

La substitució del clima mediterrani per climes àrids segons la classificació de Köppen

Estudiant: Júlia Casas Portillo
Correu electrònic: juliaacaasaas3@gmail.com
Grau en Ciències Ambientals

Tutor acadèmic: Josep Calbó Angrill
Correu electrònic: josep.calbo@udg.edu

AGRAÏMENTS

Aquest treball ha estat possible gràcies a diverses persones, que han dedicat moments del seu temps a ajudar-me. En concret vull agrair a:

A la Facultat de Ciències de la UDG, pels recursos que m'han proporcionat, ja sigui a través de llibres físics o accés a articles online, sense els quals no hagués sigut possible fer aquest TFG.

Al meu tutor del treball de fi de grau, el Dr. Josep Calbó, per guiar-me en aquest projecte i ajudar-me amb els dubtes que se m'han anat generant.

Finalment a la gent del meu voltant, com la meva família i amics propers, que m'han donat suport i idees en tot moment, especialment al meu germà i a la Julia.

ÍNDIX

RESUM	4
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
REFLEXIÓ D'ÈTICA	6
REFLEXIÓ DE SOSTENIBILITAT	6
REFLEXIÓ DE GÈNERE	7
1. INTRODUCCIÓ	8
1.1 SITUACIÓ I ANTECEDENTS	8
1.2 DEFINICIÓ DE LA REGIÓ CLIMÀTICA MEDITERRÀNIA	9
2. OBJECTIVES	15
3. METODOLOGIA	15
4. RESULTATS I DISCUSSIÓ	21
4.1 PERÍODES PASSATS	21
4.1.1 CIUTATS DE LA CONCA DEL MEDITERRANI	21
4.1.2 CIUTATS D'AUSTRÀLIA	25
4.1.3 CIUTATS D'ESTATS UNITS	28
4.1.4 CIUTATS DE SUD-ÀFRICA	31
4.2 PROJECCIONS FUTURES	33
4.3 DISCUSSIÓ	34
5. CONCLUSIONS	36
BIBLIOGRAFIA	38

RESUM

L'ésser humà, des de la revolució industrial, està provocant que el clima de la Terra variï, el que se'n diu canvi climàtic. Aquest fenomen, degut principalment a l'augment de la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle, està fent que les temperatures i els règims de precipitacions a molts llocs de la terra ja no siguin els mateixos que a principi del segle passat, entre d'altres canvis igualment rellevants, que afecten a un gran nombre de poblacions i ecosistemes. Aquest estudi es centra específicament en el canvi que estan patint alguns territoris amb clima mediterrani (Península Ibèrica, Oest d' Austràlia, Califòrnia i Oest de Sud-àfrica).

Per determinar si aquest clima està sent substituït per un altre clima, s'han calculat, per diverses localitats de les regions esmentades, climogrames dels períodes 1961-1990 i 1991-2020, que combinen dades de temperatures i de precipitacions, i s'ha comprovat que es tracta d'un clima mediterrani, segons la classificació de Köppen, o si ja compleix les característiques d'un clima àrid. Després s'ha calculat, només per algunes localitats, el climograma corresponent de 2021-2050 i de 2051-2080 en base a unes projeccions climàtiques, extretes del projecte CORDEX.

S'han comparat els climogrames i els resultats ens han demostrat que per a la gran majoria de ciutats estudiades, el clima mediterrani que gaudeixen segueix una tendència cap a la desertificació. La zona d' Austràlia és la més avançada en aquest procés de substitució cap al clima àrid, ja que alguna ciutat es troba ja dins els clima àrid.

RESUMEN

El ser humano, desde la revolución industrial, está provocando que el clima de la Tierra varíe, el que se dice cambio climático. Este fenómeno, debido principalmente al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, está haciendo que las temperaturas y los regímenes de precipitaciones a muchos lugares de la tierra ya no sean los mismos que a principio del siglo pasado, entre otros de otros cambios igualmente relevantes, que afectan a un gran número de poblaciones y ecosistemas. Este estudio se centra específicamente en el cambio que están sufriendo algunos territorios con clima mediterráneo (Península Ibérica, Oeste de Australia, California y Oeste de Suráfrica)

Para determinar si este clima está siendo sustituido por otro clima, se han calculado, para distintas localidades de las regiones esmentadas, climogramas de los periodos 1961-1990 y 1991-2020, que combinan datos de temperaturas y de precipitaciones, y

se ha comprobado que se trata de un clima mediterráneo, según la clasificación de Köppen, o si ya cumple las características de un clima árido. Después se ha calculado, solo por algunas localidades, el climograma correspondiente de 2021-2050 y de 2051-2080 en base a unas proyecciones climáticas, extraídas del proyecto CORDEX.

Se han comparado los climogramas y los resultados nos han demostrado que para la gran mayoría de ciudades estudiadas, el clima mediterráneo sigue una tendencia hacia la desertificación. La zona de Australia es la más avanzada en este proceso de sustitución hacia el clima árido, puesto que alguna ciudad se encuentra ya dentro del clima árido.

ABSTRACT

Human beings, since the industrial revolution, are causing the climate of the Earth to vary, what is called climate change. This phenomenon, due mainly to the increase in the concentration of greenhouse gases, is making temperatures and precipitation regimes in many places on earth no longer the same as at the beginning of the last century, among other equally relevant changes, which affect a large number of populations and ecosystems. This study focuses specifically on the change that some territories with Mediterranean climate (Iberian Peninsula, Western Australia, California and West South Africa are experiencing.

To determine whether this climate is being replaced by another climate, climographs have been calculated from the 1961-1990 and 1991-2020 periods, which combine temperature and precipitation data, and it has been proven that it is a Mediterranean climate, according to the Köppen classification, or whether it already meets the characteristics of an arid climate. Then, only for some locations, the corresponding climograph of 2021-2050 and 2051-2080 has been calculated based on climate projections, extracted from the CORDEX project.

The climographs have been compared and the results have shown us that for the vast majority of cities studied, the Mediterranean climate follows a trend towards desertification. The area of Australia is the most advanced in this process of substitution towards the arid climate, since some city are already in arid climate.

REFLEXIÓ D'ÈTICA

El plagi, és a dir la utilització de material o informació extreta d'una font sense citar-la, és una pràctica per desgràcia freqüent, sobretot entre treballs universitaris . A part de ser una acció penalitzada per llei, comporta una càrrega ètica a sobre.

Un altre punt important dins de l'idea d'ètica per a la realització de treballs, és la utilització de la intel·ligència artificial. Aquesta eina, relativament nova, ha fet augmentar el plagi o el no reconeixement de l'autoria inicial. Al realitzar treballs mitjançant IA, estàs agafant informació de la base de dades d'aquesta que, al seu torn, està utilitzant informació d'articles que estan publicats i penjats a internet; el problema es genera perquè la IA no t'indica els articles d'on ha tret la informació, per tant no és poden citar.

El fet de no donar crèdit a una persona, autora d'un treball, en agafar-li informació, estem fent que el seu treball no sigui vist ni reconegut, creant així un dilema ètic. Per tant, tota la informació que s'ha recuperat de fonts externes per a fer aquest treball ha sigut degudament citada mitjançant el format APA. Tampoc s'ha utilitzat cap IA generativa per a la redacció del treball.

Un altre punt que cal comprovar és quina ha estat l'actitud ètica en front el medi ambient. De manera general cal tenir en compte que per a fer estudis s'ha de ser respectuós amb el medi. Per a aquest treball només s'han utilitzat dades ja existents d'estacions meteorològiques; per tant, no s'ha fet cap afectació addicional al medi.

REFLEXIÓ DE SOSTENIBILITAT

El tema del canvi climàtic engloba molts aspectes, i aquest treball n'és un d'ells. La pèrdua d'un tipus de clima en una regió determinada (com ara les nostres terres) afecta a un gran nombre d'ecosistemes, fent així que es generi una pèrdua de diversitat cada cop més elevada.

Per tant s'ha de promoure un canvi de mentalitat en la població, introduint un pensament més sostenible, és a dir, utilitzar els recursos proporcionats per la terra, però sense perjudicar les generacions futures. Canviant el pensament consumista de l'actualitat per un moviment centrat més en la reutilització i la reparació.

Pel que fa a aquest treball, al ser un projecte més aviat bibliogràfic i d'anàlisi de dades, no es genera molt d'impacte en el medi.

REFLEXIÓ DE GÈNERE

Per a la realització d'aquest treball, s'ha utilitzat referències a altres treballs i organitzacions. Malauradament, la majoria dels autors d'aquests treballs han sigut homes. Això és degut a la diferenciació de gènere que encara és molt gran dins la ciència.

