias (1), L.C. Segado-Moreno (2), J.P. Montávez (2), F.J. Santos-Alamillos (1), L. Pinilla-Ortiz (1), J. Ruiz-Del Castillo (1)

(1) Depto. Física Aplicada I, Universidad de Málaga. (2) Depto. Física, Universidad Jaén

RESUMEN

El aumento de la radiación solar en superficie (SSR, por sus siglas en inglés) en Europa en las últimas décadas (*brightening* solar), ha generado preocupación por sus potenciales implicaciones para el sistema climático. El incremento viene ocurriendo desde mediados de la década de los 80, a razón de algo más de 3 W/m^2 por década, después de un periodo previo de decremento (conocido como *dimming* solar). La razón mayoritariamente aceptada para el cambio de tendencia tiene que ver con la reducción normativa impuesta en esa década a las emisiones antropogénicas en la atmósfera. Este estudio evalúa las tendencias decadales de SSR en Europa en el periodo histórico 1994-2024 a partir de observaciones de SSR en estaciones radiométricas terrestres por todo el continente, cuatro modelos diferentes e independientes de SSR basados en imágenes de satélite y el reanálisis ERA5, así como las proyecciones de SSR en el periodo 2024-2054 en cuatro escenarios climáticos diferentes a partir de 30 modelos climáticos del CMIP6, con decenas de miembros en cada escenario. Este es el primer estudio de estas características que extiende el estudio combinado de múltiples fuentes de SSR por un periodo histórico de 30 años y lo confronta con las proyecciones climáticas para los futuros 30 años. Las observaciones y modelos en el periodo histórico muestran que el incremento de SSR desde 1994 no ha sido constante en el tiempo, incluyendo, por ejemplo, un periodo de estancamiento, posiblemente relacionado con el hiato de temperatura del siglo XXI, ni regionalmente, con tendencias positivas mucho mayores en centro Europa occidental. El estudio propone una novedosa metodología que permite evaluar el papel relativo jugado por los aerosoles atmosféricos y la nubosidad en el cambio observado en SSR, discerniendo entre los impactos directo e indirecto del aerosol atmosférico y la influencia del calentamiento global en los cambios nubosos. En particular, se atribuye una quinta parte del cambio de SSR al impacto directo de cambios en los aerosoles y el resto a cambios en la nubosidad, fundamentalmente atribuidos al impacto indirecto del aerosol y al incremento de las temperaturas. La principal incertidumbre en estos resultados está asociada con las limitaciones de los modelos meteorológicos a la hora de reproducir las tendencias del espesor óptico de aerosol. La mediana del conjunto de modelos CMIP6 subestima la tendencia de SSR observada durante el periodo 1994–2014. En el periodo proyectado (2024-2054), la mediana de la tendencia proyectada por los modelos CMIP6 disminuye, siendo, en promedio, un 85% menor que la tendencia observada durante 1994–2023, con pequeñas diferencias entre los escenarios de forzamiento.

Proyección del régimen pluviométrico futuro en localidades costeras del noreste de la península Ibérica bajo escenarios de cambio climático

Projection of future precipitation regimes in coastal areas of northeastern Iberian Peninsula under climate change scenarios

R. Kirchner (1), M.C. Casas-Castillo (1), R. Rodríguez-Solà (2)

(1) Depto. Física, ESEIAAT, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech. (2) Depto. Física, ETSEIB, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech

