

**GRADO EN CIENCIA DE DATOS**

**Título del Trabajo Fin de Grado**

**Modelo predictivo para futuras DANAs y su relación con el cambio climático**

Presentado por:

**JOSE IGNACIO BENEYTO ARRIETA**

Dirigido por:

**JOSE MARIA FERNÁNDEZ NAVARRO**

CURSO ACADÉMICO 2024-2025

ÍNDICE

1. [ÍNDICE DE FIGURAS 2](#_Toc201669849)
2. [RESUMEN 3](#_Toc201669850)
3. [ABSTRACT 4](#_Toc201669851)
4. [INTRODUCCIÓN 5](#_Toc201669852)
5. [METODOLOGÍA 7](#_Toc201669853)
6. [OBJETIVOS 9](#_Toc201669854)
7. [MARCO TEÓRICO 11](#_Toc201669855)

7.1 [Definición y características de las DANAs 11](#_Toc201669856)

7.2 Tipología de las DANAs según su peligro 12

7.3 [Factores que influyen en la formación de las DANAs: cambio climático ..15](#_Toc201669858)

7.4 [Consecuencias medioambientales y sociales de las DANAs 16](#_Toc201669859)

### 7.4.1 [Consecuencias Medioambientales](#ambiental) ………………………………..16

7.4.2 [Consecuencias Sociales](#social) ……………………………………………18

7.5 [Técnicas para la prevención de las DANAs 19](#_Toc201669860)

[7.5.1 Técnicas predictivas 19](#_Toc201669861)

[7.5.2 Técnicas estructurales 20](#_Toc201669862)

[7.5.3 Técnicas educativas y comunitarias 20](#_Toc201669863)

1. [ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) 22](#_Toc201669864)
2. [RESULTADOS 23](#_Toc201669865)

9.1 [INTRODUCCIÓN RESULTADOS](#INTRODUCCIONRESULT) [24](#_Toc201669866)

9.2 [ANÁLISIS DEL MODELO 25](#_Toc201669866)

9.3 [ANÁLISIS FACTORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO 37](#_Toc201669867)

1. [LIMITACIONES Y POSIBLES MEJORAS 42](#_Toc201669868)
2. [CONCLUSIONES 44](#_Toc201669869)
3. [GLOSARIO DE TÉRMINOS 45](#_Toc201669870)
4. [ANEXOS 46](#_Toc201669871)
5. [BIBLIOGRAFÍA 47](#_Toc201669872)

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del modelo CNN para predicción de DANAs

Figura 2. Mapa España sin Danas

Figura 3. Mapa España alerta verde posible Dana

Figura 4. Mapa España alerta amarilla/naranja provincias

Figura 5. Mapa España alerta amarilla/naranja dirección

Figura 6. Mapa España alerta múltiple amarilla/naranja y verde direcciones.

Figura 7. Evolución ascenso temperatura(grados) Mar Mediterráneo desde 1982

Figura 8. Evolución precipitaciones países del Mar Mediterráneo desde 1950

# RESUMEN

El presente estudio se centra en el análisis de las DANAs (Depresiones Aisladas en Niveles Altos) en el contexto europeo, mirando sobre todo la región del Mediterráneo y España. Esta delimitación geográfica permite una exploración detallada de cómo estos fenómenos meteorológicos afectan a áreas específicas del continente, particularmente sensibles a sus efectos debido al calentamiento acelerado del Mar Mediterráneo y a las alteraciones en los patrones de circulación atmosférica.

La investigación aborda la formación, características y consecuencias de las DANAs, examinando su intensificación en frecuencia y severidad en el marco del cambio climático global. Se analizan los desafíos que estos eventos plantean para la gestión de riesgos, la planificación urbana y la adaptación climática en las regiones propensas a sufrir sus impactos. Los hallazgos y las estrategias de mitigación discutidas pueden servir como base para estudios comparativos y aplicaciones en otras partes del mundo afectadas por fenómenos similares.

# ABSTRACT

This study focuses on the analysis of DANAs (Isolated Upper-Level Depressions) in the European context, focusing primarily on the Mediterranean región and Spain. This geographical delimitation allows for a detailed exploration of how these meteorological phenomena affect specific areas of the continent, which are particularly sensitive to their effects due to the accelerated warming of the Mediterranean Sea and alterations in atmospheric circulation patterns.

The research addresses the formation, characteristics, and consequences of DANAs, examining their intensification in frequency and severity within the context of global climate change. The challenges these events pose for risk management, urban planning, and climate adaptation in regions prone to their impacts are analyzed. The findings and mitigation strategies discussed can serve as a basis for comparative studies and applications in other parts of the world affected by similar phenomena.

# INTRODUCCIÓN

Las Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANAs) también conocidas como “gotas frías”, son fenómenos meteorológicos y ambientales más relevantes y destructivos del clima mediterráneo los cuales se caracterizan por la formación de una depresión de la atmósfera a niveles altos que pueden llegar a los 5-6 kilómetros de altura, aquellas sistemas de baja presión que se han separaron de la circulación pueden provocar lluvias intensas y eventos climáticos extremos con graves consecuencias en las zonas afectadas y esto es lo que forma la creación de las DANAs. Las consecuencias de estos fenómenos abarcan desde pérdidas económicas y daños a infraestructuras hasta amenazas para la salud pública y la biodiversidad.  Por lo tanto, comprender el funcionamiento y evolución de las DANAs, su relación con el cambio climático y sus impactos potenciales se ha vuelto crucial para desarrollar estrategias de adaptación y mitigación efectiva son esenciales para asegurar una mayor tranquilidad en la población.

En las últimas décadas con los efectos provocados por el cambio climático y la relación con otros factores como la intensidad y frecuencia de estos fenómenos que se han intensificado, causa mayor preocupación en instituciones gubernamentales, así como en la población viendo las consecuencias que tienen o tuvieron. Teniendo en cuenta algunos aspectos como la situación geográfica, el historial de algunos países o ciudades en cuanto a desastres naturales, entre otros aspectos, generan muchas incógnitas, y es necesario investigarlo para encontrar soluciones para evitar posibles próximos desastres.

En el contexto del cambio climático global, las DANAs han cobrado especial relevancia debido a su clara intensificación en la actualidad. Los científicos han observado que este aumento de frecuencia e intensidad de estas puede deberse al calentamiento del agua en el mar Mediterráneo y a los cambios de patrones en la circulación de la atmósfera. El mar Mediterráneo se calienta un 20% más rápido que el promedio global de los mares, lo que proporciona mayor húmedad en el aire y como consecuencia mayores lluvias torrenciales. Esto plantea ciertas medidas a tomar para la planificación y gestión de riesgos y hay que adaptarse rápido para ello hay que mejorar infraestructuras, sistemas de drenaje que sean más funcionales y tener más pantanos o lugares de almacenamiento donde llevar esta agua, barreras contra inundaciones para que no lleguen a las pueblos o ciudades, y sistemas de alerta temprana para poder reaccionar a tiempo cuando sucedan eventos climáticos externos. Además, es necesario invertir en estos aspectos ya que los daños materiales y por lo tanto económico son enormes para la población y directamente al gobierno por lo que hay que evitarlos y estudiar bien todas las zonas que pueden verse afectadas de gran manera.

# METODOLOGÍA

Este trabajo surge por las fuertes consecuencias e impacto que han tenido las DANAs sobre todo en el presente y en el pasado para poder concienciar e informar en todo momento a las personas en caso de posible comienzo de una DANA para anticiparse a esta y mantener a salvo a la población en las zonas que vayan a ser afectadas, así como cualquier tipo de información que pueda ser relevante y pueda salvar vidas.

Una vez decidido el tema que se va iba tratar en este TFG, se realizó una búsqueda y recopilación de datos sobre artículos, noticias y bases de datos históricos en el siglo XXI de la **AEMET** (Agencia Estatal de Meteorología – España), **ECMWF** ( Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Plazo Medio), **CDS** (Copernicus Climate Data Store), entre otras instituciones relevantes. Esta recopilación de información se ha centrado en obtener datos a nivel europeo, con especial énfasis en el Mar Mediterráneo y España, para fundamentar las predicciones y análisis necesarios durante el siglo XXI ya que otros datos históricos fuera de este rango podrían tener información menos precisa y podría alterar los resultados del estudio.