Aquest problema és conseqüència dels diferents aspectes d'aquest pensament patriarcal; en primer lloc, el sostre de vidre, referint-se a les limitacions que tenen les dones per a arribar a alts càrrecs dins d'empreses o laboratoris, fent així que sigui més difícil arribar a ser la directora d'un projecte. Per altra banda, cal remarcar que hi ha un menor nombre de dones que es dediquen a la ciència (en particular en l'àmbit de les ciències físiques), ja que sempre s'ha categoritzat com a professió masculina.

Per poder erradicar aquests problemes que es generen a la societat i a la ciència, hem de ser conscients de la problemàtica, intentar denunciar situacions injustes i encoratjar a les noves generacions de dones a què la ciència també és per a elles.

1. INTRODUCCIÓ

1.1 SITUACIÓ I ANTECEDENTS

El creixent interès pel clima ve causat pels canvis que està patint, ja que últimament a diferents parts del món, se n'observen anomalies; inundacions sobtades o sequeres, canvis de temperatura, etc. Les últimes tres dècades han estat successivament més càlides que qualsevol dècada anterior al 1850. A l'hemisferi Nord, del 1983 al 2012 va ser el període de 30 anys més calorós dels últims 1400 anys. Aquests canvis estan estretament lligats al canvi climàtic, que és un dels reptes més importants i de gran abast que s'ha hagut d'afrontar la societat humana aquest segle (Öztürk *et al.*, 2015).

La combustió de petroli i l'augment de la desforestació han fet que les concentracions de diòxid de carboni augmentin un 50% des de la revolució industrial (és a dir, des de meitat del S.XIX). La concentració de gasos CFC, metà i òxid de nitrogen també han patit un augment a l'atmosfera a causa de l'activitat humana (Short i Neckles, 1999). Tots aquests gasos, que són els anomenats gasos amb efecte d'hivernacle, absorbeixen la radiació infraroja que prové de la terra i la tornen a emetre, generant així un augment de les temperatures en general. Aquest fenomen d'escalfament global és el que provoca el canvi climàtic.

El clima es pot definir de manera senzilla com el resum o l'estadística dels estats del temps meteorològic en un lloc i per un període de temps determinat. És un concepte molt ampli que durant molts anys s'ha intentat entendre i classificar. Antigament, les classificacions del clima ja delimitaven un paisatge o ecosistema; és a dir, que els diferents climes causaven que a un lloc determinat es trobés un ecosistema (o un paisatge humà) concret.

Una de les primeres classificacions quantitatives del clima la va realitzar Wladimir Peter Köppen cap a l'any 1900. Köppen va néixer a Sant Petersburg l'any 1846, i seguint els passos del seu pare, Peter von Köppen, geògraf, estadístic i historiador, el 1864 va començar els seus estudis a la seva ciutat natal especialitzant-se en botànica. Més entrada la seva vida, es va mudar a Alemanya per a realitzar un doctorat sobre la relació del creixement de les plantes amb la temperatura, finalment es va traslladar a Hamburg per a dirigir la divisió de telegrafia atmosfèrica i meteorologia marina a l'Observatori Marítim Alemany. El 1884 va delimitar cinturons de temperatura del món regits per les temperatures mensuals, i el 1890 va introduir el seu propi sistema matemàtic de classificació de clima, basant-se en les precipitacions i temperatures. Finalment, va

passar els últims anys de la seva vida a Graz (Àustria), on va publicar una obra de climatologia en 5 parts abans de morir el 1940 (Fernández i Tamaro, 2004). Aquesta classificació es basa en el cicle anual de la temperatura de l'aire i de la precipitació (Cui *et al.*, 2021). A partir d'aquesta classificació se n'han desenvolupat altres, però encara avui en dia la més utilitzada és la classificació basada en els principis que va presentar Köppen.

Un dels climes que es distingeix en la classificació de Köppen és el clima mediterrani. En el context del canvi climàtic, aquest clima presenta creixent interès, per la convergència de problemes socials, ambientals, econòmics i científics, en les regions de clima mediterrani, ja que són zones molt poblades que estan sota l'estrès ambiental i potencialment molt afectades pel canvi climàtic (Lionello *et al.*, 2006). S'han fet molts estudis de com afectarà el canvi climàtic a diferents regions del planeta, estudis que mostren que les regions de clima mediterrani es veuran afectades notablement per l'estrès hídric (Öztürk *et al.* 2015). Els efectes que el canvi climàtic té sobre les regions mediterrànies van des de problemes econòmics a problemes per la salut de les persones i òbviament a problemes pel medi ambient i els ecosistemes.

1.2 DEFINICIÓ DE LA REGIÓ CLIMÀTICA MEDITERRÀNIA

Per la realització d'aquest treball utilitzarem la classificació del clima proposada, com ja s'ha dit, per Wladimir Peter Köppen al voltant de l'any 1900. Aquesta classificació es basa en el cicle anual de les temperatures i les precipitacions mensuals, és a dir, els climogrames. La classificació climàtica es correspon amb un mapa de la distribució dels biomes de la Terra, ja que identifica el clima en semblança amb els seus efectes en el creixement de les plantes i en el desenvolupament dels ecosistemes i paisatges, que depèn principalment de la calor i de l'aridesa (Cui *et al.*, 2021).

Així, Köppen va classificar el clima en 5 classes principals: la zona tropical (A), la zona àrida (B), la zona temperada (C), la zona de neu o boreal (D) i la zona polar (E), tal i com es pot observar en la figura 1.

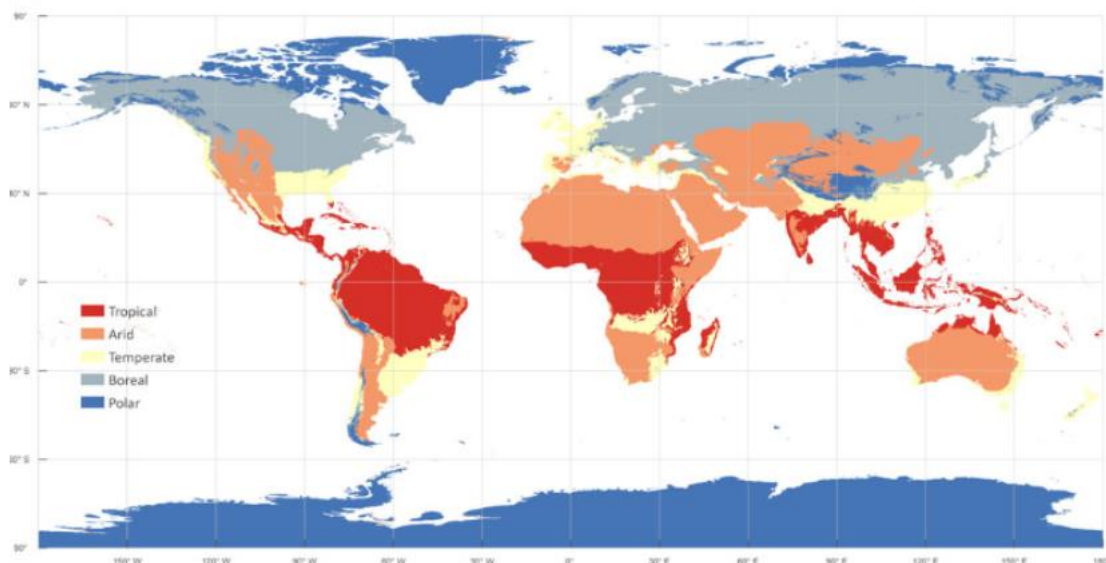


Figura 1: Mapa dels diferents climes regits per la classificació de Köppen. Font: (Cui et al., 2021)

La zona tropical (A) es caracteritza per tenir una mitjana de temperatura en els mesos més freds superior a 18°C. La zona àrida (B) és on la precipitació anual és inferior a un determinat llindar que depèn de la temperatura (de fet aquest llindar pretén estimar l'evapotranspiració del lloc, i per tant, determinar si aquesta és més alta que la precipitació). A la zona temperada (C) la mitjana de temperatura dels mesos freds és entre -3 i 18°C (i les precipitacions, suficients per no correspondre a un clima àrid). En les zones de neu (D) la temperatura mínima mensual és inferior o igual a -3°C. I finalment la zona polar (E) la temperatura màxima mensual és inferior a 10°C.

Aquests 5 climes principals es divideixen en climes més específics, aplicant criteris i característiques més acurades per a cada zona, veure Taula 1 (Kottek et al., 2006).