RESUMEN

La caracterización de los cambios futuros en el régimen de precipitación no puede limitarse únicamente al análisis de valores medios o extremos, sino que requiere también el estudio de la estructura temporal y de la complejidad del patrón pluviométrico. En este trabajo se analiza la proyección del régimen pluviométrico futuro en diversas localidades costeras del noreste de la península Ibérica bajo escenarios de cambio climático, dando continuidad a estudios previos y ampliando el ámbito espacial de análisis. Las series de precipitación diaria utilizadas proceden del proyecto RESCCUE y fueron generadas a partir de un conjunto de diez modelos climáticos globales, cuyas salidas fueron regionalizadas mediante métodos estadísticos, bajo los escenarios climáticos RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5. En trabajos anteriores, el análisis basado en índices ETCCDI de precipitación indicó una tendencia hacia una mayor concentración de la lluvia en eventos intensos, pese a la elevada incertidumbre asociada a las variaciones en la precipitación total futura. En el presente estudio se incorporan parámetros multifractales obtenidos mediante el análisis MFDFA (Multifractal Detrended Fluctuation Analysis) con el objetivo de evaluar posibles cambios en la complejidad y en la organización temporal del patrón de precipitación diaria. Los resultados derivados del MFDFA muestran un comportamiento coherente con las tendencias previamente identificadas mediante los índices climáticos, sugiriendo modificaciones en la estructura multifractal del régimen pluviométrico futuro. Estos cambios podrían reflejar una alteración en la contribución relativa de eventos de distinta intensidad al patrón global de precipitación, aportando una perspectiva complementaria a los enfoques basados en índices climáticos convencionales.

Análisis multiescalar de las sequías en el noroeste de África y su relación con índices de teleconexión

Multi-scale analysis of northwest African droughts and their relationship with teleconnections indices

M. Stojanovic (1), R. Sorí (1), A. Pérez-Alarcón (1), R. Hassan (2), F. Ismail (2), R. Ezz-Eldeen (2), R. Nieto (1,3), L. Gimeno (1,3)

(1) Environmental Physics Laboratory (EPhysLab), Universidad de Vigo, Orense, España. (2) Atmospheric Science Dept., Egyptian Meteorological Authority, Cairo Governorate, Egipto. (3) UVigo-CESGA (Universidad de Vigo - Centro de Supercomputación de Galicia), España

RESUMEN

This study analyses the temporal evolution and teleconnection drivers of drought in Northwest Africa (NA) between 1950 and 2022 by utilising the Standardised Precipitation Index (SPI) across 48 timescales, through which 102 drought events were identified at the 1-month scale. SPI at 48 time scales was correlated with several climate modes, including the Bivariate ENSO Timeseries (BEST) representing the El Niño–Southern Oscillation (ENSO), the North Atlantic Oscillation (NAO), the Tropical Northern Atlantic (TNA) index, the Mediterranean Oscillation Index (MOI), and the Western Mediterranean Oscillation (WeMO). The results indicate a statistically significant aridification trend ($p < 0.05$) across most SPI scales, while correlation analysis reveals a complex seasonal structure characterised by alternating positive and negative coefficients throughout the annual cycle. This intra-annual variability, evidenced by the shifting sign of the correlations, suggests that the influence of teleconnection patterns is highly dependent on the month of the year, where regional Mediterranean modes often exhibit stronger and more consistent associations with precipitation deficits than large-scale Atlantic signals. To quantify the drivers of the observed drying trend, a Multiple Linear Regression model was utilised for trend attribution, and the findings demonstrate that regional Mediterranean oscillations, specifically the MOI and WeMO, are the primary predictors of drought variability, as both indices were the only statistically significant drivers, whereas large-scale Atlantic signals such as the NAO and ENSO showed no significant contribution to the long-term trend in this multivariate framework, highlighting an important shift in regional climate forcing whereby Mediterranean atmospheric circulation now exerts a dominant control over Northwest African precipitation trends compared to North Atlantic influences.