La metodología empleada incluye el análisis de eventos pasados, como la reciente DANA que afectó gravemente a Valencia, causando grandes inundaciones, destrucción de infraestructura y sobre todo las pérdidas humanas. Se estudiarán patrones de formación para ver el grado de intensidad y el nivel de alerta que tendrá según ciertos parámetros. Se estima que en las últimas dos décadas han aumentado entre 12% y un 15% en la formación anual de estas por lo que es necesario analizar este aumento y entender las causas detrás de él, en particular si la influencia del cambio climático ha jugado un papel crucial en este fenómeno. A medida que avanza el tiempo, las infraestructuras de las ciudades o pueblos deben ser cada vez más resistentes y seguras, especialmente frente a fenómenos de alta intensidad como las DANAs, lo que hace que sea aún más importante comprender por qué estos eventos son cada vez más fuertes y destructivos y en casos necesarios si la frecuencia de estos aumenta considerablemente implementar estructuras como se ha hecho en Japón u otros países que contra los terremotos y tsunamis o algún otro fenómeno ambiental, para que en caso de que suceda algún suceso con carácter destructivo, las infraestructuras aguanten ante estos fenómenos y los ciudadanos puedan estar seguros en sus casas y que no sufran ningún tipo de riesgo.

# OBJETIVOS

El objetivo de este estudio se basa en el desarrollo de un modelo predictivo que permita anticipar con la mayor precisión posible la aparición de Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANAs), analizando la relación con el cambio y otros factores climáticos. Para ello, se utilizarán métodos estadísticos, modelos predictivos y análisis de datos climáticos históricos, busco que sea una herramienta útil para instituciones públicas y sistemas de alerta temprana, permitiendo mejorar la preparación y respuesta ante este tipo de eventos, cada vez más frecuentes debido al cambio climático.

Ante el creciente impacto de las DANAs y su posible relación con el cambio climático hay que establecer un enfoque para ver qué consecuencias podrían afectar más. Para ello, se han definido los siguientes objetivos:

* Analizar la influencia del cambio climático en la frecuencia e intensidad de las DANAs. Se investigará cómo el calentamiento global, especialmente el aumento de la temperatura del agua del Mar Mediterráneo puede estar influyendo en la frecuencia, intensidad y duración de estos fenómenos. Para ello, recopilaremos información y buscaremos las relaciones entre el aumento de la temperatura global, con el calentamiento de los mares en el Mar Mediterráneo y si ha podido afectar a la intensificación de las DANAs.
* Examinar bases de datos meteorológicos para identificar patrones de ocurrencia. Este objetivo se centrará más en realizar un análisis detallado de registros climáticos históricos nacionales y europeos como los proporcionados en AEMET, ECMWF y Copernicus con el fin de encontrar correlaciones de distintos factores ambientales como la presión atmosférica, la temperatura del agua, la humedad, y la interacción entre estas variables en diferentes ubicaciones geográficas y otros aspectos.
* Desarrollar un modelo predictivo para anticiparse en caso de que haya cualquier indicio de DANA.  En este objetivo se implementará un sistema predictivo que utilice algoritmos de aprendizaje automático para detectar patrones meteorológicos asociados a la formación de las DANAs. Este modelo será capaz de identificar posibles indicios tempranos de estos fenómenos. El modelo utilizará datos históricos de este siglo de precipitaciones, temperatura del aire, y presión atmosférica en otras formaciones pasadas para poder comparar y poder predecir de una manera más eficiente.
* Evaluar la efectividad del modelo y la aplicabilidad en la gestión del riesgo climático. Una vez desarrollado el modelo, validar la precisión comparando sus predicciones con los datos históricos y escenarios reales para que no haya “outliers” (datos que están muy alejados de los demás valores) que puedan influir de mala manera a las predicciones para poder eliminarlos. Se emplearán métricas estadísticas como el error cuadrático medio (MSE) y el coeficiente de determinación (R²) para medir la fiabilidad de las predicciones y ver si los valores del modelo son efectivos.

# MARCO TEÓRICO

El marco teórico de este trabajo se fundamenta en una comprensión integral de las Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANAs) y su relación con el clima mediterráneo y el cambio climático global. Este fenómeno meteorológico, caracterizado por la formación de una bolsa de aire frío en altura que se desprende de la circulación general, requiere un análisis que abarque desde la dinámica atmosférica hasta los impactos socioeconómicos y ambientales.

En primer lugar, se abordará la física atmosférica detrás de la formación de las DANAs. Estas se originan cuando una masa de aire frío se separa de las corrientes de aire que normalmente fluyen de oeste a este en las latitudes medias conocidas como el **chorro polar.** Esta masa de aire frío queda aislada sobre regiones más cálidas. La interacción de este aire frío en altura con el aire cálido y húmedo de la superficie, especialmente sobre el Mediterráneo, crea condiciones de inestabilidad extrema. La dinámica de las DANAs también se puede comprender mejor a través de los modelos conceptuales de Hoskins (1982), que describen la **vorticidad potencial** y cómo los sistemas cerrados de baja presión, como las DANAs, pueden crear inestabilidad en la atmósfera a grandes alturas. Estos modelos ayudan a visualizar cómo una masa de aire frío, al quedar aislada, puede crear movimientos turbulentos en las capas más bajas de la atmósfera, favoreciendo la formación de nubes de tormenta y la intensificación de lluvias extremas.

## 7.1 Definición y características de las DANAs

Las Depresiones Aisladas en Niveles Altos abreviado como DANAs, es un fenómeno meteorológico caracterizado por la presencia de una depresión cerrada en los niveles altos de la atmósfera, que se ha separado completamente de la circulación general del chorro polar y se desplaza de manera independiente o pudiendo incluso permanecer estacionaria. En términos sencillos, una DANA es un embolsamiento de aire frío que queda aislado a gran altitud, circulando de forma autónoma respecto a los sistemas de presión y viento predominantes en latitudes medias. Este aislamiento y autonomía le confieren una dinámica propia, que puede resultar en trayectorias erráticas y en la persistencia sobre una región durante varios días. Algunas de las características principales que componen las DANAs son:

* + Aislamiento en altura: Al no estar conectada al chorro polar hace que estas sean impredecibles y que las corrientes puedan ir de forma más lenta.
  + Persistencia: Puede mantenerse estacionaria sobre una misma región durante varios días debido a su desconexión del flujo principal del chorro polar. Esta persistencia en las mismas regiones durante varios días o semanas es lo que las hace tan peligrosas por la cantidad de agua acumulada.
  + Movimientos erráticos: Los desplazamientos son impredecibles tanto en la trayectoria como en la velocidad ya que dependen completamente de pequeñas variaciones locales en la atmósfera, como diferencias en la temperatura o interacción con otros sistemas de presión.
  + Alta capacidad de precipitación: Gran capacidad de generar precipitaciones extremadamente intensas en periodos muy cortos de tiempo, esto se debe a la presencia de aire frío en altura, que favorece la inestabilidad atmosférica, sumado a la existencia de aire cálido y húmedo en niveles bajos. Estas lluvias torrenciales pueden superar los 100 mm en pocas horas, con consecuencias devastadoras para zonas urbanas y rurales que no estén preparadas para gestionar semejante volumen de agua.
  + Intensificación en algunos lugares: Como en el caso de los países del Mar Mediterráneo ya que, durante los meses de otoño, la severidad de las DANAs puede aumentar si interactúa con superficies cálidas y cargadas de humedad.

## 7.2 Tipología de las DANAs según su peligro

La clasificación de las DANAs no está completamente estandarizada ya que depende de muchas cosas, pero se podría medir en base a su peligrosidad basándose en el impacto que generan sobre el territorio afectado. Hay distintas causas que podrían influir en su peligrosidad, como la intensidad de la lluvia, la localización geográfica del fenómeno, su persistencia en el tiempo o el grado de vulnerabilidad de la zona afectada.

### Según el nivel de impacto:

* DANAs de impacto bajo: Son eventos que generan precipitaciones moderadas sin consecuencias significativas para la población ni para las infraestructuras. Pueden ser beneficiosas en zonas áridas o en periodos de sequía, ya que contribuyen a la recarga de acuíferos y a la mejora de cultivos.
* DANAs de impacto medio: Provocan lluvias intensas localizadas que pueden derivar en inundaciones urbanas, cortes de carreteras, desbordamientos de pequeños cauces y algunos daños materiales. Su peligrosidad depende del grado de urbanización y preparación de la zona afectada. Normalmente no requieren intervención de los servicios de emergencia y no alteran la vida cotidiana.
* DANAs de impacto alto: Representan un riesgo elevado. Se caracterizan por precipitaciones torrenciales, persistentes y generalizadas, capaces de generar crecidas súbitas, deslizamientos de tierra, daños materiales severos e incluso víctimas humanas. Pueden acompañarse de tormentas eléctricas, granizo, vientos violentos o fenómenos costeros extremos. Su peligrosidad aumenta en zonas densamente pobladas, con infraestructuras vulnerables o escasa capacidad de drenaje.