ZONA	DESCRIPCIÓ	CRITERI
A	Zona tropical	Tmin ≥ +18 °C
Af	selva tropical, molt humit	Pmin ≥ 60 mm
Am	monsó tropical	Pann ≥ 25 mm (100 - Pmin)
As	sabana amb estiu sec	Pmin < 60 mm a l'estiu
Aw	sabana amb hivern sec	Pmin < 60 mm a l'hivern
B	Climas àrids	Pann < 10 Pth

BS	clima d'estepa	$P_{ann} > 5 P_{th}$
BW	clima desèrtic	$P_{ann} \leq 5 P_{th}$
C	Climes temperats càlids	$-3\text{ °C} < T_{min} < 18\text{ °C}$
Cs	climes temperats càlids amb estiu sec	$P_{smin} < P_{wmin}$, $P_{wmax} > 3 P_{smin}$ and $P_{smin} < 40\text{ mm}$
Cw	climes temperats càlids amb hivern sec	$P_{wmin} < P_{smin}$ and $P_{smax} > 10 P_{wmin}$
Cf	climes temperats càlids humits	No correspon a Cs ni a Cw
D	Climes de neu	$T_{min} \leq -3\text{ °C}$
Ds	climes de neu amb estiu sec	$P_{smin} < P_{wmin}$, $P_{wmax} > 3 P_{smin}$ and $P_{smin} < 40\text{ mm}$
Dw	climes de neu amb hivern sec	$P_{wmin} < P_{smin}$ and $P_{smax} > 10 P_{wmin}$
Df	climes de neu humits	No correspon a Ds ni a Dw
E	Clima polar	$T_{max} < 10\text{ °C}$
ET	clima de tundra	$0\text{ °C} \leq T_{max} < +10\text{ °C}$
EF	clima de gelades	$T_{max} < 0\text{ °C}$

Taula 1: Diferenciació dels climes segons Köppen. Font: (Kottek et al., 2006)

En aquesta taula 1, ens trobem diferents acrònims per descriure les variables. En tots els casos, si no es diu el contrari, es fa referència als valors mensuals (mitjana mensual de temperatura o precipitació acumulada mitjana mensual):

- T_{min} és la temperatura mínima anual, és a dir, la temperatura del mes més fred.
- P_{min} és la precipitació mínima anual, és a dir, la precipitació del mes més sec.
- P_{ann} és la precipitació anual.
- P_{smin} és la precipitació mínima durant l'estiu.
- P_{smax} és la precipitació màxima durant l'estiu.
- P_{wmin} és la precipitació mínima durant l'hivern.
- P_{wmax} és la precipitació màxima durant l'hivern.
- P_{th} és un llindar de sequedat en mm, per als climes àrids, que depèn de la temperatura anual i del cicle de precipitacions anuals, i que és calcula segons la següent fórmula:

$$P_{th} = \begin{cases} 2 (T_{ann}) \rightarrow \text{Si com a m\u00ednim 2/3 de la precipitaci\u00f3 anual passa en els mesos d'hivern.} \\ 2 (T_{ann}) + 28 \rightarrow \text{Si com a m\u00ednim 2/3 de la precipitaci\u00f3 anual passa en els mesos d'estiu.} \\ 2 (T_{ann}) + 14 \rightarrow \text{Si no \u00e9s compleixen cap dels dos requisits anteriors.} \end{cases}$$

T\u00edpicament, es considera que el clima mediterrani es caracteritza per tenir unes temperatures moderades (ni molt fred ni molta calor) i un r\u00e8gim de precipitaci\u00f3 que oscil\u00b7la entre els 600 i els 1.000 mm anuals, arribant a ser superior en les zones de muntanya. I on la precipitaci\u00f3 de l'\u00e8poca freda, que en l'hemisferi nord del planeta coincideix amb els mesos d'octubre a mar\u00e7, supera en tres vegades m\u00e9s els mesos m\u00e9s secs (G\u00f3mez i G\u00f3mez, 1979). En base a aquestes caracter\u00edstiques del clima mediterrani, es dedueix que aquest coincideix amb la nomenclatura Cs de la classificaci\u00f3 de K\u00f6ppen (Taula 1). \u00c9s a dir que el clima mediterrani \u00e9s un clima temperat c\u00e0lid, amb estiu sec. M\u00e9s concretament, compleix que:

1. La temperatura del mes m\u00e9s fred es troba entre -3°C i 18°C .
2. La precipitaci\u00f3 en els mesos c\u00e0lids \u00e9s inferior a la dels mesos freds.
3. La precipitaci\u00f3 del mes m\u00e9s pluj\u00f3s (en per\u00edode fred) \u00e9s m\u00e9s de 3 vegades superior a la precipitaci\u00f3 m\u00e9s baixa del mes m\u00e9s sec.
4. La precipitaci\u00f3 del mes m\u00e9s sec \u00e9s inferior a 40 mm.

Un climograma caracter\u00edstic de clima mediterrani es pot observar en la figura 2, un climograma del Valle Medio del Guadalquivir, on la temperatura del mes m\u00e9s fred \u00e9s de $9,2^{\circ}\text{C}$. La precipitaci\u00f3 m\u00e9s alta \u00e9s el m\u00e9s de desembre, amb 89 mm, que \u00e9s molt m\u00e9s de tres vegades superior a la precipitaci\u00f3 del mes m\u00e9s sec (juliol, amb 3 mm) i la precipitaci\u00f3 del mes m\u00e9s sec \u00e9s inferior a 40 mm. Seguint la f\u00f3rmula esmentada anteriorment del P_{th} , es calcula que no ens trobem en un clima \u00e0rid, ja que $10P_{th}$ \u00e9s inferior a la P_{ann} ($P_{th} = 494 \text{ mm} < 535 \text{ mm} = P_{ann}$).

Estrictament parlant, no sempre es compleixen totes quatre condicions en llocs on habitualment s'accepta que el clima \u00e9s mediterrani (en particular, sovint no es compleix la tercera condici\u00f3, i fins i tot -i una mica sorprenentment- a voltes no es compleix la segona).

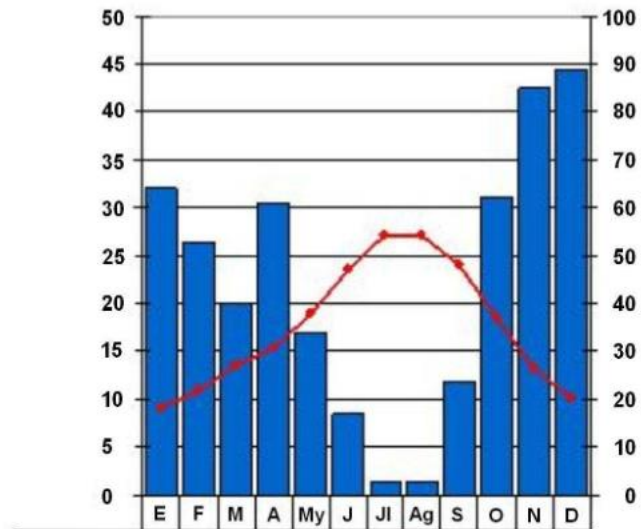


Figura 2: Climograma del clima mediterrani (Cs). Font : (García, J, 2018)

Existeixen només cinc regions de la Terra que compleixen amb la descripció de clima mediterrani (o Cs segons Köppen): Califòrnia, Xile central, la conca del Mediterrani, la regió del Cap de Sud-àfrica, i el sud-oest i el sud d' Austràlia (*IUCN CE*, s. d.), tal i com es pot observar en la figura 3.

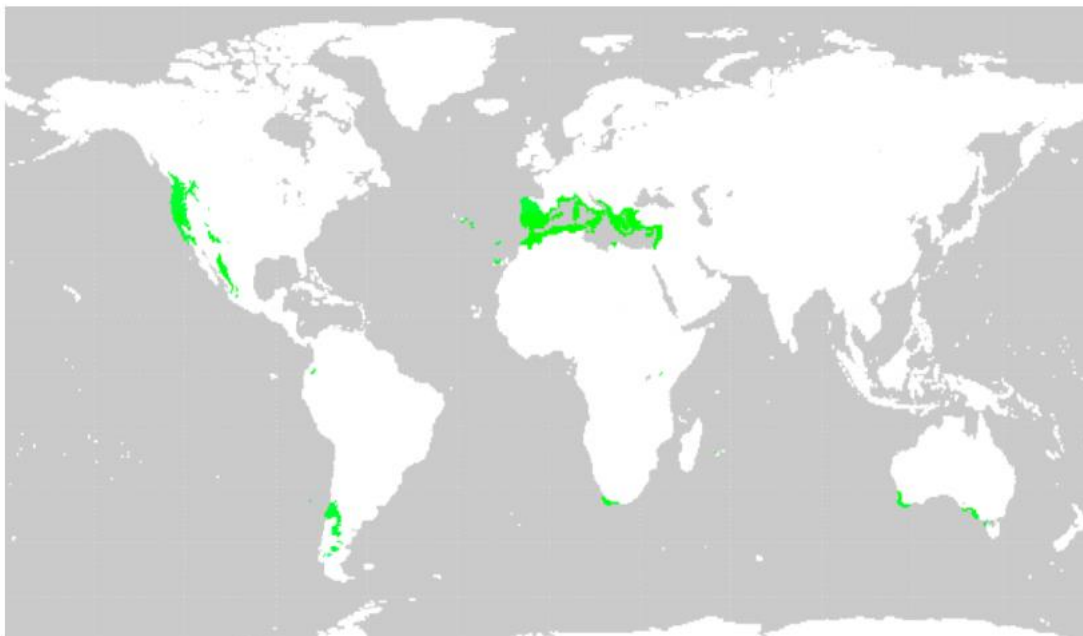


Figura 3: Mapa on es localitza el clima mediterrani. Font: (*PereMeteo*, 2023)