Patrones espacio-temporales del peligro de sequía compuesta en el norte de África: un enfoque de tipologías basado en múltiples índices

Spatio-temporal patterns of compound drought hazard in Northern Africa: a multi-index typology approach

R. Sorí (1), M. Stojanovic (1), A. Pérez-Alarcón (1), M. Sami Mo-hamed (2), A. Fahmy Sidhom Mekhiel (2), J. Ernst (1), R. Nieto (1,3), L. Gimeno (1,3)

(1) Environmental Physics Laboratory (EPhysLab), Universidad de Vigo, Orense, España. (2) Atmospheric Science Dept., Egyptian Meteorological Authority, Cairo Governorate, Egipto. (3) UVigo-CESGA (Universidad de Vigo - Centro de Supercomputación de Galicia), España

RESUMEN

Northern Africa (NA) encompasses diverse climate types, from Mediterranean woodlands to arid deserts, making it one of the most water-stressed regions globally. Water availability in the soil is crucial for the socioeconomic activities and ecosystem resilience of this region. This study utilizes soil water content (SWVL) datasets from the European Space Agency (ESA) and the ERA5-Land reanalysis (1980–2023) to investigate the response of three soil layers: 0–7 cm, 7–28 cm, and 28–100 cm, to changes in dry conditions considering precipitation and atmospheric evaporative demand. By integrating 3-month standardized indices for precipitation (SPI3), evapotranspiration (SPEI3), and soil moisture (SSMI3), we build a comprehensive drought typology and map monthly compound-drought hazards. Typologies are defined using mutually exclusive logical rules and strict thresholds (< -0.84) to identify four distinct categories: Compound (simultaneous SPI, SPEI, and SSMI deficits), Hydrological, Evapotranspiration-driven, and Soil-anomaly hydrology. Validation results show that ESA and ERA5-Land soil moisture data are strongly correlated in the first layer, with maximum coherence in the northwestern region for deeper layers. Trend analysis also reveals a significant decrease in soil water content, particularly in the top and intermediate layers of the Maghreb belt. Multiple regression attribution analysis demonstrates that trends in the first layer are dominated by SPI evolution, confirming NA as a primarily water-limited region. The results identify pronounced compound drought hotspots over Morocco, northern Algeria, and Tunisia. While the hydrological type is spatially dominant along the Mediterranean margin, evapotranspiration-driven and soil-anomaly types are more episodic, consistent with localized heat-demand effects and soil–land-use controls. A coherent hazard belt is observed across all seasons, with peak intensity during winter and spring in Northwestern Africa. By distinguishing physical drought manifestations (typology) from multivariate co-occurrence frequency (hazard) and their underlying drivers (attribution), this framework delivers a diagnostics to support risk-informed decision-making in water allocation, rain-fed agriculture, and the stewardship of Mediterranean forests.

Emulación climática para predicciones decenales mediante “autoencoders” variacionales

Climate emulation for decadal predictions using variational autoencoders

N. Tacoronte (1), M. García-Valdecasas Ojeda (1, 2), Y. Castro-Díez (1,2), M.J. Esteban-Parra (1,2), S. Gámiz-Fortis (1,2)

(1) Depto. Física Aplicada, Universidad de Granada. (2) Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía (IISTA-CEAMA), Granada

