Ciclo del dato:

## El tiempo versus el clima:

Lo primero es distinguir entre “el tiempo” y “el clima”: La principal diferencia entre tiempo y clima es la escala temporal que abarcan:

**El tiempo** se refiere a las condiciones atmosféricas en un momento y lugar específicos, durante un período corto (horas, días o semanas). Incluye variables como temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, nubosidad y precipitaciones en ese instante. Por ejemplo, decir que hoy está soleado y hace calor en Madrid.

En cambio, **el clima** representa las condiciones atmosféricas promedio y predominantes de una región, durante un largo espacio de tiempo, normalmente por periodos de 30 años o más. Es una síntesis estadística de los diferentes estados del tiempo que ocurren habitualmente en esa zona. Por ejemplo, Madrid tiene un clima mediterráneo continental, con veranos calurosos y secos e inviernos fríos.

En resumen:

* El tiempo es el estado instantáneo y cambiante de la atmósfera a corto plazo en un lugar concreto. Puede variar de una hora a otra.
* El clima es el patrón meteorológico medio a largo plazo de una región, basado en registros de muchos años. Es más estable y duradero.

Ambos conceptos están relacionados, ya que el clima de una zona se determina promediando los datos del tiempo atmosférico durante décadas. Pero no deben usarse como sinónimos, pues **se refieren a escalas temporales muy diferentes**.

Si algo ha quedado claro durante el año 2023 es que ya nadie niega el calentamiento climático. Quedan algunos irreductibles, que niegan su relación con el hombre y lo siguen achacando a oscilaciones exclusivamente naturales.

## La investigación:

Al empezar a investigar el cambio climático, nos pareció natural empezar por la [Wikipedia](https://es.wikipedia.org/wiki/Cambio_clim%C3%A1tico) y la [AEMET](https://www.aemet.es/es/portada). Empezamos pues, a leer y buscar en la AEMET qué tipos de datos ellos distribuían y de los cuales hablaban.

AEMET: *“El clima está cambiando como consecuencia de las actividades humanas, singularmente por las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la utilización de combustibles fósiles y a la deforestación.”*

La comunidad científica está claramente unida y segura de la influencia humana en el cambio climático que se está produciendo. Ahora, lo que queda por determinar es:

1. **La magnitud y velocidad del cambio climático futuro**: Si bien hay consenso sobre la realidad del calentamiento global antropogénico, persisten incertidumbres sobre la magnitud exacta del calentamiento que podríamos experimentar en las próximas décadas y siglos. Los modelos climáticos proyectan un rango de escenarios posibles, desde un aumento de 1.5°C hasta más de 4°C para finales de siglo, dependiendo de las emisiones futuras de gases de efecto invernadero.
2. **Los impactos regionales y locales del cambio climático**: Aunque se conocen los impactos globales generales, como el aumento del nivel del mar y la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, aún hay incertidumbre sobre cómo se manifestarán exactamente estos cambios a escala regional y local. Esto dificulta la planificación de medidas de adaptación específicas para cada zona.  
     
   **Nos centraremos en la Comunidad Valenciana, zona que hemos escogido por su alta variabilidad de tipos de climas.**
3. **Los puntos de inflexión y retroalimentaciones del sistema climático**: Existe el riesgo de que el calentamiento desencadene cambios abruptos e irreversibles en componentes clave del sistema terrestre, como el derretimiento completo de las capas de hielo o la liberación masiva de metano del permafrost. Estos "puntos de inflexión" podrían acelerar y amplificar el cambio climático de formas difíciles de predecir con precisión.
4. **Las respuestas de la sociedad y la efectividad de las políticas climáticas**: La evolución futura del cambio climático dependerá en gran medida de las decisiones y acciones que tome la humanidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Hay incertidumbre sobre qué políticas y tecnologías se implementarán, y cuán rápido y efectivas serán para limitar el calentamiento.

Si bien, la realidad del cambio climático antropogénico es una certeza científica, aún quedan importantes incertidumbres sobre su evolución futura exacta y sus impactos específicos. Esto no debe ser excusa para la inacción, sino un llamado a actuar con urgencia y precaución ante los riesgos que implica para la humanidad y los ecosistemas.