Per altra banda, també cal entendre les característiques del clima semiàrid-càlid, el qual es vol demostrar que, amb el canvi climàtic contemporani, està substituint al clima

mediterrani. Aquest clima, segons la classificació de Köppen és el que correspon a BS (Taula 1), el clima d'estepa, on la precipitació anual és superior a 5 Pth i inferior a 10 Pth. Això indica que l'evapotranspiració excedeix la precipitació, tal i com s'observa en el climograma de la figura 4. Observant les dades del règim de precipitació i temperatura per aquest climograma de Dakar, es pot comprovar amb la fórmula de Pth, que efectivament es tracta d'un clima àrid, o B segons la classificació de Köppen., ja que la Pann és molt inferior a 10Pth. $P_{ann} = 263 \text{ mm} < 621 \text{ mm} = 10P_{th}$.

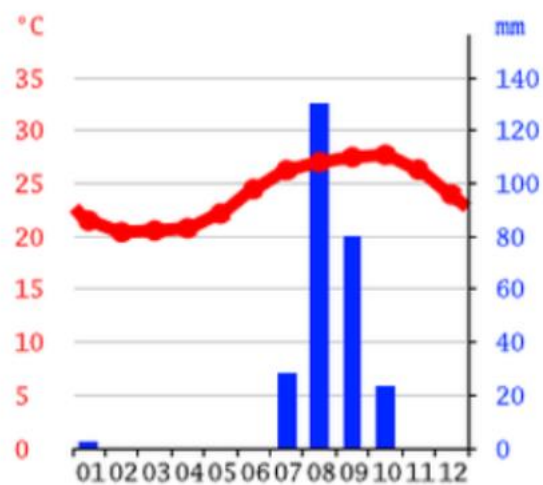


Figura 4: Climograma del clima d'estepa (BS) Dakar, Senegal. Font: (Clima Data. s. d.)

En el paisatge d'aquest clima s'observen herbes baixes, arbustos i alguns arbres. Quan augmenten les precipitacions, el clima canvia a un de més humit, com podria ser els climes C (Taula 1), per tant, els climes semiàrids d'estepa (BS), marquen una transició entre els climes desèrtics (BW) i els climes temperats humits (C) (Ahrens, 2009). Això és el que es mostra en la Figura 5, on els territoris en groc indiquen climes d'estepa freds i els territoris en taronja climes d'estepa càlida.

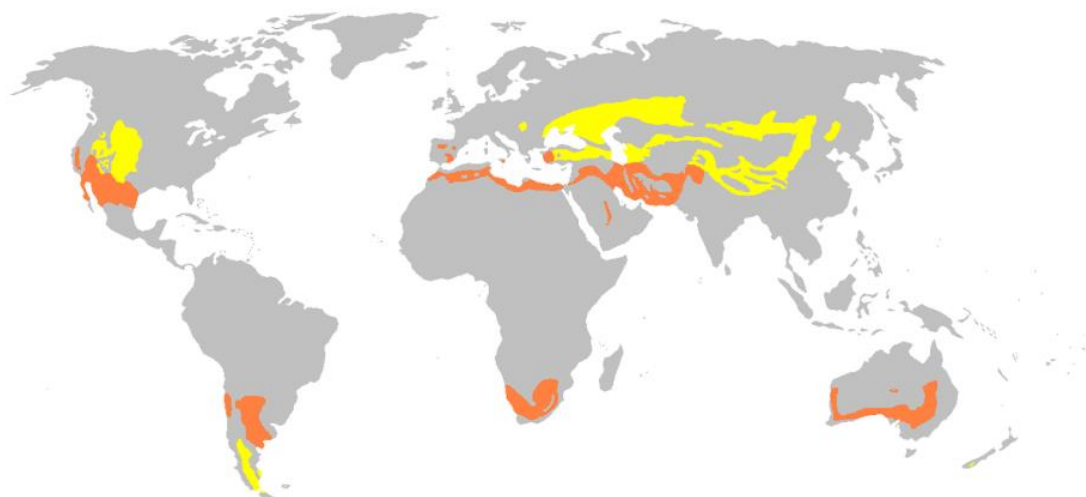


Figura 5: Mapa on es localitza el clima d'estepa. Font: Landsberg et al., 1962

2. OBJECTIVES

This paper has one principal objective, which is to identify the replacement of the mediterranean climate (Cs) by the semiarid-hot climate (BS), within the context of the current climate change.

In addition, it has some specific objectives, such as:

- To describe changes in temperature and precipitation regimes in the different locations that hold a Mediterranean climate in the period of 1960-2020.
- To analyze projections of the temperature and precipitation of the next few decades in the different locations that hold a Mediterranean climate.

The objectives are related to the main hypothesis of the study, which proposes that the Mediterranean climate is being replaced by a steppe climate as a result of global warming and subsequent climate change.

3. METODOLOGIA

Per la realització dels climogrames, s'han triat unes ciutats específiques perquè representin el clima mediterrani. Aquestes ciutats són de zones diferents on es pot trobar el clima Cs. S'han agafat dades del període 1961 - 1990 i del 1991 – 2020, per a poder

comparar-los. Les ciutats seleccionades de la zona d'Europa són Barcelona, A Coruña i Lisboa. Les zones d'on s'han obtingut dades a Austràlia han sigut Carnamah, Cape Naturaliste i Adelaide airport. Els llocs triats per a la zona d'Estats Units són San Francisco, Eureka àrea i Potter Valley. Finalment per a la zona de Sud-àfrica s'ha agafat tota la regió del cap Occidental. Totes aquestes ciutats i regions s'han triat perquè ha estat possible accedir a dades climàtiques. Precisament, per a la zona de clima Mediterrani de Sud-amèrica, no s'han trobat dades, i per això no hi ha cap localització d'aquella regió.

Per mostrar la ubicació de les ciutats seleccionades d'una forma senzilla, s'han realitzat quatre mapes de les diferents zones. Per fer aquests mapes (Figures 6-9) s'ha utilitzat el software de lliure accés QGIS. S'ha escollit la projecció cartogràfica mundial WGS84.