### Según las características meteorológicas

- Por intensidad de precipitaciones:

* DANAs convectivas (alto impacto): Son lluvias extremadamente intensas que duran alrededor de un día, y suelen llover aproximadamente alrededor de 200 litros por metro cuadrado, además suelen venir acompañadas de tormentas eléctricas severas, lo que puede provocar grandes pérdidas de cualquier tipo. Suelen ser DANAs de alto impacto ya que pueden ser impredecibles en el sentido de que algunas corrientes al ir rápido no te lo esperas y si no se está preparado las consecuencias pueden ser muy negativas. Son especialmente peligrosas cuando ocurren en zonas costeras con aire cálido y húmedo, como el Mediterráneo en otoño ya que el aire empieza a enfriarse, pero el agua del Mar Mediterráneo sigue caliente, esto genera un fuerte contraste térmico entre la superficie y las capas altas de la atmósfera.
* DANAs estratiformes (medio/alto impacto): Generan precipitaciones más suaves pero constantes durante varios días en lo que suelen llover menos de 100 litros por metro cuadrado por día. Pueden causar inundaciones fluviales si persisten en zonas de cuencas interiores y a diferencia de las convectivas son más predecibles y no suelen generar tantas pérdidas, aunque hay que estar alerta para tener los sistemas de drenaje disponibles y tomar las medidas necesarias.

- Por duración temporal:

* DANAs estacionarias (alto impacto): Permanecen durante más de 72 horas sobre una misma zona y según la cantidad de agua que caiga, incrementa notablemente el riesgo de acumulación de agua, saturación del suelo y desbordamientos. Son de las más peligrosas por su persistencia. Un caso reciente fue la DANA de Valencia en octubre de 2024.
* DANAs móviles (medio/alto impacto): Se desplazan con rapidez (menos de 24 horas sobre cada zona), lo que reduce la acumulación de precipitaciones en un mismo punto. Aunque su impacto suele ser menor en términos locales, pueden afectar a una gran extensión geográfica.

Es importante tener en cuenta que estas formas de clasificar las DANAs no son excluyentes, ya que en muchos casos se presentan de manera combinada. Por ejemplo, una DANA puede ser convectiva y al mismo tiempo estacionaria, lo que implica lluvias muy intensas durante varios días en la misma zona, aumentando el riesgo de inundaciones graves. También puede ocurrir que una DANA menos intensa cause problemas si afecta a un área vulnerable o permanece demasiado tiempo. Por eso, entender bien sus características ayuda a prever mejor sus efectos y a prepararse adecuadamente.

### Según la ubicación geográfica:

* DANAs litorales (alto impacto): Interactúan con el aire húmedo del mar, intensificando los procesos convectivos. Afectan principalmente a zonas costeras y suelen provocar lluvias torrenciales.
* DANAs continentales: Se desarrollan en zonas del interior, donde la humedad es menor. Pueden generar tormentas secas, granizadas, rachas fuertes de viento o rayos, lo que supone riesgos distintos, como incendios o daños por impacto directo.

## 7.3 Factores que influyen en la formación de las DANAs: cambio climático

En las últimas décadas, el cambio climático ha alterado de manera significativa los patrones atmosféricos que favorecen la formación y la intensificación de las DANAs, especialmente en la cuenca mediterránea. Es el principal motivo del porque cada vez las DANAs son más fuertes y devastadoras, uno de los factores más determinantes es el aumento al alza de la temperatura del mar Mediterráneo. Desde 1980, este mar se ha calentado aproximadamente 1,5°C, un ritmo un 20% más rápido que la media global de los océanos. Este calentamiento incrementa la evaporación y, por tanto, la cantidad de vapor de agua disponible en la atmósfera. Como resultado, las DANAs que se forman sobre o cerca del Mediterráneo tienen acceso a una atmósfera mucho más húmeda, lo que se traduce en tormentas más intensas y precipitaciones extremas. Estudios recientes, como el realizado por World Weather Attribution en 2024, han demostrado que las tormentas asociadas a DANAs en la región son ya un 12% más intensas que hace apenas unas décadas, por lo que es necesario tomar medidas ya que las consecuencias si todo sigue con esta tendencia o nos preparamos bien o las consecuencias pueden ser preocupantes en todos los sectores.

Otro factor fundamental es la alteración de la corriente en chorro polar, una corriente de vientos rápidos en altura que regula la dinámica atmosférica en latitudes medias. El calentamiento acelerado del Ártico, consecuencia directa del cambio climático, provoca que la corriente en chorro se vuelva más inestable.

Finalmente, el incremento del **gradiente térmico vertical** entre la superficie y las capas altas de la atmósfera es otro de los efectos del calentamiento global que favorece las formaciones de DANAs. La diferencia de temperatura entre el aire cálido y húmedo en superficie y el aire frío en altura genera una inestabilidad atmosférica mucho mayor. Este aumento del gradiente térmico incrementa en torno a un 30% la energía disponible para el desarrollo de tormentas convectivas, dando lugar a tormentas más organizadas, duraderas y potencialmente más destructivas.

La combinación de estos factores ha llevado a que, según diversos estudios internacionales, la probabilidad de que se produzcan DANAs extremas como la que ocurrió a Valencia en 2024, con precipitaciones récord de 460 mm en 24 horas haya aumentado en torno a un 50% debido al cambio climático. Este escenario exige una adaptación urgente de las infraestructuras y de los sistemas de gestión de riesgos, así como una vigilancia científica constante para anticipar y mitigar los impactos de estos fenómenos cada vez más frecuentes e intensos.

## 7.4 Consecuencias medioambientales y sociales de las DANAs

Las DANAs, al tratarse de fenómenos meteorológicos extremos, no solo representan un desafío desde el punto de vista atmosférico, sino que también generan impactos profundos en el medio ambiente y en la sociedad. Los principales efectos que las DANAs pueden tener sobre los ecosistemas naturales y sobre la vida humana, poniendo atención en aquellos territorios vulnerables como la cuenca mediterránea.

### 7.4.1 Consecuencias Medioambientales.

* Erosión y degradación del suelo: Las capas superficiales del suelo pueden ser arrastradas con facilidad, especialmente en terrenos con vegetación o prácticas agrícolas intensivas. Reduce considerablemente la fertilidad del terreno, pérdida de productividad agrícola, estabilidad del terreno, aumentando la probabilidad de deslizamientos o corrimientos de tierra si no están bien fijados.
* Contaminación agrícola: Toneladas de micro plásticos y residuos tóxicos pueden a ver sido desplazados a huertos y poniendo en peligro a todo tipo de animales ya que los pueden ingerir o se pueden quedar enredados en el caso de ser más grandes por lo que tanto para la fauna y agricultura es devastador.
* Alteración de ecosistemas acuáticos: El gran volumen de agua puede arrastrar sedimentos, restos orgánicos contaminantes como fertilizantes, pesticidas y residuos hacía ríos, lagos, zonas marítimas, embalses, etc… Esto sobrecarga de materia y sustancias químicas puede desequilibrar los ecosistemas acuáticos, causando la muerte de especies autóctonas y contaminando el agua de todos estos lugares y en muchos lugares hasta meses después se puede seguir viendo la destrucción que hubo y que haya residuos hasta en zonas terrestres próximas a estos ecosistemas.
* Destrucción de hábitats naturales: Las DANAs más intensas tienen la capacidad de destruir ecosistemas frágiles como humedales, bosques de ribera o matorrales mediterráneos. Estos espacios, fundamentales para la biodiversidad y el equilibrio ecológico, pueden verse arrasados por las corrientes de agua, enterrados bajo lodo y escombros, o contaminados por vertidos. La regeneración de estos hábitats puede tardar años, y en algunos casos, no recuperarse nunca completamente.