Para investigar el cambio climático se utilizan diversos métodos y enfoques, entre los que destacan:

1. **Modelos climáticos**: Se emplean modelos matemáticos y computacionales para simular el comportamiento del sistema climático y proyectar escenarios futuros. Estos modelos integran datos de múltiples componentes como la atmósfera, los océanos, la criosfera y la biosfera. Permiten analizar los impactos del cambio climático a largo plazo bajo diferentes supuestos de emisiones de gases de efecto invernadero.  
     
   **Los resultados de estos modelos se distribuyen para que aquellas personas interesadas en investigar puedan hacelo. Es uno de los caminos que hemos elegido.**
2. **Observaciones y monitoreo**: Se recopilan y analizan datos de temperatura, precipitaciones, nivel del mar, extensión del hielo marino, etc. Estos registros instrumentales modernos se complementan con evidencias paleoclimáticas obtenidas de núcleos de hielo, anillos de árboles, sedimentos y otros almacenamientos naturales. Esto permite detectar tendencias y cambios en el sistema climático.  
     
   **Dado la enorme extensión de información y datos encontrados, hemos elegido una zona en la cual pensamos que podremos investigar los datos históricos, y su aplicación al futuro.**
3. **Estudios de atribución**: Mediante técnicas estadísticas se busca determinar las causas más probables de los cambios observados, distinguiendo entre la variabilidad natural y la influencia humana. Se comparan patrones espaciales y temporales de las observaciones con las "huellas dactilares" esperadas por diferentes forzamientos.  
     
   **Como punto de partida, vamos a dar por buenos los resultados ajenos en este apartado.**
4. **Evaluación de impactos**: Se investiga cómo el cambio climático afecta a los sistemas naturales y humanos, como la agricultura, los recursos hídricos, los ecosistemas, la salud, etc. Se usan modelos de impacto y funciones de daño, a menudo combinando proyecciones climáticas con escenarios socioeconómicos.  
     
   **Vamos a centranos en los daños hacia la vida humana y a las variaciones de los recursos hídricos estudiando el índice de aridez, también llamado índice de Martonne, por su creador.**
5. **Análisis económico**: Se estiman los costos del cambio climático y los beneficios de las políticas de mitigación y adaptación. Esto implica desarrollar escenarios integrados que vinculen factores climáticos, ambientales y socioeconómicos.  
     
   **En el marco de nuestro PFM, no vamos a investigar esto.**

La investigación del cambio climático es un esfuerzo multidisciplinario que combina ciencias naturales, sociales y económicas. Requiere un enfoque a largo plazo, dada la inercia del sistema climático, y está sujeta a incertidumbres que deben gestionarse adecuadamente en la toma de decisiones.

## Los datos encontrados:

En la página web de la AEMET, encontramos una serie de páginas en las cuales hablan de diferentes escenarios y proyectos de investigación.

<https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/datos_mensuales>

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación, Word

Descripción generada automáticamente

<https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos?w=2&opc1=Espan&opc2=Tx&opc3=Anual&opc4=1&opc6=0>  
Interfaz de usuario gráfica

Descripción generada automáticamente con confianza baja

Por ejemplo, en estas se muestran los escenarios RCP 4.5, RCP 8.5 del proyecto CORDEX. **Lo hemos dado por bueno.**

**NOTA: Esto se ha revelado como un error.**

El proyecto CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) fue una iniciativa del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (WCRP) lanzada en 2009, con el objetivo de mejorar y coordinar la reducción de escala climática regional, a nivel global.

CORDEX produjo proyecciones climáticas regionales de alta resolución para diversas regiones del mundo, incluyendo Europa, a través de EURO-CORDEX. Estas proyecciones se usaron en los modelos climáticos globales participantes en el 5º Informe de Evaluación del IPCC (CMIP5 -2010-2014) y consideraron los nuevos escenarios de emisiones RCP hasta 2100.