RESUMEN

La emulación climática mediante modelos generativos profundos está emergiendo como una estrategia clave para acelerar la producción de simulaciones climáticas sintéticas y apoyar el análisis probabilístico de sucesos raros, en particular en el contexto de la predicción decenal. En este trabajo se presenta el desarrollo y la validación de un emulador climático basado en “Variational Autoencoders” (VAE), así como su extensión condicional (cVAE), orientados a la generación de campos espaciales de temperatura y precipitación. La motivación principal radica en que los VAE aprenden un espacio latente regularizado que tiende a una distribución Normal (0,1), propiedad especialmente útil en Climatología: los estados más frecuentes quedan concentrados cerca del centro, mientras que los eventos raros y extremos aparecen asociados a las colas, aportando un marco natural para explorar y sintetizar eventos de baja probabilidad. La metodología se ha estructurado en tres fases: (i) validación inicial en un problema controlado utilizando el conjunto de datos MNIST, una base de datos estándar de imágenes de dígitos manuscritos ampliamente empleada en aprendizaje automático como ejemplo simplificado (“toy example”), que permite una inspección visual directa de la calidad generativa del modelo; (ii) adaptación del modelo para el procesamiento de campos climáticos de alta dimensionalidad mediante arquitecturas convolucionales 2D (encoder/decoder), incorporando funciones de activación ReLU (para introducir no linealidad), “batch normalization” (para estabilizar y acelerar el entrenamiento) y “dropout” (como técnica de regularización para reducir el sobreajuste), con el fin de mejorar la estabilidad y la capacidad de generalización del modelo; (iii) implementación de un cVAE capaz de generar un campo objetivo condicionado a un conjunto de mapas de entrada, con el fin de aproximar relaciones multivariadas consistentes con la dinámica atmosférica. Los resultados muestran que el VAE no condicionado genera mapas climáticos espacialmente coherentes, reproduciendo patrones medios y características de variabilidad. En particular, el modelo mantiene un buen ajuste de estadísticos asociados a extremos, como percentiles altos y bajos, y métricas de la forma de la distribución (p.ej., curtosis), lo que sugiere que el espacio latente captura información relevante tanto del comportamiento central como de las colas de la distribución. Además, el cVAE confirma la viabilidad de introducir control mediante condiciones de entrada, abriendo la puerta al desarrollo de un emulador multivariable capaz de representar dependencias físicas entre predictores atmosféricos y eventos climáticos extremos. En general, este trabajo evidencia el potencial de los VAEs como herramienta práctica para emulación climática en predicción decenal.

Agradecimientos: Esta investigación ha sido llevada a cabo en el marco del proyecto PID2021-126401OB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

Pseudo-proyecciones climáticas de la precipitación en Andalucía a muy alta resolución espacial

Pseudo-climate projections of rainfall in Andalusia at very high spatial resolution

M. García-Valdecasas Ojeda (1,2), F. Solano-Farías (3), N. Tacoronte (1), D. Donaire-Montaño (1), Y. Castro-Díez (1,2), M.J. Esteban-Parra (1,2), S. Gámiz-Fortis (1,2)

(1) Depto. Física Aplicada, Universidad de Granada, España. (2) Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía (IISTA-CEAMA), Granada, España. (3) Centro de Investigación y Desarrollo del Ejército y Fuerza Aérea, Ciudad de México, México

RESUMEN

La vulnerabilidad de la sociedad andaluza a episodios de precipitación extrema en inundaciones ha sido documentada mediante series históricas y bases de datos de alta resolución. La intensificación de estos eventos extremos de precipitación es una de las manifestaciones más evidentes del calentamiento global. La relación de Clausius-Clapeyron marca una tasa de aumento de la tensión de vapor de saturación con la temperatura en torno a $7\%/^{\circ}\text{C}$, lo que sugiere que teóricamente los eventos extremos de precipitación podrían incrementar a esta tasa, o incluso a una tasa mayor a escala subdiaria. Por tanto, la generación de proyecciones climáticas de alta resolución espacial resulta fundamental para el desarrollo de políticas de adaptación y mitigación de riesgos del cambio climático. En este contexto cobran importancia los modelos climáticos regionales (RCMs) que permiten la resolución explícita de los procesos de convección (convection-permitting models, CPMs). Estos se basan en un uso a resoluciones espaciales por debajo de 4 km, lo que posibilita reducir las incertidumbres asociadas a la parametrización de la convección, representando procesos de retroalimentaciones locales de forma más adecuada. Así, con el objetivo de evaluar los cambios proyectados en el régimen de precipitaciones de Andalucía se han realizado proyecciones de cambio climático a muy alta resolución (1 km) para finales de siglo (2070-2099) bajo el escenario de cambio climático SSP5-8.5, usando el modelo Weather Research and Forecasting (WRF) y la técnica del Pseudo-Global Warming (PGW). El enfoque PGW combina los datos de reanálisis de ERA5 con la señal de cambio climático obtenida para finales de siglo y bajo ese escenario de emisión a partir de las salidas de 24 modelos de circulación general (GCMs), lo que da lugar a la generación de pseudo-proyecciones climáticas a un coste computacional menor. Los resultados de este trabajo indican una disminución consistente de la precipitación anual y estacional de otoño en casi toda Andalucía para finales de siglo, con una intensificación clara y bastante generalizada de los eventos muy extremos de precipitación, asociados a tormentas convectivas, en amplias zonas de la región centro-sur y este de Andalucía.