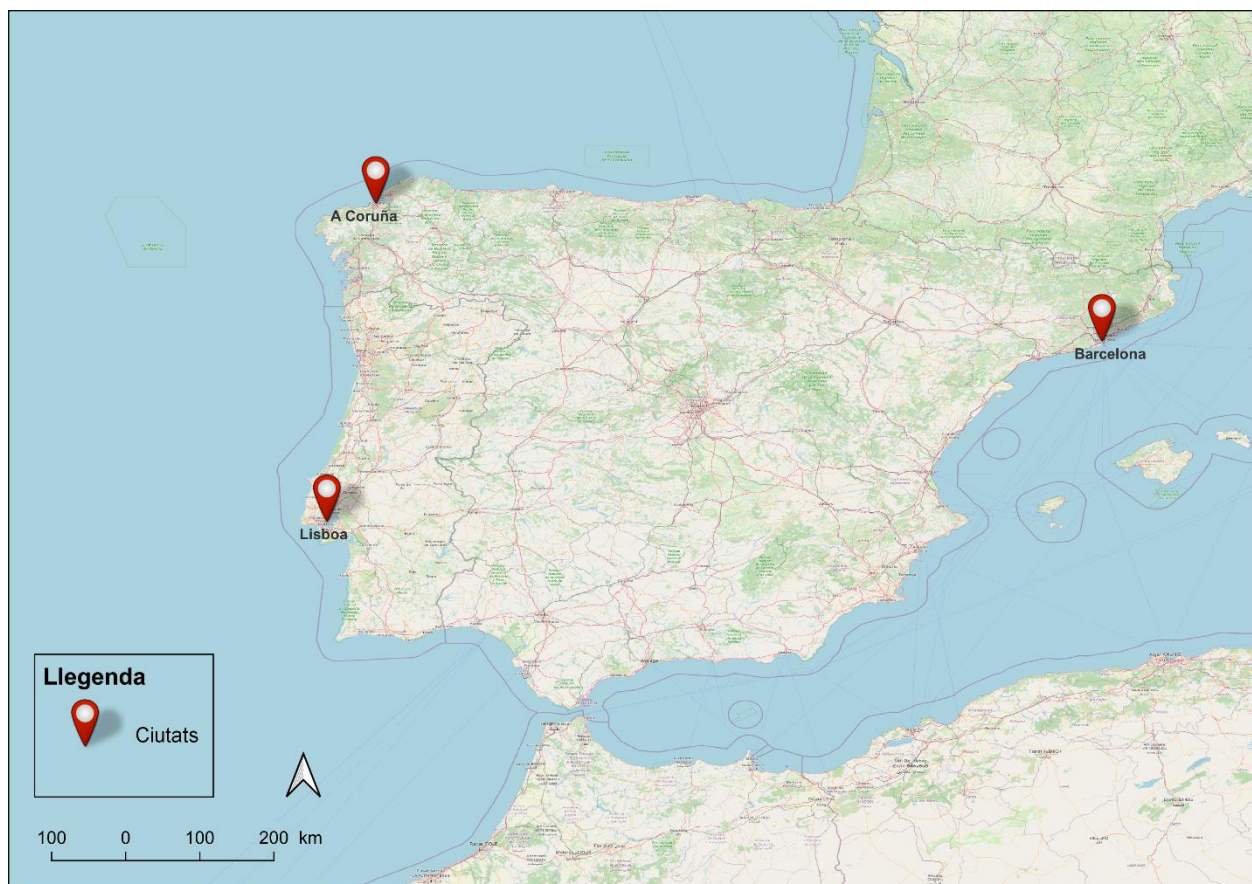


Figura 6: Ubicació de les ciutats d'Europa. Elaboració pròpia



Figura 7: Ubicació de les ciutats d'Estats Units. Elaboració pròpia.



Figura 8: Ubicació de les ciutats d'Austràlia. Elaboració pròpia.

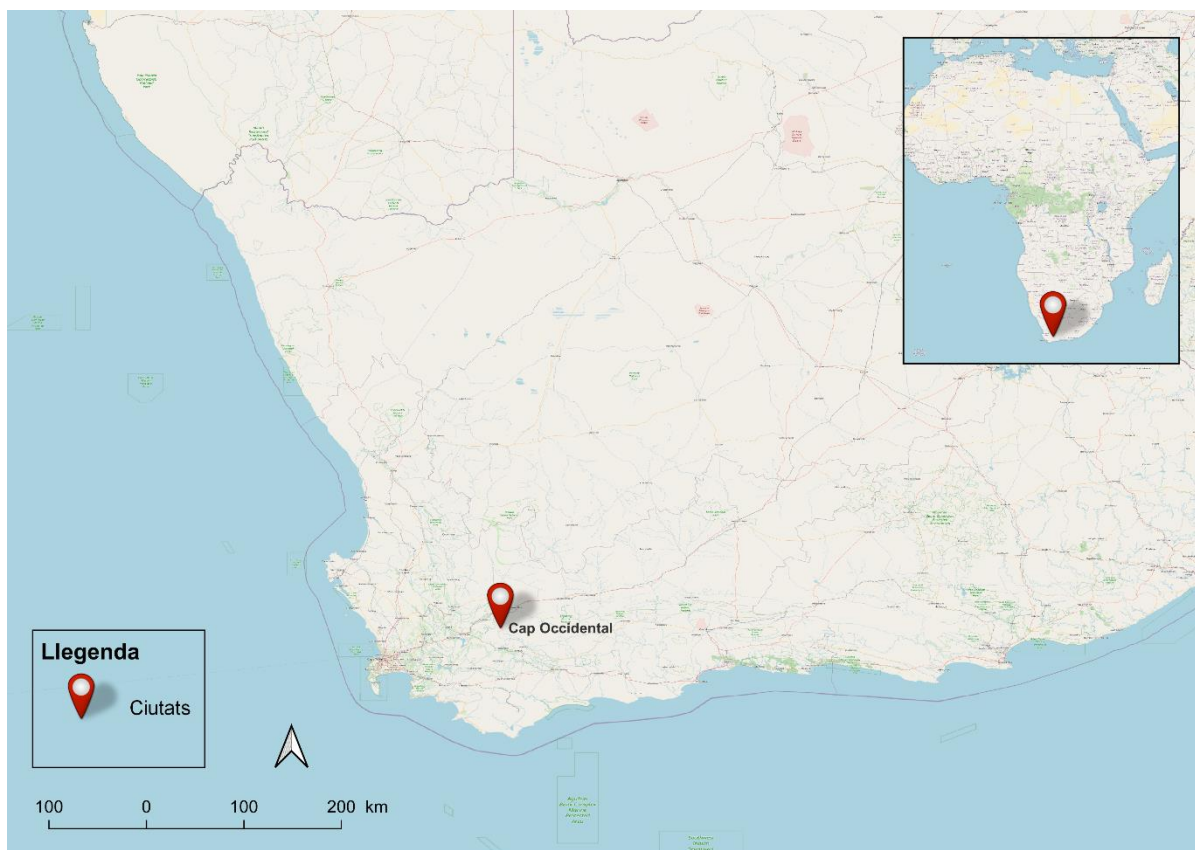


Figura 9: Ubicació de la zona de Sud-àfrica. Elaboració pròpia.

Aquestes ciutats han sigut estudiades perquè eren les que tenien més dades de temperatura i precipitació disponibles públicament. Per a obtenir les dades de les ciutats que es troben a Europa s'ha utilitzat la base de dades d'ECAD "European Climate Assessment and Dataset" (<https://www.ecad.eu/>). El registre de dades emmagatzemades en aquesta base és limitat, per tant, no s'ha pogut obtenir informació de gaires estacions meteorològiques que es troben en un clima mediterrani a Europa. Hi havia moltes ciutats amb períodes de diversos anys sense dades, o les dades es començaven a registrar a partir de 2000 o anys posteriors al 1961.

Per obtenir dades de la part d'Austràlia amb clima mediterrani, s'ha utilitzat la pàgina nacional del país, Australian Government, Bureau of Meteorology (Climate Data Online 2024. <https://reg.bom.gov.au/climate/data/index.shtml?bookmark=136>). En aquest cas hi havia molta més varietat d'estacions meteorològiques amb dades aptes per a fer aquest treball. Però la part de clima mediterrani del país, a la zona oest d'Austràlia, està molt menys poblada, per tant, hi ha un menor nombre d'estacions que a la zona est, fet que implica que també hi ha hagut certa dificultat en trobar dades.

Pel que fa a les dades del clima mediterrani que es troba a Amèrica del Nord, s'han obtingut de la pàgina web de clima i meteorologia proporcionada pel govern americà (Climate <https://doi.org/10.1002/wcc.701>). Aquesta pàgina compta amb una gran varietat de registres per a molts punts diferents de tot el país i amb moltes variables diferents. Per tant, podem dir que els Estats Units és el país que té més dades obertes al públic respecte a meteorologia i climatologia dels que s'han estudiat en la realització d'aquest treball.

Les dades de Sud-àfrica s'han extret de la pàgina de Climate Change Knowledge, (Current Climate. Climatology. 2021) aquest portal genera les estadístiques per regions. El país de Sud-àfrica està dividit en 9 regions, la que té clima mediterrani és la zona del Cap occidental. Les dades es presenten ja separades pels períodes utilitzats.

Pel que fa als períodes seleccionats, s'han triat els períodes climàtics internacionals, de 30 anys per a facilitar la comprensió dels climogrames i per a l'obtenció de dades, ja que moltes pàgines de dades tenen la informació separada en aquests períodes.

Per la realització dels climogrames s'han tractat les dades utilitzant el programa d'Excel. S'han analitzat els registres de precipitació i de temperatures mitjanes en els diferents períodes i per les diferents localitats. Concretament, tal i com demana la confecció dels climogrames i la classificació de Köppen, s'han determinat les mitjanes mensuals de temperatura i de precipitació total mensual.

Pel que fa a les dades extretes d'ECAD, que s'han aconseguit en base diària, s'ha calculat el registre de precipitació fent un sumatori de tots els dies de cada mes de l'any i després s'ha fet la mitjana dels mesos per als diferents anys de cada període.

Per a calcular la temperatura s'ha fet una mitjana de les temperatures diàries per als diferents mesos de cada any, i finalment s'ha fet la mitjana de cada mes entre tots els anys d'un període.

$$T \text{ mitjana mensual} = \frac{\sum \left[\frac{\sum T \text{ diàries}}{30^*} \right]}{30} \quad (\text{eq 1})$$

$$P \text{ mitjana mensual} = \frac{\sum [P \text{ diàries}]}{30} \quad (\text{eq 2})$$

*És posa 30 però, depèn dels dies que tingui cada mes, pot variar entre 28, 29, 30 i 31.