En cuanto a su vigencia, CORDEX complementó los escenarios regionalizados previos basados en los modelos del 4º Informe del IPCC (CMIP4 - 2005-2006) y el proyecto ENSEMBLES. Los datos de CORDEX se pusieron a disposición de la comunidad científica para estudios de impactos y adaptación al cambio climático, sirviendo su uso para el 5º Informe del IPCC y posteriores (2013-2014).

CORDEX ha sido superado por iniciativas más recientes como CMIP6 (2016- actualidad), que implica una nueva generación de modelos climáticos globales más avanzados.

Las modelizaciones CORDEX, obsoletas ya, siguen usándose, sin embargo, para comprobar que los motores actuales de modelización dan resultados parecidos a los de antaño.

**CONCLUSIÓN: La consecuencia es que el desarrollo de herramientas se ha quedado estancando alrededor de los años 2009 a 2013. Nos hemos encontrado con gran cantidad de problemas debido a esto. Programas solo funcionales en entornos Unix. Programación mayoritariamente en C, y algo en R. Prácticamente nada en Python. Y esto último, usando librerías no actualizadas desde entonces, (incompatibles entre ellas y con las actuales).**

**Si tuviéramos más tiempo, volveríamos a empezar esta parte del estudio centrándonos en CIMP6 y CIMP7, que está en preparación.**

**En cambio, hemos aprendido enormemente sobre el uso de “Conda” para la creación de entornos Python, e ir pasando de unos a otros según las incompatibilidades presentes.**

**También hemos realizado un esfuerzo importante de actualización de las libretas presentadas, y las dependencias con las librerías obsoletas.**

## Los datos elegidos:

En un primer lugar, vimos que el acceso a los datos de CORDEX estaban restringidos a usuarios registrados a través de su plataforma.

Luego nos dimos cuenta de que podíamos acceder a ellos a través de la plataforma de datos ESGF. Así es como accedimos a los datos.

La “Earth System Grid Federation” (ESGF) es una colaboración internacional dedicada al desarrollo y operación de un sistema a largo plazo para la gestión, acceso y análisis de datos climáticos. Es reconocida como la infraestructura líder para manejar y acceder a grandes volúmenes de datos distribuidos para la investigación del cambio climático.

La cantidad de datos disponibles es enorme y su acceso es complejo de entender. La dificultad más grande que hemos tenido es que los nodos no son todos iguales en su estructura, y en los datos que contienen. Algunos piden registro para acceder a los datos del CORDEX y otros, ni los tienen. Al final, encontramos nuestro camino con el siguiente nodo:

<https://esgf-data.dkrz.de/projects/esgf-dkrz/>

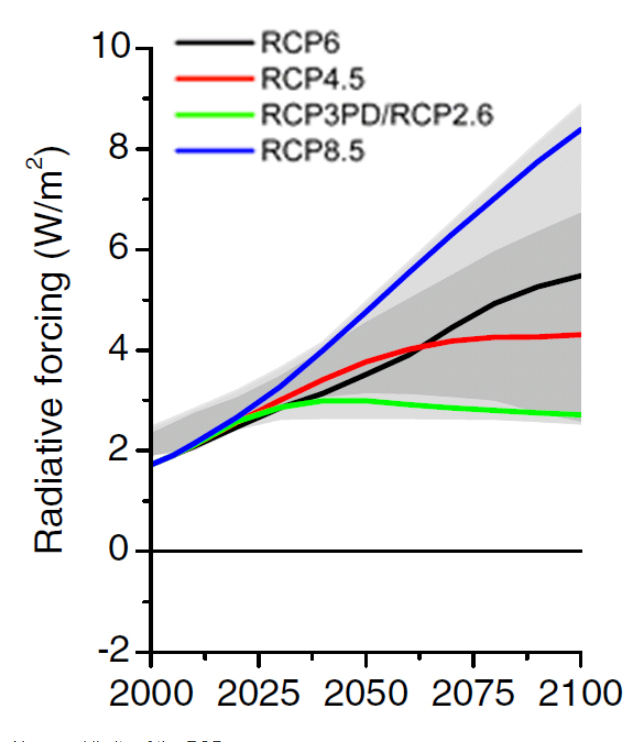
Uno de los problemas, es que cada institución presente en la red ( 31 instituciones) reproduce los experimentos (140 posibles) de los demás. Al final, hay más de 50.000 combinaciones posibles.