### 7.4.2 Consecuencias Sociales

* Daños materiales o infraestructurales: Las DANAs pueden provocar la destrucción de viviendas, instalaciones industriales, redes de transporte, puentes, caminos rurales y otras infraestructuras esenciales del uso diario. Estos daños representan costes económicos muy elevados tanto para las administraciones públicas como para los particulares. La recuperación de estas infraestructuras puede extenderse durante meses o incluso años, dependiendo de la magnitud del desastre y de los recursos disponibles.
* Crisis económica: Grandes pérdidas económicas tanto para la población como para las instituciones públicas y privadas, cierre de algunas Pymes por la inundación de locales por lo que se pierdes gente empleada, gente que deja de tener ingresos.
* Desplazamiento forzado de la población: En los casos más graves, las autoridades se ven obligadas a evacuar a miles de personas para garantizar su seguridad. Este desplazamiento temporal puede generar situaciones de vulnerabilidad, especialmente en personas mayores, niños y familias sin recursos.
* Pérdidas humanas: Uno de los impactos más trágicos asociados a las DANAs es la pérdida de vidas humanas. Las inundaciones repentinas, especialmente en entornos urbanos mal planificados o con sistemas de drenaje insuficientes, pueden sorprender a la población en muy poco tiempo. Las personas atrapadas en vehículos, ascensores, sótanos o zonas bajas son especialmente vulnerables, y en cada episodio grave suelen registrarse víctimas mortales. Además, las DANAs suelen dejar daños psicológicos a familiares, amigos o personas cercanas a estas víctimas y que sean duraderos, como ansiedad o trastorno por estrés postraumático, entre quienes han vivido inundaciones graves.
* Saturación de los servicios de emergencia y sanitarios: Los servicios de protección civil, policías, bomberos, cuerpos de seguridad y atención sanitaria pueden verse completamente desbordados ante el número de incidentes, heridos y solicitudes de auxilio.
* Colapso de servicios básicos: Durante y después de una DANA, pueden producirse cortes de electricidad, interrupciones en el suministro de agua potable y fallos en las telecomunicaciones. Esto dificulta las labores de emergencia y afecta gravemente a la vida cotidiana, especialmente en hospitales, centros educativos y hogares con personas que dependan de algún servicio de electricidad.
* Riesgos sanitarios y proliferación de enfermedades: El agua estancada y la humedad favorecen la proliferación de bacterias, moho y otros agentes patógenos. Si no se realiza una limpieza y desinfección rápida y adecuada de las viviendas, calles y espacios públicos, pueden aparecer enfermedades gastrointestinales, infecciones cutáneas o respiratorias. Los sistemas de drenaje y de alcantarillado pueden colapsar o mezclarse con agua potable, poniendo en peligro el riesgo sanitario.

## 7.5 Técnicas para la prevención de las DANAs

Estos eventos extremos, que se están intensifican cada vez más contexto de cambio climático, generan daños que afectan sobre todo a corto plazo, pero también a largo plazo tanto a los ecosistemas ambientales como a los ámbitos social y económico de las regiones impactadas. Comprender la magnitud de estos efectos es fundamental para diseñar estrategias eficaces de adaptación y gestión del riesgo.  A continuación, se detallan las estrategias y técnicas claves implementadas en España y otros países mediterráneos:

### 7.5.1 Técnicas predictivas

- Modelos meteorológicos: El uso de modelización numérica han permitido desarrollar modelos de alta resolución que integran datos porcedentes de satélites geoestacionarios como el Meteosat Second Generation que se encarga de dar imágenes continuas meteorológicas para poder predecir la tendencia de las DANAs para poder avisar con el tiempo necesario a la población para que este preparada. Según los datos tiene la capacidad de predecir el 90% de fenómenos convectivos intensos lo que incrementa la capacidad de anticipación de los servicios meteorológicos. Aunque el porcentaje de predicción de estos fenómenos es bastante elevado, hay que poner más satélites y tomar las medidas necesarias para que suba este porcentaje lo máximo posible para por lo menos estar preparado ante cualquier DANA.

- Sistemas de alerta temprana: En aquellos fenómenos que son predecibles se emiten alertas directamente a los dispositivos móviles de la población con una antelación de entre 6 y 12 horas, lo cual permite activar con rapidez los planes de emergencia y reducir la exposición al riesgo. En España se dispone de una red de más de 850 estaciones meteorológicas automáticas distribuidas por todo el país, capaces de registrar en tiempo real variables críticas como la presión, la temperatura o la humedad.

### 7.5.2 Técnicas estructurales

- Infraestructuras verdes y de drenaje urbano sostenible: El enfoque basado en soluciones naturales busca restaurar ecosistemas que actúan como barreras naturales frente a las DANAs. En zonas urbanas, se implementan infraestructuras de drenaje sostenible, como pavimentos permeables, jardines de lluvia, canales de descarga subterráneo, entre otras medidas.

- Mejora de infraestructuras hidráulicas: Las obras hidráulicas tradicionales continúan siendo fundamentales para la regulación de avenidas. Entre ellas destacan la ampliación de cauces fluviales, mantener zonas de desagüe bien cuidadas, el refuerzo de presas existentes y la construcción de embalses y pantanos, cuyo objetivo es contener el exceso de escorrentía superficial y evitar el colapso de los sistemas hídricos durante episodios de lluvias extremas.

### 7.5.3 Técnicas educativas y comunitarias

- Fomento de la cultura del riesgo y participación ciudadana: La preparación de la población ante este tipo de desastres es clave en la prevención de daños humanos. En algunos municipios especialmente vulnerables se realizan simulacros de evacuación de forma periódica. Tras la DANA de 2024 en Valencia, por ejemplo, se observó una participación del 73% en los simulacros comunitarios, lo cual refleja un elevado grado de concienciación social y la gente quiere estar preparada para saber qué medidas tomar ante otra situación similar.

Gracias a la combinación de estas técnicas, la mortalidad asociada a DANAs en España se ha reducido en un 58% desde el año 2010. Sin embargo, los daños materiales continúan aumentando a un ritmo del 7% anual, debido al incremento en la frecuencia e intensidad de estos eventos vinculados al cambio climático. Al no tener los sistemas actualizados a medida que la fuerza de las DANAs aumenta las consecuencias son peores, por lo que hay que invertir para aumentar la seguridad de los pueblos y ciudades. La implementación integral y continua de estas medidas resulta, por tanto, esencial para avanzar hacia una sociedad más segura y resiliente frente a las DANAs.

# 

# ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible)

En el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuesto por la ONU, este proyecto aporta una herramienta tecnológica orientada a mejorar la detección y análisis de eventos meteorológicos extremos como las DANAs. Mediante el uso de datos, imágenes satelitales e inteligencia artificial con el objetivo de poder estar alerta y buscar anticiparse a estos fenómenos de alto impacto. Algunas de las ODS que pueden ayudar a contribuir son en la acción climática (ODS 13), la resiliencia urbana (ODS 11) y la innovación tecnológica (ODS 9). Esta iniciativa se enmarca en un enfoque de prevención y adaptación frente al cambio climático, con potencial aplicación en gestión del riesgo y planificación territorial.

- Acción por el clima (ODS 13): Este proyecto busca tomar medidas frente al cambio climático y efectos que cada vez aumentan más en cuanto a fuerza. La detección de DANAs mediante imágenes satelitales permite identificar fenómenos extremos a precipitaciones muy extensas lo que resulta esencial en un contexto de aumento de eventos climáticos severos debido al calentamiento global. El sistema propuesto favorece la anticipación, mitigación y adaptación frente a este tipo de amenazas meteorológicas.

- Ciudades y comunidades sostenibles(ODS 11): El principal objetivo de esta ODS es que a medida que aumenta la severidad de cualquier tipo de fenómeno ambiental ya sea producido por le cambio climático o no, adaptar las medidas necesarias para que las infraestructuras, zonas de drenaje, sistema de evacuación de las ciudades, sobre todo en zonas con alta densidad de población, hacer reuniones para enseñar a la gente en caso de cualquier fenómeno saber que hacer en todo momento, entre otras cosas, se vayan actualizando para no nos pille desprevenidos y las consecuencias sean enormes.

- Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9): El uso de tecnologías avanzadas como el análisis de imágenes satelitales, machine learning e inteligencia artificial refleja un compromiso con el ODS 9, enfocado en promover la innovación y el desarrollo de infraestructuras resilientes. Este proyecto aplica soluciones tecnológicas innovadoras al ámbito climático y meteorológico.

# 9. RESULTADOS

Librerías implementadas :

**from netCDF4 import Dataset, num2date**: permite abrir y manipular archivos .nc (NetCDF), formato que he usado varias veces durante el trabajo ya que se utiliza especialmente en estudios meteorológicos.

**import pandas as pd:** Librería clave para análisis y manipulación de datos.

**import matplotlib.pyplot as plt:** Sirve para crear gráficos y visualizaciones

**from datetime import datetime:** Ofrece herramientas para manejar fechas y horas, muy útil para series temporales como temperaturas o precipitaciones.

**import tensorflow as tf:** Librería de inteligencia artificial y aprendizaje profundo (deep learning). Usado en la parte de predicción de DANAs.

**import cv2:** Usada para procesamiento de imágenes y visión por computador.

**from PIL import Image:** Se utiliza para abrir, modificar y guardar imágenes. Similar a la librería anterior “OpenCV” pero más sencilla para algunas tareas básicas**.**

**import numpy as np:** Librería utilizada para cálculo numérico y manejo de arrays. Es la base de casi todas las operaciones matemáticas en IA, imágenes, etc..