En realitzar els climogrames de la zona d' Austràlia, les dades de temperatura i precipitació ja es trobaven agrupades per mesos, per tant, a diferència de les dades d'Europa, només s'ha hagut de fer una mitjana per als períodes seleccionats.

Ara bé, la base de dades proporciona temperatures màximes i mínimes, a conseqüència d'això s'ha hagut de calcular la mitjana mensual com a mitjana de la màxima i la mínima.

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{màxima mitjana mensual}} &= \frac{\sum T_{\text{max mitjanes de cada mes}}}{30} \\ T_{\text{mínima mitjana mensual}} &= \frac{\sum T_{\text{min mitjanes de cada mes}}}{30} \end{aligned} \right\} T = \frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2} \quad (\text{eq 3})$$

$$P_{\text{mitjana mensual}} = \frac{\sum P_{\text{mitjana de cada mes}}}{30} \quad (\text{eq 4})$$

En el cas dels Estats Units, les dades estaven agrupades per mesos i per períodes internacionals, per tant, només s'ha hagut de fer les mitjanes de temperatures màximes i temperatures mínimes. Ara bé, aquí un petit inconvenient, és que les dades es trobaven en les unitats que s'utilitzen a Amèrica. La precipitació estava en polzades, i per tant, per a poder obtenir mil·límetres s'ha hagut de multiplicar per 25,4. Les temperatures estaven en graus Fahrenheit, per tant, s'ha aplicat la conversió: restar 32 a aquest graus i després multiplicar per 5, i dividir entre 9.

$$T^{\circ C} = \frac{(T^{\circ F} - 32) * 5}{9} \quad (\text{eq 5})$$

$$\text{Precipitació (mm)} = \text{precipitació polzades} * 25,4 \quad (\text{eq 6})$$

Respecte a la realització de les projeccions de futur, s'han realitzat només per a les dues ciutats d'Espanya incloses en l'estudi, ja que les dades de les projeccions de CORDEX són difícils d'aconseguir, i venen en formats que no són fàcils de treballar, i pel cas d'Espanya hi ha una plataforma oberta que es diu AdapteCCa.es (Visor de Escenarios de Cambio Climático, 2024) on mitjançant un visor de diferents escenaris de canvi climàtic és relativament senzill obtenir dades per un lloc concret en format Excel.

En relació amb les projeccions de futur, cal dir que el Grup d'Experts Internacional en Canvi Climàtic (l'IPCC) van utilitzar, per al seu cinquè informe d'avaluació, uns escenaris d'evolució estimada de l'emissió i concentració de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera durant el segle XXI, que es van anomenar escenaris RCP (Representative

Concentration Pathways). Es van proposar 4 escenaris diferents, RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 i RCP8.5. El primer espera una disminució d'emissions de CO₂ fins a 400 ppm per a final de segle. Els RCP4.5 i RCP6.0 fan referència a una estabilització de les emissions de CO₂ des de mitjans de segle, i finalment l'escenari RCP8.5 és el que correspon a unes emissions més elevades en poc temps.

Pel que fa a AdapteCCa.es, s'ha d'escollir entre dos d'aquests escenaris, el RCP4.5 o el RCP8.5. Per aquest treball s'ha escollit l'escenari RCP 8.5 per a poder veure més clarament la diferència entre els anteriors períodes. Tot seguit s'ha d'escollir un model d'entre 46 proposats, cada model varia segons les descripcions aproximades dels processos físics, les dades inicials, els mètodes de càlcul, etc. S'ha escollit la mitjana de tots aquests models com a la projecció futura més representativa.

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

Els resultats s'han dividit en dues parts. En el primer apartat es donaran els resultats obtinguts dels dos períodes analitzats (1961-1990 i 1991-2020) per a les diferents ciutats estudiades. Per a cada ciutat es farà la comparació tant de temperatures com de precipitacions i s'observarà si es compleix la hipòtesi principal del projecte, és a dir, si el clima mediterrani està sent substituït per un clima àrid.

En el segon apartat dels resultats, es mostraran els gràfics fets a partir de les projeccions futures i s'acabarà d'explicar si la substitució de clima està passant en l'actualitat, si passarà en un futur, o si, per contra, el clima mediterrani no està canviant.

4.1 PERÍODES PASSATS

4.1.1 CIUTATS DE LA CONCA DEL MEDITERRANI

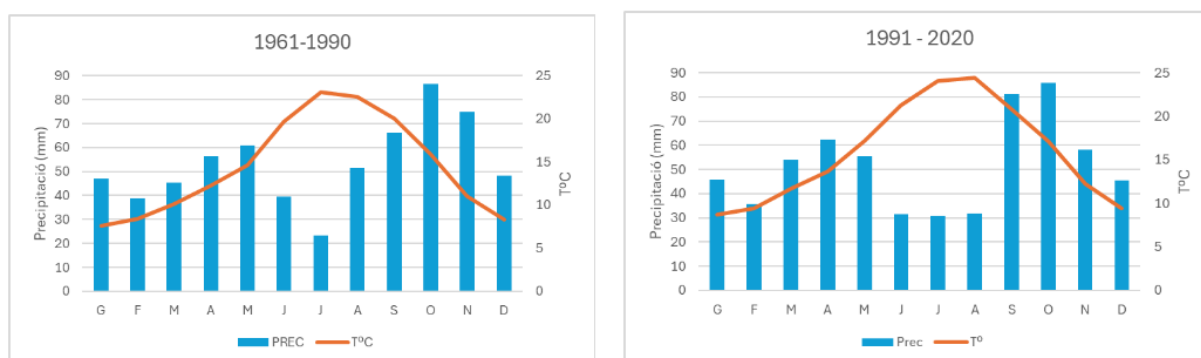


Figura 10: Climogrames de la ciutat de Barcelona pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

BARCELONA

Per als climogrames realitzats de la ciutat de Barcelona (Figura 10), podem veure com durant els dos períodes es segueix l'estructura del clima mediterrani, amb l'època de pluges durant la tardor, sent el mes més humit l'octubre, amb 86,4 mm el primer període i 85,7 mm el segon. Com correspon, l'època seca és l'estiu. Al període 1961-1990, podem veure que la temperatura és una mica més baixa en tots els mesos ($T_{ann} = 14,5^{\circ}\text{C}$ en primer període, $15,8^{\circ}\text{C}$ en segon període). I pel que fa a les precipitacions, s'observa que els dos períodes es mantenen bastant iguals, però el període 1961-1990 té una precipitació mínima inferior, i segueix un mínim més marcat al juliol, en canvi, pel que fa al 1991-2020, les precipitacions dels mesos secs són gairebé iguals (30,6 - 30,7 - 31,7 mm per juny - juliol - agost respectivament).

S'ha comprovat també que aquest climograma no compleixi les característiques de clima àrid. S'han agafat les dades de la precipitació anual, que en aquest cas és 638 mm per al període del 1961 al 1990, i com que ni les precipitacions d'hivern ni d'estiu són superiors a $2/3$ de P_{ann} , s'ha agafat la mesura de $P_{th} = 2 \cdot T_{ann} + 14$. La P_{ann} és molt superior a $10P_{th}$: $10P_{th} = 429 < 638 \text{ mm} = P_{ann}$, per tant es pot afirmar que no és un clima àrid.

Pel que fa al període del 1991 al 2020, la P_{ann} és de 619 mm, i per tant, $2/3$ d'aquesta precipitació anual és 412 mm, que és superior tant a les precipitacions d'estiu com a les d'hivern. Aleshores, utilitzarem la fórmula de $P_{th} = 2 \cdot T_{ann} + 14$, i comprovem si la P_{ann} és inferior a $10P_{th}$. Els valors són $10P_{th} = 457 < 619 \text{ mm} = P_{ann}$.

Així, es pot afirmar que el clima de Barcelona per als períodes seleccionats no forma part del clima àrid. Però veiem una aproximació cap a aquest clima en canviar de període, ja que al primer període hi ha una diferència més gran entre la P_{ann} i el $10P_{th}$ ($P_{ann} = 14,9 P_{th}$), que s'escurça pel període del 1991 al 2020 ($P_{ann} = 13,5 P_{th}$).