Hemos seleccionado por haber leído varios informes sobre el calentamiento climático y sus modelizaciones los siguientes parámetros:

|  |  |
| --- | --- |
| Project | CORDEX, |
| domain | EUR-11, |
| institute | KNMI,  (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,  Instituto Meteorológico Real de los Países Bajos) |
| climate model | RACMO22E  (Modelo de última generación que permite generar proyecciones climáticas regionales de alta resolución para Europa, anidado en modelos climáticos globales. Incluye representaciones avanzadas de procesos físicos como la convección, la turbulencia, la radiación y las interacciones superficie-atmósfera. Ha sido validado y evaluado frente a observaciones, mostrando un buen rendimiento en la simulación del clima europeo.) |
| driving\_model | CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 Es un modelo acoplado atmósfera-océano que representa los principales componentes del sistema climático: atmósfera, océano, hielo marino y superficie terrestre. Permite simular las interacciones y retroalimentaciones entre estos componentes. |
| experiment | historical,rcp26,rcp45,rcp85, |
| ensemble | r1i1p1 |
| time\_frequency | day, |
| Variable geográficas (2) | orog,sftlf,  (orografía, Surface to land fraction (porcentaje de la proporción de tierra y agua por cada celda) |
| Variable climáticas (11) | tas,tasmax,tasmin,pr,prc,ps,psl,clt,sund,huss,sfcWind, |
| latest | True, |

Esto ha representado 380 Gb de datos, en 767 ficheros.

Nota: Actualmente (año 2024), se considera que se ha sobrepasado el punto del experimento RCP 2.6 y ya no se le tiene en cuenta. Ahora se considera como optimista el RCP 4.5 y como pesimista el RCP 8.5. El experimento RCP 6.0, no se consideraba en el momento del lanzamiento del CORDEX, solo se ha incorporado posteriormente. Por eso está ausente de estas modelizaciones.



## Análisis rápido de los datos :

Lo que hemos hecho es reducir los datos. Indicamos en esta tabla adjunta los saltos cuantitativos realizados:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| La información descargada arroja datos cada vez menores según el avance geográfico desde Europa, pasando por la Península Ibérica hasta la Comunidad Valenciana: | | | |
|  | Europa | Península Ibérica | Comunidad Valenciana |
| Tamaño (número de elementos) | 318.980.288 | 10.152 | 693 |
| Número de coordenadas: |  |  |  |
| rlon | 424 | 108 | 21 |
| rlat | 412 | 94 | 33 |
| Longitud promedio (grados) | 47,29 | 39,87 | 38,95 |
| Latitud promedio (grados) | 10,19 | 4,39 | -0,69 |
| Superficie cubierta (km²) | 30.522.752 | 1.757.059 | 113.331 |

Estas son las conclusiones por segmento:

# Para Europa

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Escenario histórico |  |  |
| Escenario RCP 4.5 (Optimista) |  |  |
| Escenario RCP 8.5 (Pesimista) |  |  |

## Conclusiones:

Para Europa, según los escenarios de Cambio Climático, tenemos diferentes resultados:

### - Índice de Martonne 2096-2100 (proyección KNMI CNRM-CERFACS-CNRM-CM5, escenario RCP 4.5 (Optimista):

* Vemos cómo aumenta el índice de Martonne (probablemente por el aumento de las lluvias) en Portugal, con un probable aumento de caudal del final de los ríos Duero, Tajo y Guadiana. Esto también afectará a la gran llanura europea y a la llanura europea oriental y Reino Unido.
* Vemos como el índice de Martonne se mantiene estable en la Meseta Central y arco mediterráneo, Macizo Central y la actual Ucrania.
* Vemos cómo disminuye el índice de Martonne (probablemente por una disminución de las lluvias y de la nieve) en todas las cadenas montañosas, desde la Cordillera Cantábrica, Pirineos, Alpes, Apeninos, Alpes Dináricos, Cárpatos, Balcanes...