**import os:** Permite interactuar con el sistema operativo: leer archivos, recorrer carpetas, comprobar rutas.

**from sklearn.preprocessing import LabelEncoder:** convierte etiquetas categóricas a números para que puedan ser procesados por modelos, que la utilizado para el etiquetado de riesgo de DANAs.

**from sklearn.model\_selection import train\_test\_split:** divide tu conjunto de datos en entrenamiento y prueba.

**import cartopy.crs as ccrs:** Esta parte de Cartopy permite definir proyecciones geográficas.

**import cartopy.feature as cfeature:** permite añadir elementos geográficos al mapa

**9.1 INTRODUCCIÓN RESULTADOS**

Dentro de resultados vamos a estudiar los distintos comportamientos de consecuencias que pueden afectar directa o indirectamente a la formación de las DANAs, así como modelos predictivos para poder predecir aquellas que puedan poner en riesgo a la ciudadanía ya sea por inundaciones, problemas de infraestructura que puedan producir roturas de estas y que puedan producir riesgos mayores. También debería aplicarse un sistema de previsión mejor que el actual con el que se pueda saber con precisión cuando una DANA sea de verdad peligrosa para ciertas zonas para no solo avisar que se mantengan en sus casas, si no también para que se desalojen las zonas que pueden ser totalmente devastadoras y en las que puede haber una mayor destrucción en estas propiedades para que no haya pérdidas humanas.

Dentro del estudio casi todas las bases de datos al tener grandes volúmenes de datos multidimensionales, como los generados en climatología, meteorología u oceanografía vienen con un formato .nc referido a **NetCDF**(Network Common Data Form) que actúa como una especie de base de datos científica, permitiendo organizar y acceder a variables complejas (como temperatura, presión o velocidad del viento) distribuidas en dimensiones como el tiempo, la latitud, la longitud y la altitud, lo que no se puede tratar directamente con estos, por lo que antes de comenzar con los diferentes análisis debemos pasarlos al formato CSV para ver con mayor claridad los datos. También he utilizado el formato referido a **.GRIB** (GRIdded Binary) es un formato estándar binario utilizado para almacenar datos meteorológicos y climáticos generados por modelos numéricos. Es muy eficiente en cuanto a tamaño y velocidad, ideal para manejar archivos grandes como predicciones del tiempo, temperatura, viento, precipitación, etc.

## 9.2 ANÁLISIS DEL MODELO

Para el modelo principal de este proyecto he utilizado una red neuronal convolucional (CNN) como arquitectura principal ya que este tipo de modelo es especialmente adecuado para tareas de visión por ordenador, ya que permite extraer de forma automática características visuales relevantes a partir de imágenes, como formas, texturas o patrones nubosos. He elegido esta arquitectura porque, a diferencia de otros modelos más simples como los árboles de decisión o los clasificadores lineales, una CNN tiene la capacidad de aprender representaciones espaciales complejas a partir de los píxeles de la imagen, lo que resulta fundamental para poder identificar correctamente fenómenos meteorológicos como las DANAs, cuya aparición depende de la configuración visual de las nubes en diferentes regiones de la península.

La red está formada por dos principales bloques, las capas convolucionales y las capas de agrupación (**max pooling**), que permiten detectar patrones locales y reducir la dimensionalidad. Después, se utilizan capas densas totalmente conectadas para realizar predicciones finales. Como salida, el modelo genera dos predicciones simultáneamente: por un lado, el nivel de peligrosidad de la DANA (baja, media o alta) y, por otro, la región geográfica de España que se ve afectada. Esta estrategia de doble salida permite que el modelo aprenda conjuntamente a distinguir no solo si hay una DANA, sino también dónde y con la intensidad que podría tener la DANA en la zona que ha predicho y va a ser afectada.

*Figura 1. Diagrama del modelo CNN para predicción de DANAs*

Diagrama

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Fuente: <https://app.diagrams.net/?src=about> .Elaboración propia

En cuanto a las métricas, he utilizado la **“accuracy”** para ambas salidas del modelo. Esta métrica calcula el porcentaje de predicciones correctas sobre el total de casos, y es útil para evaluar modelos cuando las clases están equilibradas. En este caso, la precisión del nivel de peligrosidad indica con qué frecuencia el modelo acierta el nivel (por ejemplo, si es baja o media), mientras que la precisión de la región mide cuántas veces identifica correctamente la zona afectada. Es necesario en cualquier estudio saber que porcentaje de acierto tiene el modelo para tomarlo más o menos en cuenta y poder ir entrenando y mejorar los patrones que podrían afectar al modelo para que de el mínimo error posible.

Texto

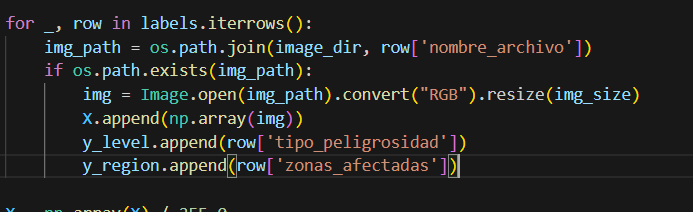
El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Esta parte es la parte inicial para cargar librerías y la información necesaria para hacer el estudio y predicción de las DANAs y que todas las imágenes sean del mismo tamaño.

Texto

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Esta parte se encarga de preparar los datos necesarios para entrenar el modelo. Primero, lee el archivo CSV con las etiquetas y filtra únicamente las filas donde se ha confirmado la presencia de una DANA, luego selecciona las columnas relevantes: el nombre del archivo de imagen, el tipo de peligrosidad y la zona geográfica afectada, eliminando posibles duplicados y luego utiliza esas variables para guardar la información.

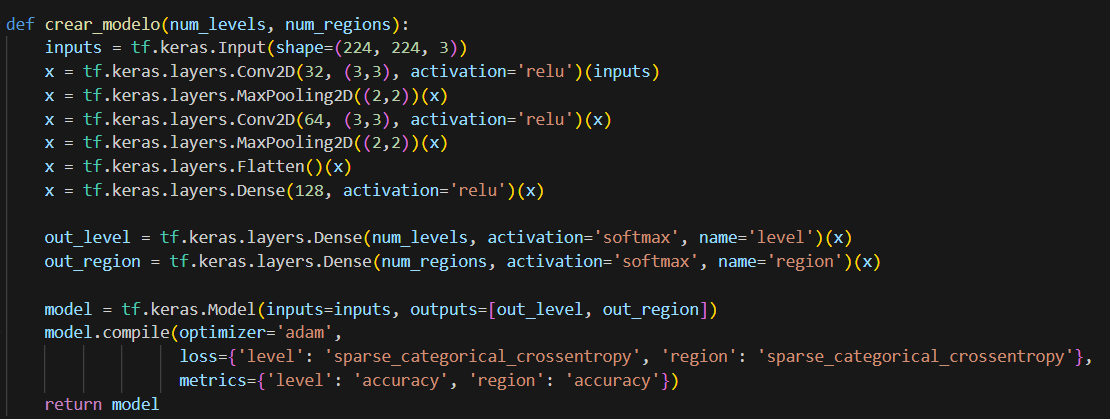


Esta parte se encarga de recorrer todas las imágenes etiquetadas como DANA y preparar los datos de entrada (imágenes) y salida (etiquetas) para el modelo. Construye la ruta completa del archivo de imagen (img\_path) combinando la carpeta donde están almacenadas las imágenes con el nombre del archivo.

Texto

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Una vez cargadas y almacenadas todas las imágenes en la lista X, se convierten en un array NumPy y se normalizan dividiendo por 255.0, lo que escala los valores de píxeles al rango.



Esta función construye y compila un modelo de red neuronal convolucional (CNN) con dos salidas: una para predecir el nivel de peligrosidad de una DANA y otra para predecir la región afectada. Primero, se aplican dos bloques de convolución y **max pooling**: el primero con 32 filtros y el segundo con 64, ambos con activación ReLU. Estas capas permiten al modelo extraer características espaciales de las imágenes, como formas y texturas asociadas a patrones meteorológicos. Después de extraer las características principales de la imagen, los datos se aplanan y se pasan por una capa con 128 neuronas que ayuda al modelo a tomar decisiones. El modelo es entrenado con un optimizador llamado *Adam*, que ajusta los valores internos para mejorar su precisión.