A CORUÑA

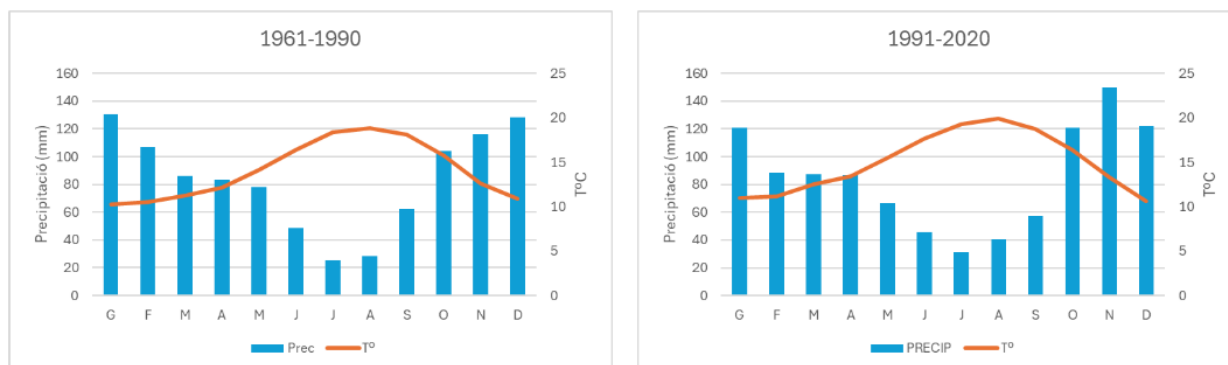


Figura 11: Climogrames de la ciutat de Coruña pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

Observant els gràfics de la ciutat de A Coruña (Figura 11), situada al nord-oest d'Espanya, podem veure un canvi en els diferents períodes, tant en temperatura com en precipitació.

Pel que fa als anys 1961-1990, les precipitacions són majors els primers mesos de l'any, però a partir del juny, les precipitacions del segon període són superiors, tenen un màxim de precipitació major els anys 1991-2020, amb 149,9 mm el mes de novembre.

Fixant-nos en les temperatures, es mantenen bastant iguals, però s'observa un augment durant els mesos d'estiu (juny, juliol i agost) en el període 1991-2020, arribant a un màxim de 19,9 °C comparat amb el pic de 18,8°C del període 1961-1990. La temperatura mitjana anual ha pujat, com s'esperava: $T_{ann} = 14,1^{\circ}\text{C}$ i 15°C respectivament.

Per a comprovar que efectivament no es tracta de clima àrid, observem que P_{ann} per al període del 1961 al 1990 és 999 mm, com que les precipitacions d'hivern i les precipitacions d'estiu no superen $2/3$ de la P_{ann} , utilitzem la fórmula de $P_{th} = 2 * T_{ann} + 14$, que ens dona un $10P_{th}$ de 422. $10P_{th} = 422 < P_{ann} = 999$ mm, per tant es confirma que pel primer període el clima està lluny de ser àrid.

Observant les dades del període del 1991 al 2020, la P_{ann} és de 1017 mm, la precipitació d'estiu i d'hivern són inferiors a $2/3$ de la P_{ann} , per tant, utilitzem la mateixa fórmula que al període anterior. Resulta que $10P_{th} = 439 < P_{ann} 1017$ mm. Tant pel primer període, com pel segon, les dades obtingudes ens confirmen que el clima d'A Coruña no és un clima àrid, de fet és manté la diferència entre precipitació i evapotranspiració estimada.

LISBOA

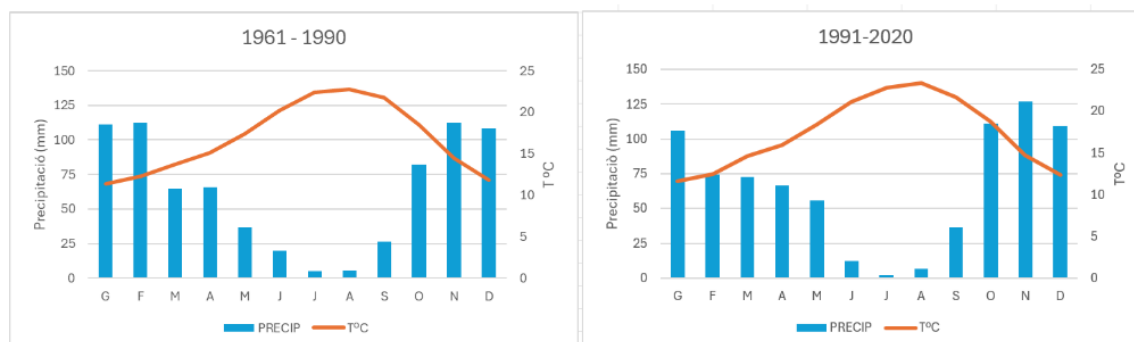


Figura 12: Climogrames de la ciutat de Lisboa pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

Observant els climogrames de la ciutat de Lisboa (Figura 12), situada a l'oest de la península Ibèrica, podem comprovar que tots dos períodes segueixen l'estructura més propera a la de clima mediterrani, amb el període de pluges a l'hivern, i una època seca a l'estiu.

Pel que fa a la temperatura s'observa un lleuger augment en el període de 1991-2020 ($T_{ann} = 16,8^{\circ}\text{C}$ i $17,3^{\circ}\text{C}$ pel primer període i el segon trentenni respectivament). Però observant les pluges, sí que hi ha una diferència més gran; el període dels anys 1961 al 1990 hi ha un registre superior de pluja per als dos primers mesos de l'any (gener i febrer) i, en canvi, per al període del 1991 al 2020 hi ha més precipitació registrada per a la resta de mesos de l'any (especialment al novembre, com a A Coruña).

El mes en què s'observa més diferència és el febrer, que en el primer període va precipitar 112 mm de mitjana, mentre que al segon període es té un registre de 75 mm de mitjana.

Per comprovar que no sigui un clima àrid s'ha calculat, per al període 1961 - 2020, $P_{ann} = 750$ mm. La precipitació d'hivern (332 mm) i la precipitació d'estiu (30 mm) són inferiors a $2/3$ de P_{ann} , per tant, $P_{th} = 2 \cdot T_{ann} + 14 = 47,7$ mm. Així, com que $10 P_{th} (477) < P_{ann} = 750$ mm, es pot afirmar que no és clima àrid.

Passa el mateix per al període del 1991 al 2020, la P_{ann} és de 781 mm i després de fer els mateixos càlculs que al primer període amb les dades corresponents, $10 P_{th}$ és de 486 mm, per tant $10 P_{th} < P_{ann}$, confirmant així que per a cap dels dos períodes de la ciutat de Lisboa hi ha clima àrid, i de fet la diferència és manté.

4.1.2 CIUTATS D'AUSTRÀLIA

CARNAMAH

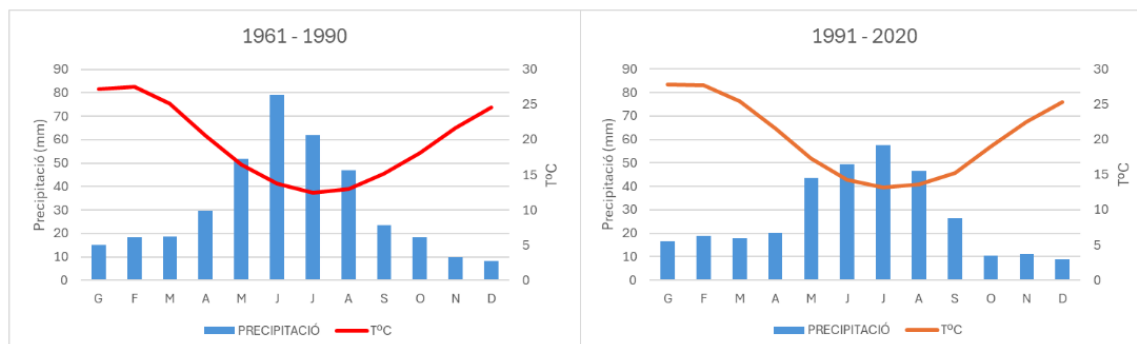


Figura 13: Climogrames de la ciutat de Carnamah pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

Per observar les gràfiques de la ciutat de Carnamah (Figura 13), situada al sud-oest d'Austràlia, hem de tenir en compte que és una població de clima mediterrani, situada a l'hemisferi sud del planeta Terra, i en conseqüència els mesos freds són de maig a agost, i els mesos calorosos són de novembre a febrer.

Podem afirmar que hi ha un gran canvi entre el període del 1961 - 1990 i 1991 - 2020, sobretot en precipitació. En els dos gràfics, el clima de la ciutat sembla correspondre's amb un clima mediterrani, ja que la temperatura mínima és superior a -3°C i inferior a 18°C , i les precipitacions de la època freda/humida, són tres vegades més grans que les de l'època calorosa/seca. Però tot i així, en el període del 1991-2020, les precipitacions han disminuït considerablement, fent que gairebé no arribi a complir-se el requisit que es tripliquin les pluges en l'època humida. Pel que fa a la temperatura podem veure un augment similar al trobat en d'altres llocs ($T_{\text{ann}} = 19,6^{\circ}\text{C}$ i $20,2^{\circ}\text{C}$ respectivament per al primer i segon període).