#### - Índice de Martonne 2096-2100 (proyección KNMI CNRM-CERFACS-CNRM-CM5). Escenario RCP 8.5 (Pesimista):

* Vemos como aumenta el índice de Martonne (probablemente por el aumento de las lluvias) en la gran llanura europea y en la llanura europea oriental.
* Vemos cómo el índice de Martonne se mantiene estable en la actual Ucrania.
* Vemos cómo disminuye el índice de Martonne (probablemente por una disminución de las lluvias y de la nieve) en todas las cadenas montañosas, desde la Cordillera Cantábrica, Pirineos, Alpes, Apeninos, Alpes Dináricos, Cárpatos, Balcanes... También todo el arco mediterráneo, desde España a Turquía, pasando por la mitad sur de Francia, toda Italia, los Balcanes y Grecia.

# Para la Península Ibérica

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Escenario histórico |  |  |
| Escenario RCP 4.5 (Optimista) |  |  |
| Escenario RCP 8.5 (Pesimista) |  |  |

## Conclusiones

Para la Península ibérica, según los escenarios de Cambio climático tenemos diferentes resultados:

### - Cambios en el Índice de Martonne para 2096 a 2100, con escenario RCP 4.5 (escenario optimista):

* En el norte de Portugal y Galicia, habrá un fuerte aumento del Índice de Martonne debido a un fuerte aumento de las precipitaciones que, además, provocará un aumento de los cauces en las partes finales del Duero, Tajo y en menor medida del Guadiana.
* En el Centro de España, en la Submeseta Sur, no habrá cambios en el Índice de Martonne.
* En el norte de España, la Cordillera Cantábrica y Pirineos, en el centro del Sistema Ibérico y Sistemas Béticos, habrá un fuerte descenso del Índice de Martonne debido a unas probables disminuciones de la precipitación de lluvia y nieve.
* En toda la costa mediterránea no montañosa, habrá un ligero aumento del índice de Martonne mediante un aumento de la pluviometría.

### - Cambios en el Índice de Martonne para 2096 a 2100, con escenario RCP 8.5 (escenario pesimista):

* En el norte de Portugal hasta Galicia, habrá una muy fuerte disminución del Índice de Martonne debido a unos fuertes cambios en los patrones de precipitación y una mayor evapo-transpiración en las zonas de montaña.
* En el Centro de España, en la Submeseta Sur, habrá una disminución media del Índice de Martonne debido a la disminución de las lluvias y al aumento de las temperaturas máximas y medias.
* En el norte de España, la Cordillera Cantábrica y Pirineos, en el centro del Sistema Ibérico y Sistemas Béticos, habrá un muy fuerte descenso del Índice de Martonne.
* En toda la costa mediterránea no montañosa, habrá una ligera disminución del Índice de Martonne, exceptuado el delta del Ebro y golfo de Valencia.

# Para la Comunidad Valenciana

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Escenario histórico |  |  |
| Escenario RCP 4.5 (Optimista) |  |  |
| Escenario RCP 8.5 (Pesimista) |  |  |

## Conclusiones

Para la Comunidad Valenciana, según los escenarios de cambio climático, tenemos diferentes resultados:

## - Cambios en el Índice de Martonne para 2096 a 2100, con escenario RCP 4.5 (escenario Optimista):

* Vemos que el índice de Martonne aumenta ligeramente, debido al probable aumento de las lluvias en el borde del mediterráneo de la provincia de Castellón.
* Vemos un descenso del índice de Martonne, por una probable disminución de las lluvias, en el resto de la Comunidad Valenciana. Este descenso es más acusado con la altitud, sobre todo, al final del Sistema Ibérico y de la Cordillera Subbética.

## - Cambios en el Índice de Martonne para 2096 a 2100, con escenario RCP 8.5 (escenario Pesimista):

* Vemos que el índice de Martonne se mantiene por la combinación de un probable ligero aumento de las lluvias, acompañando un ligero aumento de temperaturas, en el borde del mediterráneo de la provincia de Castellón.
* Vemos un descenso del índice de Martonne por una probable disminución de las lluvias, en el resto de la Comunidad Valenciana. Este descenso es más acusado con la altitud, sobre todo, al final del Sistema Ibérico y de la Cordillera Subbética.