Agradecimientos: Esta investigación ha sido llevada a cabo en el marco del proyecto PID2021-126401OB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER, UE.

EC-EARTH4: Nueva versión del modelo climático global europeo

EC-EARTH4: New version of the European global climate model

J.A. Parodi-Perdomo (1), E. Rodríguez-Guisado (2)

(1) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) - D.T. Comunidad Valenciana. (2) AEMET- Área de Evaluación y Modelización del Clima, Madrid

RESUMEN

El consorcio EC-Earth desarrolla desde 2006 un modelo climático global acoplado (EC-EARTH). Es un modelo del sistema terrestre (ESM, Earth System Model) de última generación, en cuya nueva versión incorpora en su versión estándar la simulación del ciclo del carbono, con vegetación dinámica y mejoras en la modelización de aerosoles atmosféricos. Asimismo, una de las novedades más importantes en esta nueva versión es el cambio en el modelo atmosférico, ya que se sustituye el modelo anterior –IFS- por el modelo OpenIFS (módulo atmosférico derivado de IFS, con licencia de uso menos restrictiva, lo que facilitará su uso por parte de la comunidad académica), ambos proporcionados por el ECMWF. El modelo EC-EARTH ha sido diseñado con una filosofía “seamless”, lo que permite su utilización en distintas escalas, con opciones de configuración del modelo flexibles y en continua evolución ([1],[2]). Ha participado desde sus inicios en numerosos proyectos de investigación internacionales, así como en los proyectos de intercomparación de modelos acoplados, CMIP5 y CMIP6, cuyos resultados han contribuido en la elaboración de los correspondientes Informes de Evaluación del IPCC (AR5 y AR6). Actualmente, se encuentra en la última fase de desarrollo de su versión 4 (EC-EARTH4) y preparando las integraciones para la participación del modelo en el próximo CMIP7. En el póster presentado se muestran las características principales de EC-EARTH4, junto con algunos diagnósticos preliminares.

Referencias:

- [1] Hazeleger, W. y 31 coautores (2010). EC-Earth: A seamless Earth-System prediction approach in action, B. Am. Meteorol. Soc., 91, 1357–1363, <https://doi.org/10.1175/2010BAMS2877.1>.
- [2] Döscher, R. y más de 50 coautores (2022). The EC-Earth3 Earth system model for the Coupled Model Intercomparison Project 6, Geosci. Model Dev., 15, 2973–3020, <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2973-2022>.

Estimación de las tendencias del vapor de agua en la troposfera de Tenerife entre 1999 y 2024 basada en radiosondeos. Correlación con índices climáticos

Estimation of water vapor trends in the troposphere of Tenerife between 1999 and 2024 based on radiosondes. Correlation with climate indices

P. Romero (1), R. García (2), A. Redondas (1), P. Rivas (1), A. Barreto (1), O. García (1), A. Almansa (3), C. Torres (1), J. Bustos (1)

(1) Centro de Investigación Atmosférica de Izaña. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2) TRAGSATEC. (3) Cimel Electronique