Texto

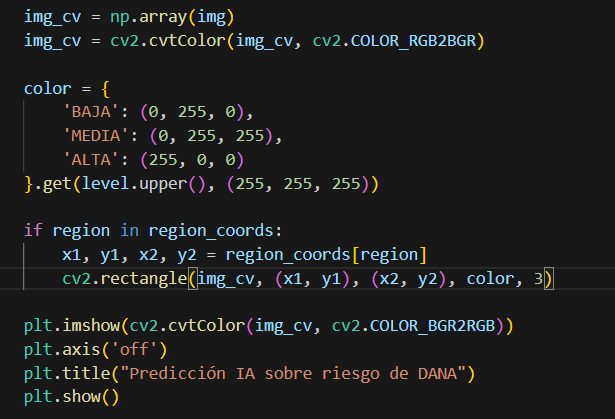
El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

La función evaluar\_modelo() se encarga de comprobar qué tan bien ha aprendido el modelo a predecir tanto el nivel de peligrosidad de la DANA como la región afectada. Por otra parte, utiliza un diccionario con datos de longitud y latitud del norte, sur, este y oeste y de algunas provincias para tener mejor seccionado a la hora de poner donde va a afectar la DANA.

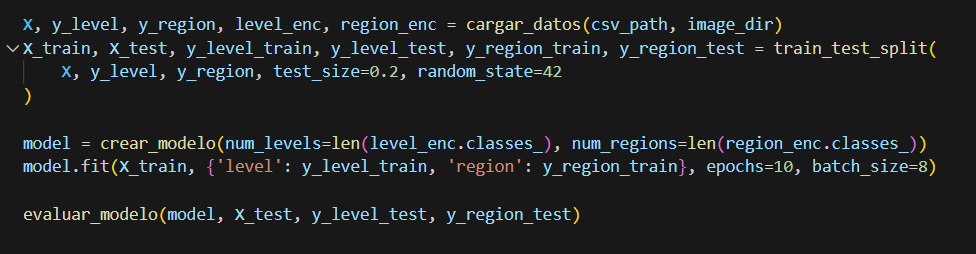
Texto

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Esta parte es la parte final, que se encarga de cargar una imagen, hacer la predicción con el modelo entrenado, y mostrar el resultado en texto. Imprime por pantalla la región predicha y el nivel de peligrosidad, en mayúsculas, para que el usuario vea claramente el resultado, en vez de ponerlo en el mapa para que se vea más claramente la zona que va a ser afectada o está siendo afectada.



Se encarga de dibujar un recuadro en la imagen según la región predicha y mostrarla al usuario y asignarle un color según el tipo de peligrosidad que tiene, baja en verde, media en amarillo, y alta en rojo, y si no detecta DANAs no pone ningún recuadro ni nada. Y muestra la zona donde tiene que hacer el rectángulo en la zona afectada.



Este bloque representa la última parte del flujo del modelo de IA, donde se cargan los datos, se entrena el modelo y se evalúa su rendimiento. A continuación, se crea el modelo llamando a crear\_modelo(), pasándole el número de clases de peligrosidad y de regiones, y se entrena durante 10 épocas. Finalmente, se llama a la función evaluar\_modelo() para comprobar su precisión en los datos de prueba, mostrando los resultados por separado para la predicción del nivel de la DANA y de la región afectada, en el caso de que lo sea. Y a continuación vemos los resultados de la última imagen satelital que hemos analizado.

Texto

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Durante el entrenamiento del modelo convolucional a lo largo de 10 épocas, se observó una mejora progresiva en la precisión de predicción del nivel de peligrosidad de las DANAs, pasando de una level\_accuracy inicial de 0.42 hasta alcanzar un valor cercano al 0.69 sobre 1. En cambio, la precisión asociada a la predicción de la región afectada (region\_accuracy) comenzó en 0.20 y finalizó en torno al 0.39, lo que evidencia una mayor dificultad para identificar con precisión la zona geográfica impactada.

Por tanto, aunque el modelo ha demostrado capacidad de aprendizaje, los resultados obtenidos no son todavía óptimos, especialmente en la estimación de la zona afectada, lo que constituye una de las principales limitaciones del enfoque actual.

A continuación vemos distintas pruebas de análisis realizadas con el objetivo de mostrar la fiabilidad del modelo.

Una imagen de una montaña

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.*Figura 2. Mapa España sin Danas*

Fuente: <https://pics.eumetsat.int/viewer/index.html>. Figura propia.

En esta primera imagen observamos que apenas hay nubes por ninguna región de la península ibérica, por la parte del noroeste se ve una pequeña afluencia de nubes, pero nada preocupante por lo que como no detecta nada no pone ninguna información porque no hay ninguna DANA.

*Figura 3. Mapa España alerta verde posible Dana*Imagen que contiene roca, montaña

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Fuente: <https://pics.eumetsat.int/viewer/index.html>. Figura propia.

En esta imagen si que observamos que se aproximan unas nubes por la parte de Portugal que llega en parte a Extramadura por eso hace un recuadro en la zona que va a ser afectada, al estar en verde significa que va a ser una DANA de nivel bajo, como podemos ver en el output que devuelve la función previamente explicada.

*Figura 4. Mapa España alerta amarilla/naranja provincia.*Imagen que contiene Mapa

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Fuente: <https://pics.eumetsat.int/viewer/index.html>. Figura propia.

En esta otra imagen podemos observar que la zona afectada esta más en el interior de España y por la gran afluencia de nubes y texturas que detecta, en este caso determina que es de alerta media también dicha como naranja/amarilla que no es peligrosa del todo, pero hay que estar alerta por lo que pueda suceder.

*Figura 5. Mapa España alerta amarilla/naranja dirección.* Interfaz de usuario gráfica, Aplicación, Mapa

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Fuente: <https://pics.eumetsat.int/viewer/index.html>. Figura propia.

En esta imagen de la península podemos observar que en vez de poner una provincia muestra más la región del sureste donde hay una DANA y la selecciona con un recuadro amarillo ya que la intensidad de esta DANA como vemos arriba en la parte del output de la función observamos que va a ser de nivel medio.

Escala de tiempo, Mapa

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.*Figura 6. Mapa España alerta múltiple amarilla/naranja y verde direcciones.*

Fuente: <https://pics.eumetsat.int/viewer/index.html>. Figura propia.

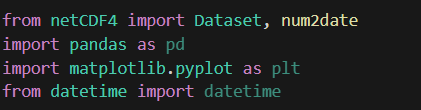
También podemos observar que puede hacer predicciones de múltiples alertas a la vez con su tipo de alerta diferente en caso de que lo sea y en el caso de no saber exactamente la zona marca de forma un poco más genérica, aunque lo óptimo sería que seccionase más la zona exacta en la que va a suceder o este sucediendo.

## 9.3 ANÁLISIS FACTORES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

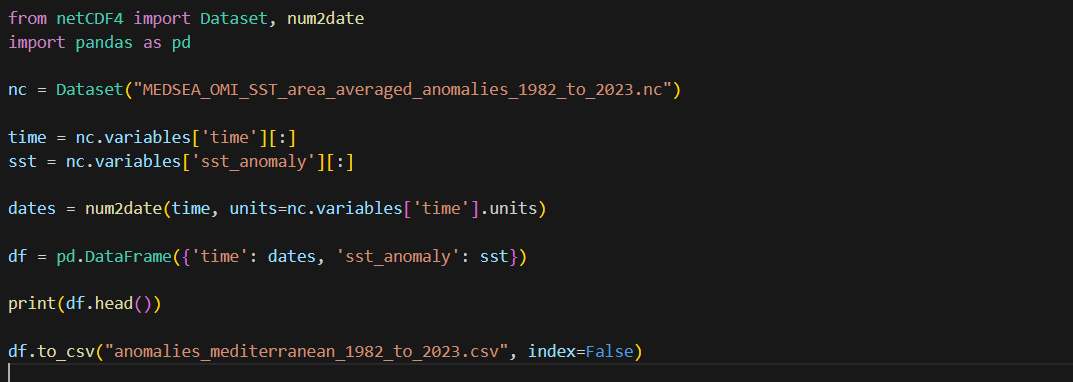
A continuación, vamos a hacer un estudio sobre algunas de las consecuencias por los que se ha fomentado el aumento de estas DANAs a niveles altos de peligrosidad.

En primer lugar, vamos a analizar la temperatura del Mar Mediterráneo de los últimos 40 años.

Primero importamos las librerías necesarias para este caso:



Aquí muestro un ejemplo de una de las bases de datos trabajadas que lo he convertido de un archivo NC a CSV:



Una vez descargado el CSV, ya se puede empezar con el análisis y con los estudios de las variables que tiene esta base de datos, en este caso es una base de datos para ver la evolución de la temperatura del agua del Mar Mediterráneo por meses según los estudios de países europeos, asiáticos y africanos de países en los que tienen parte de costa del Mar Mediterráneo en su territorio para tener más datos y mayor precisión de estos.