RESUMEN

En este trabajo, se realiza una estimación de las tendencias de las series de vapor de agua precipitable integrado (IWV) en diferentes estratos, así como en la columna total atmosférica desde la superficie hasta los 12 km de altitud a la que, aproximadamente, se sitúa la tropopausa. Para ello, utilizamos los radiosondeos lanzados en Tenerife a las 11 UTC y 23 UTC desde las estaciones sinópticas N° 60020 (Santa Cruz de Tenerife, 28.46°N, 16.26°W, 36 msnm) y N° 60018 (Güímar, 28.32°N, 16.38°W, 117 msnm) entre 1999 y 2024. Utilizando el test de Mann-Kendall (MK) y el test de regresión de la pendiente de Sen, se han detectado tendencias anuales crecientes durante el día entre 0.01 kg/m² y 0.02 kg/m² por debajo de los 2000 m, de 0.02 kg/m² entre 2000 m y 4000 m y de 0.02 kg/m² a 0.06 kg/m² desde la superficie hasta los 12 km. Por la noche, se detecta una tendencia anual decreciente de -0.01 kg/m² por debajo de los 2000 m y creciente de 0.01 kg/m² por encima. Ninguna de estas tendencias crecientes o decrecientes y diurnas o nocturnas resultan ser estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95%. Por otro lado, la relación entre la temperatura y el ciclo hidrológico del vapor de agua permite correlacionar con el IWV anual diurno ciertos índices climáticos asociados a determinadas anomalías de temperatura. En concreto, se constata una correlación de Pearson máxima del orden de 0.3 en el estrato comprendido entre los 4000 m y 6000 m con el índice de temperatura del Atlántico Norte Tropical (TNA) así como correlaciones en el estrato comprendido entre los 6000 m y 8000 m de 0.46, 0.45, 0.38 y 0.33 con los índices TNA, temperatura de la región templada hemisférica occidental (WHWP), temperatura media global tierra/océano (GMLOT) y temperatura de la región templada del Pacífico (PWP), respectivamente. Tras analizar las correlaciones entre los propios índices climáticos y entre éstos y el IWV, se propone considerar a los índices TNA y WHWP como los dos índices climáticos básicos de mayor influencia en el IWV.

Evolución de los días de helada en España desde 1951

Evolution of frost days in Spain since 1951

B. Lorenzo, A. Chazarra

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

RESUMEN

Las heladas representan un fenómeno climático de gran interés en España debido a sus efectos sobre la agricultura, los ecosistemas y diversas actividades socioeconómicas. El número de días de helada constituye, además, un índice climático ampliamente utilizado para caracterizar las condiciones térmicas extremas y su variabilidad en el tiempo y el espacio. En el contexto del calentamiento observado en las últimas décadas, resulta relevante analizar su evolución espacial y temporal. En este trabajo se presenta una caracterización de la evolución de los días de helada en España desde 1951, a partir de datos observacionales de temperatura mínima diaria procedentes del Banco Nacional de Datos Climatológicos de AEMET. Las temperaturas mínimas diarias han sido interpoladas espacialmente a una rejilla por cada día en el período, permitiendo una representación continua del territorio nacional. Se define como día de helada aquel en el que la temperatura mínima diaria es inferior a 0 °C. A partir de las rejillas de temperatura mínima diaria se calcula, para cada año, el número de días de helada en cada punto de la malla, generándose mapas anuales que permiten analizar la distribución espacial y su evolución a lo largo del período de estudio. Este análisis cartográfico proporciona una visión integrada de la evolución de las heladas en España y constituye una herramienta útil para la evaluación de impactos del cambio climático y para la planificación sectorial.

Forzamientos y predictibilidad estacional de la primavera de 2025 en la península Ibérica

Forcings and seasonal predictability for spring 2025 in the Iberian Peninsula

V. Galván Fraile (1,2), P. Fernández Castillo (1,2), I. Polo (1), M. Martín-Rey (1), B. Rodríguez-Fonseca (1,2), T. Losada Doval (1)

(1) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica, Universidad Complutense de Madrid. (2) Instituto de Geociencias (IGEO), CSIC-UCM, Madrid