Y ahora hacemos una función para ver los resultados que queríamos estudiar Texto

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Una vez aplicado el código, el resultado del gráfico que nos muestra de la evolución de la temperatura del Mar Mediterráneo desde 1982 a 2023 es:

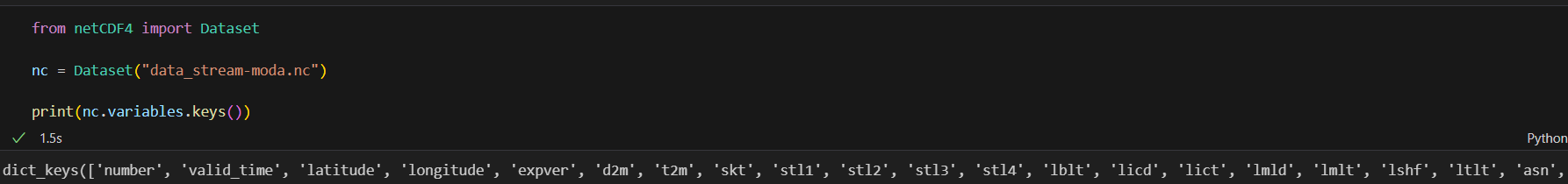
*Figura 7. Evolución ascenso temperatura(grados) Mar Mediterráneo desde 1982.*

Gráfico, Gráfico de dispersión

El contenido generado por IA puede ser incorrecto. Fuente: Elaboración propia

Este gráfico muestra la evolución de las anomalías mensuales de la temperatura de la superficie del mar Mediterráneo desde 1982 hasta 2023, basado en datos satelitales proporcionados por el Servicio Marino de Copernicus.Estos datos son tomados por todos los países que rodean el Mar Mediterráneo para tener mayor precisión en los valores de la temperatura. Incluyen países europeos como España, Francia, Mónaco, Italia, Eslovenia, Croacia, Albania, Bosnia y Herzegovina, Montenegro, Grecia y Chipre, también incluye países asiáticos como Turquía, Siria, Libano, Israel y Palestina, e incluye datos de países africanos como Egipto, Libia, Túnez, Argelia, Marruecos. Se observa una tendencia creciente sostenida y prácticamente lineal, con un incremento acumulado de aproximadamente 2,7 °C en 41 años. Esta evolución pone de manifiesto el impacto del cambio climático en una de las regiones marinas más sensibles del planeta, con implicaciones directas en los ecosistemas marinos, la biodiversidad y las actividades económicas como la pesca o el turismo. Esta tendencia confirma la urgencia de seguir monitorizando el calentamiento del Mediterráneo y refuerza la necesidad de tomar medidas efectivas para mitigar sus efectos en el medio ambiente y las sociedades costeras.

Otra de las características y consecuencias de estas DANAs es por la intensidad de estas a medida que pasa el tiempo, para ello era necesario entender por qué estas cada vez más son más intensas. Como podemos observar en este gráfico muestra la evolución de la precipitación total anual acumulada en la región desde 1950 hasta 2023.



Lo primero que hacemos leer el archivo como .nc y usar las variables que veamos oportunas que anteriormente hemos descargado.

Texto

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Definimos la función y la obtenemos la variable “tp” que es “total precipitation” y lo multiplicamos por 1000 para que me lo de en mm, a partir de esto secciono con el groupby para agrupar por año y total por año ya que en el csv venía por horas y días, y hacía que el costo computacional fuera muy alto, a partir de ahí utilizamos la librería de plotly para hacer el gráfico.

*Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.*

Y con esta función lo descargamos y con la función anterior mostraríamos el grafico consecuente.

*Figura 8. Evolución precipitaciones países del Mar Mediterráneo desde 1950*Gráfico, Gráfico de líneas

El contenido generado por IA puede ser incorrecto.

Fuente: Elaboración propia

En el que podemos observar las precipitaciones de los países y las zonas próximas y que rodean el Mar Mediterráneo, aunque sí que varie bastante entre año y año casi siempre no hay una evolución que demuestre que cada vez llueva más en cuanto a precipitaciones totales anuales. Esto concuerda con las observaciones actuales del cambio climático, donde no necesariamente llueve menos a lo largo del año, pero los episodios de precipitación son más intensos y concentrados en el tiempo. Es decir, cuando llueve, lo hace con mayor fuerza, lo que puede provocar inundaciones repentinas, erosión del suelo y daños en infraestructuras. Muchos estudios como el Proyecto MEDSCOPE (2023) detectan un aumento del 15-20% en la intensidad de las lluvias más fuertes desde 1980 en zonas costeras del Mediterráneo occidental, lo que es un porcentaje relativamente alto.

# 10. LIMITACIONES Y POSIBLES MEJORAS

Una de las principales limitaciones del trabajo radica en la calidad y disponibilidad de los datos, ya que se depende de fuentes externas como satélites meteorológicos y servicios gubernamentales de recolección de datos climáticos. Aunque se ha trabajado con fuentes fiables como ERA5 que es una reanálisis que combina observaciones históricas con modelos numéricos atmosféricos para producir una estimación coherente, continua y global del estado de la atmósfera a lo largo del tiempo, no siempre se dispone de una cobertura completa, actualizada y en tiempo real para todas las regiones, lo que puede dificultar la detección de DANAs localizadas. Además, la resolución espacial y temporal de las imágenes satelitales empleadas puede no ser suficiente para captar ciertos fenómenos meteorológicos en fases tempranas de formación.

Por otro lado, el modelo de detección y clasificación de DANAs se basa en umbrales fijos de presión atmosférica y temperatura media. Aunque funcionales para una aproximación inicial, estos criterios pueden resultar excesivamente simplistas al aplicarse en entornos con dinámicas atmosféricas complejas o microclimas locales, lo que limita la capacidad del sistema para adaptarse a situaciones meteorológicas atípicas. Además, la falta de datos meteorológicos de alta resolución y precisión para todas las variables relevantes limita el entrenamiento óptimo de modelos predictivos. Muchas bases de datos disponibles en internet ofrecen variables generales (como presión al nivel del mar o temperatura a 2 metros), pero no incluyen datos clave como humedad relativa a diferentes niveles atmosféricos, inestabilidad atmosférica o perfiles verticales de temperatura. La ausencia de estos parámetros puede reducir la capacidad del modelo para distinguir entre una simple borrasca y una DANA de alto riesgo. Contar con datos más detallados y representativos en entornos reales ayudaría a construir modelos más robustos, generalizables y precisos.

Otra limitación destacable, es el alto requerimiento computacional asociado al procesamiento y análisis de los datos e imágenes meteorológicos. El uso de archivos en formato NetCDF o GRIB que son los que se usan principalmente para bases de datos con relación al cambio climático, DANA´s y en general con todo lo relacionado con fenómenos atmosféricos, ya que tienen millones de registros y múltiples dimensiones (espacio, tiempo, variables físicas), demanda equipos con suficiente capacidad de memoria RAM y procesamiento paralelo, especialmente en las fases de carga, filtrado y conversión de datos. Esto puede dificultar su implementación en entornos con recursos limitados y supone una barrera para usuarios no especializados o instituciones sin acceso a infraestructura tecnológica adecuada.

En cuanto a mejoras futuras, sería recomendable integrar modelos predictivos más avanzados basados en aprendizaje automático, entrenados con datos históricos etiquetados de DANAs reales, para mejorar la precisión y reducir los falsos positivos.

Es decir, en vez de utilizar registros de hace 2-5 años mayoritariamente que es lo que he usado durante los distintos estudios, se notaba la falta de carga computacional por lo que me limitaba a reducir los datos y por lo tanto los resultados.

También podría incorporarse una interfaz visual interactiva y geolocalizada en tiempo real que permita a los usuarios consultar los eventos detectados, su evolución temporal y su posible impacto, y buscar funcionamientos para que funcione en cualquier momento, ya que según la zona en algunos lugares puede haber colapsos, perder señales de Internet y es necesario mantener informada a la población y poder dirigirles hacia una zona segura siempre que se pueda ya sea antes o durante el incidente.

Finalmente, combinar la información meteorológica con datos socioeconómicos (densidad de población, infraestructura vulnerable, uso del suelo) permitiría no solo detectar DANAs, sino también estimar el riesgo potencial para la población y priorizar acciones preventivas. Esto abriría la puerta a un sistema de alerta temprana más completo y útil para la protección civil y las autoridades locales.