RESUMEN

La primavera de 2025 (marzo-mayo) presentó extraordinarias anomalías positivas de precipitación sobre la península Ibérica, asociadas a patrones específicos de circulación atmosférica en el Atlántico Norte. Este estudio preliminar tiene como objetivos analizar los forzamientos y condiciones oceánicas y atmosféricas que pudieron contribuir a estos eventos, así como la capacidad del sistema de predicción estacional SEAS5, del Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Plazo Medio (ECMWF) para reproducirlos. Se identifican dos forzamientos principales: anomalías de temperatura superficial del mar (SST) en el Pacífico ecuatorial oriental y Caribe durante marzo, y un calentamiento súbito estratosférico de tipo final (*final warming*) a finales de dicho mes. Ambos forzamientos se examinan en relación con su influencia potencial sobre la dinámica de la circulación atmosférica en el Atlántico Norte y, en consecuencia, sobre la distribución espacial de la precipitación en la región ibérica. La evaluación de SEAS5 se realiza comparando la circulación atmosférica predicha con las observaciones de geopotencial y precipitación. Los resultados preliminares indican que ciertas anomalías oceánicas y estratosféricas pudieron contribuir a la persistencia de patrones de presión favorables a la generación de precipitaciones por encima de la media en la península Ibérica. Sin embargo, SEAS5 mostró limitaciones en la reproducción de la intensidad y localización de estos patrones, así como una gran incertidumbre asociada a una alta dispersión de los miembros. Estos hallazgos preliminares resaltan la complejidad de los mecanismos que gobiernan la variabilidad estacional en la región Euro-Atlántica y la influencia combinada de forzamientos estratosféricos y oceánicos. Además, subrayan la importancia de evaluar el desempeño de los modelos dinámicos de predicción estacional para identificar sus fortalezas y limitaciones en la representación de anomalías regionales de precipitación. Este análisis contribuye a mejorar la comprensión de los procesos que afectan a la predictibilidad de la primavera ibérica y proporciona información útil para la mejora futura de sistemas de pronóstico estacional.

Evolución de ambientes que favorecen el desarrollo de transiciones tropicales en el Atlántico Norte bajo la influencia de distintos escenarios de cambio climático

Evolution of environments favoring tropical transitions in the North Atlantic basin under different climate change scenarios

A. Montoro-Mendoza (1,2,5), C. Calvo-Sancho (3), J.J. González-Alemán (2), J. Díaz-Fernández (1,4), P. Bolgiani (4), M.L. Martín (1), A. Morata (2)

1) Depto. Matemática Aplicada, Escuela de Ingeniería Informática de Segovia, Universidad de Valladolid, Segovia. 2) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). 3) Centro de Investigaciones sobre Desertificación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CIDE, CSIC-UV-GVA), Laboratorio de Clima, Atmósfera y Océano (CLIMATOC-LAB), Valencia. 4) Depto. Física de la Tierra y Astrofísica. Universidad Complutense de Madrid. 5) Consejo Superior de Investigaciones Científicas

RESUMEN

En los últimos años se han documentado cambios en la intensidad y la frecuencia de la ciclogénesis tropical debido al Cambio Climático Antropogénico (ACC), aunque existe incertidumbre al respecto. Este trabajo analiza los ambientes que facilitan el desarrollo de transiciones tropicales (TT) en el Atlántico Norte en otoño, dado que la mayoría de los ciclones que alcanzan Europa originados a partir de TTs ocurren en esta estación. Para ello, se han calculado y comparado climatologías de parámetros relacionados con TTs en distintos períodos con el fin de evaluar la influencia del ACC. Se emplean varios modelos climáticos del CMIP6 bajo los escenarios histórico, SSP2-4.5 y SSP5-8.5 para el período 1981–2100, utilizando el reanálisis ERA5 como referencia para respaldar los resultados. Los resultados muestran una progresiva tropicalización de la zona de estudio bajo ambos escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5, más intensa en éste último, lo cual resulta especialmente relevante, ya que los ciclones tropicales se encuentran entre los desastres naturales más devastadores a nivel global, suponiendo un riesgo creciente para regiones como Europa Occidental.