# 11. CONCLUSIONES

El desarrollo de este sistema de detección automática de DANAs mediante inteligencia artificial ha demostrado ser una herramienta prometedora para el análisis meteorológico basado en imágenes satelitales. A través de una red neuronal convolucional entrenada con un conjunto de datos cuidadosamente ajustado, el modelo ha logrado identificar con una precisión considerable tanto la presencia de DANAs como su nivel de peligrosidad (baja, media o alta) y la región geográfica afectada. La implementación de filtros basados en densidad de nubes ha permitido reducir falsos positivos y mejorar la fiabilidad del sistema, evitando clasificaciones erróneas en zonas sin condiciones meteorológicas relevantes aunque para mejorar esta precisión también es necesario satélites que proporcionen imágenes más claras en 3D y sistemas capaces de saber la orientación del viento en las capas de formación de las DANAs para saber con precisión la dirección que va a tomar exactamente.

En conclusión, se deben tomar más y mejores medidas ya que estos fenómenos ambientales pueden provocar tanto daños a todos los niveles tanto económicos, como ambientales, infraestructurales, pérdidas humanas y animales, entre otras cosas, que es necesario encontrar un modelo que sea lo más preciso posible y que sea capaz de predecir con varios días de anticipación para evitar movimientos innecesarios de la población, mover a los ciudadanos a zonas seguras, reforzar las zonas que más pueden ser dañadas, sistemas de drenaje que puedan procesar grandes cantidades de agua al mismo tiempo y por lo tanto tener limpio todos y en general adaptarse a las nuevos y más fuertes fenómenos que hay que cada vez que sucede un fenómeno de este estilo.

# 12. GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Chorro polar:** es una corriente de aire que se desplaza muy rápido y que está entre los 9 y 12 kilómetros de altitud y separa las masas de aire frío polar de las masas de aire cálido tropical, las corrientes que se desvían de esto son las DANAs.

**Gota fría:** es un fenómeno meteorológico que ocurre cuando una masa de aire muy frío en las capas altas de la atmósfera se desprende de la circulación general y queda aislada sobre una región, generalmente en latitudes medias de entre 5 - 6 kilómetros de altitud.

**Acuífero:** Formación geológica subterránea capaz de almacenar y transmitir agua en cantidades significativas. Está compuesto por materiales permeables, como arenas, gravas o rocas fracturadas, que permiten la infiltración y el flujo del agua subterránea.

**Gradiente térmico vertical:** variación de temperatura en la atmósfera a medida que ascienda en altura.

**Vorticidad potencial**: Magnitud que combina rotación y estratificación de la atmósfera, es clave para describir la dinámica de embolsamientos aislados en altura y predecir su evolución.

**DANA:** es unfenómeno meteorológico que se refiere a una masa de aire frío que se separa de la corriente principal de aire y se mueve de forma independiente a grandes alturas.

**Max Pooling:** proceso que se utiliza en las redes neuronales convolucionales (CNN) para reducir el tamaño espacial de los mapas de características.

**NetCDF Y GRIB**: Son formatos de datos científicos que se usan especialmente en bases de datos relacionados con fenómenos atmosféricos de todo tipo desde lluvias, nevadas, corrientes de viento, entre otras cosas.

# 13. ANEXOS

El código y los archivos relevantes en el estudio, que han sido utilizados para entrenar y evaluar el modelo está disponible en el siguiente repositorio de GitHub: <https://github.com/pepot123/TFG_Jose_Beneyto_Arrieta>

Este repositorio contiene:

* Bases de datos usadas en el estudio
* Scripts de procesamiento de datos
* Scripts en entrenamiento y evaluación de los datos
* Imágenes de los gráficos que aparecen a lo largo del documento
* Imágenes del entrenamiento de la CNN empleada en el modelo
* Documentación

# 14. BIBLIOGRAFÍA

- *Actualización de datos del Gobierno de España*. (s. f.). <https://www.lamoncloa.gob.es/info-dana/Paginas/2025/220625-datos-seguimiento-actuaciones-gobierno.aspx>

- ValenciaBonita. (2025, 21 febrero). *La comisión de la dana de Valencia aporta más*

*de 60 ideas para prevenir futuras emergencias*. Valenciabonita.

<https://www.valenciabonita.es/2025/02/21/comision-dana-ayuntamiento-valencia/#>

-*Línea Verde Sitges*.(s. f.). <https://www.liniaverdasitges.cat/lv/noticiasDestacadas.asp?noticia=37915>

- *¿Qué es una DANA?* (2025, 25 febrero). Eltiempo.es. <https://www.eltiempo.es/noticias/meteopedia/dana>

- Intermón, O., & Intermón, O. (2024, 11 noviembre). *¿Qué es una DANA y cuáles son sus efectos? | Transformando el mundo*. Ingredientes Que Suman. <https://blog.oxfamintermon.org/que-es-dana/>

- Carrascón, I., & Vilches, S. (2024, 31 octubre). Cómo se gestionaron los avisos de la dana: cronología de una alerta que no evitó la catástrofe. *Newtral*. <https://www.newtral.es/avisos-dana/20241031/>

- Nieto Muñiz, R. (2005, febrero). *Validación climática del modelo conceptual de DANA*. Microsoft Word - TESIS\_Raquel Nieto.doc. <https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/06/TESIS_Raquel-Nieto.pdf>

- *Catalogue — Climate Data Store*. (s. f.). <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets>

- De Meteorología, A. E. (s. f.). *AEMET OpenData - Agencia Estatal de Meteorología AEMET. Gobierno de España*. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. <https://www.aemet.es/es/datos_abiertos/AEMET_OpenData>

- *ECMWF*. (2025, 17 marzo). ECMWF. <https://www.ecmwf.int/>

- Aseguranza, G. (2024, 7 noviembre). *Las DANA se intensificación en el Mediterráneo a medida que aumente la temperatura del mar*. Grupo Aseguranza - Noticias de Seguros. Blogs de Seguros. Mediadores de Seguros. Información de Seguros. <https://www.grupoaseguranza.com/noticias-de-seguros/dana-intensificaran-mediterraneo-medida-aumente-temperatura-mar>

- Parra, S. (2024, 30 octubre). ¿Qué es una DANA y qué efectos tiene? *National Geographic España*. <https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/dana-espana-efectos-fenomeno-meteorologico-que-cambia-reglas-juego_20669>

- Cámara de Comercio de Valencia. (2025, febrero). *Informe de daños ocasionados por la DANA en la industria de la zona afectada*. <https://www.camaravalencia.com/wp-content/uploads/2025/02/Informe-danos-ocasionados-por-la-DANA-en-la-industria-de-la-zona-afectada.pdf>

- Valdivielso, A. (2024, 23 mayo). *¿Qué es un acuífero?* iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-acuifero>

- Nautadmin. (2024, 14 noviembre). *DANA: qué es y qué tiene que ver con el cambio climático*. Nautilus. <https://nautilus.es/dana-que-es-y-que-tiene-que-ver-con-el-cambio-climatico/>

- Viciosa, M. (2024, 5 noviembre). Primeros análisis: esta dana fue un 12% más intensa por el cambio climático. *Newtral*. <https://www.newtral.es/dana-cambio-climatico-valencia-mas-intensa-atribucion/20241102/>

- Kotsila, P., & Anguelovski, I. (2024, 15 noviembre). La doble cara de la DANA: un desastre climático y un motor de desigualdad social para España. *El Español*. <https://www.elespanol.com/enclave-ods/opinion/20241115/doble-cara-dana-desastre-climatico-motor-desigualdad-social-espana/901289866_13.html>

- Martorell, S. D. (2024, 30 octubre). Big Data en la predicción de DANAs: Tecnología para anticipar la Gota Fría en España. *Escudo Digital*. <https://www.escudodigital.com/tecnologia/como-big-data-puede-ayudar-predecir-danas_61020_102.html>

- Alter Technology Group. (2018, 20 noviembre). *Meteosat – MSG – MTG*. ALTER TECHNOLOGY TÜV NORD | Web Project Office. <https://wpo-altertechnology.com/es/programameteosat/#:~:text=El%20programa%20Meteosat%20Segunda%20Generaci%C3%B3n%20est%C3%A1%20operado%20por%20EUMETSAT%20y,la%20generaci%C3%B3n%20previa%20de%20Meteosat>.

*- MEDSCOPE: MEDiterranean Services Chain based On climate PrEdictions*. (s. f.). BSC-CNS. <https://www.bsc.es/es/research-and-development/projects/medscope-mediterranean-services-chain-based-climate-predictions>