Per a poder comprovar que no es tracta de clima àrid, s'ha calculat la Pann per a cada període. Per al primer període es de 381 mm. Calculant el Pth, mitjançant la fórmula de $2 \cdot T_{\text{ann}} + 14$ perquè ni la precipitació d'hivern ni d'estiu superen $2/3$ de Pann, ha donat 53, per tant $10P_{\text{th}}$ és 533. Per tant segons els càlculs realitzats la Pann és inferior a $10P_{\text{th}}$, indicant així que el clima de Carnamah és àrid, encara que també compleix els requisits per al clima Mediterrani, com s'ha comentat abans (també compleix els altres dos requisits), la precipitació del mes més plujós (en període fred) és més de 3 vegades

superior a la precipitació més baixa del mes més sec, i la precipitació del més sec és inferior a 40 mm.

Per al període del 1991 – 2020, $P_{ann} = 327$ mm i $10P_{th} = 545$ mm, per tan segueix sent un clima àrid, ja que la $P_{ann} < 10P_{th}$, però es pot observar que per al primer període la diferència entre el $10P_{th}$ i la P_{ann} és de 151 mm mentre que per al segon període aquesta diferència és de 218 mm. Això indica que està desertificant-se cada cop més, per tant pot ser que d'aquí a uns anys ja no compleixi tan sols amb les característiques d'un clima d'estepa, sinó que es correspongui ja a un clima desèrtic.

CAPE NATURALISTE

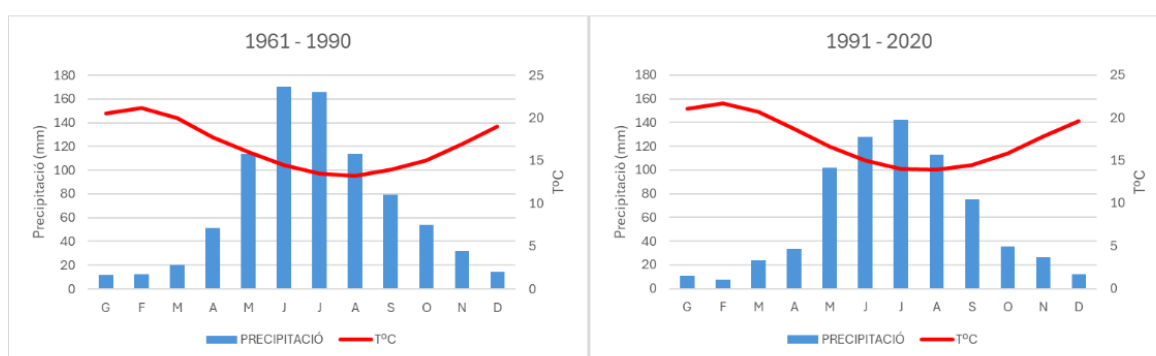


Figura 14: Climogrames de la zona de Cape Naturaliste pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

En la figura 8, podem observar els climogrames per a la zona del Cape Naturaliste, que és un cap, entrada de terra al mar, situat al sud-oest d'Austràlia. Els climogrames dels dos períodes diferents (1961-1990 i 1991-2020) són força iguals, els dos segueixen les característiques del clima mediterrani, amb la T del mes més fred entre -3°C i 18°C ($13,4$ i $13,9^{\circ}\text{C}$ per a cada període), la precipitació dels mesos càlids és inferior a la dels mesos freds, la precipitació del mes més plujós és 3 vegades superior a la precipitació més baixa del mes més sec, i la precipitació del més sec és inferior a 40 mm. La temperatura no canvia gaire entre els períodes, però sí que és manifesta l'escalfament global, ja que la T_{ann} del període 1991 – 2020 és de $0,6^{\circ}\text{C}$, més alta que la T_{ann} del primer període.

La gran diferència entre els dos climogrames són les dades de precipitació, ja que per al període del 1961 – 1990 les precipitacions són molt superiors, sobretot en els mesos freds de juny i juliol, els mesos d'abril, maig i octubre també hi ha diferències però no

tan marcades. Pel que fa a la resta de mesos, la mitjana de precipitacions es manté bastant igual entre els dos períodes.

Al comprovar que el clima de Cape Naturaliste no sigui clima àrid, per al primer període s'ha obtingut una $P_{ann} = 837$ mm. La precipitació d'hivern i d'estiu no superen els $2/3$ de la P_{ann} , per tant s'utilitza la fórmula de $P_{th} = 2 * T_{ann} + 14$, obtenint $P_{th} = 48$, així que $10 P_{th} = 478$ mm, que és inferior a la P_{ann} . Per tant, s'observa que per a Carnamah durant el període del 1961 al 1990 el clima no és pot considerar àrid.

Pel que fa al període del 1991 - 2020, seguint els mateixos passos que per al primer període, ja que les precipitacions d'hivern i d'estiu no superen $2/3$ de la P_{ann} , s'ha calculat, que $P_{ann} = 710$ mm < $10P_{th} = 489$ mm, i per tant es pot observar que la P_{ann} està més a prop de la dada de $10P_{th}$ que per al primer període, per tant podem dir que el clima de Cape Naturaliste s'està apropant cada cop més a ser considerat clima àrid.

ADELAIDE AIRPORT

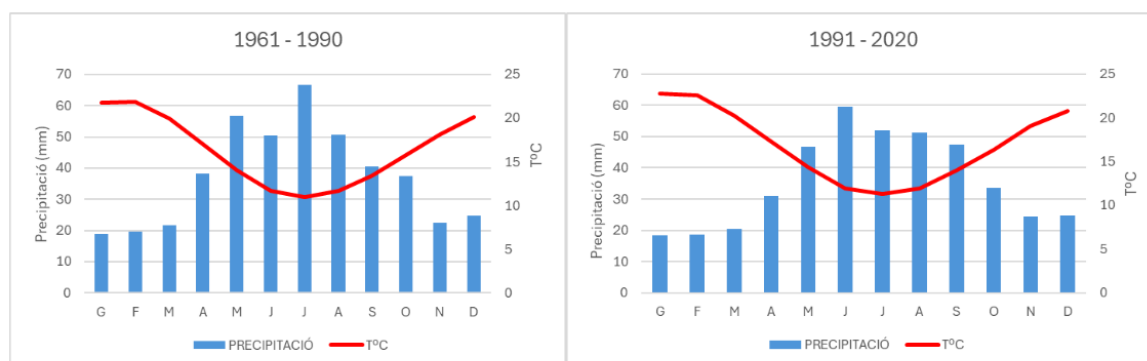


Figura 15: Climogrames de la zona de Adelaide aeroport pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

Les dades per a realitzar els climogrames de la figura 15, són de l'aeroport de la ciutat d'Adelaide, a Austràlia, que està situada al sud-est del país. Són les úniques dades d'aquesta zona del país, ja que la majoria de clima mediterrani d'Austràlia es situa al sud-oest.

Es pot observar que per als dos climogrames, pel que fa a la temperatura, es compleixen els requisits de clima mediterrani, és a dir que la temperatura dels mesos més freds està entre -3°C i 18°C . Sigui com sigui, la temperatura mitjana anual augmenta en el segon període respecte al primer ($16,4^{\circ}\text{C}$ i $16,9^{\circ}\text{C}$).

Però per a la precipitació, a simple vista, sembla que no compleixi la característica del clima mediterrani, que diu que la precipitació màxima ha de ser tres cops la precipitació mínima. De tota manera, si observem les dades, la precipitació màxima (el mes mes plujós) del primer període es de 66,6 mm, per tant la mínima hauria de ser com a mínim de 22,2 i les dades registrades ens donen un precipitació mínima de 18,8 mm, per tant sí que compleix els requisits. Pel que fa al segon període, la precipitació màxima és de 59,6 mm, fet que indica que la precipitació mínima hauria de ser de 19,8 mm, i la mínima registrada és de 18,2 mm, així que per 1,6 mm compleix estrictament les característiques del clima mediterrani.

Els mesos més diferents entre períodes pel que fa a la precipitació són abril, maig, juny i juliol, que tots excepte el juny hi ha més precipitació en el període 1961-1990 que el 1991-2020.

Al realitzar els càlculs per a comprovar que el clima d'Adelaide no sigui clima àrid, s'ha calculat la Pann, que per al període del 1961 al 1990, és de 447 mm. Com que les precipitacions d'estiu i d'hivern no superen 2/3 de la Pann, s'ha utilitzat la fórmula de $2 \cdot T_{ann} + 14$ per a calcular el Pth, que és de 47. Per a poder comparar la Pann s'ha de multiplicar el Pth per 10 que dona 467, per tant, podem afirmar que el clima de Adelaide per al primer període ja és clima àrid: $447,5 \text{ mm} = P_{ann} > 467 = 10P_{th}$, encara que sigui per molt poc.

Per al període del 1991 - 2020 Pann és de 428 mm, i per tant podem observar que efectivament ha plogut menys que en el primer període. Després de fer els mateixos càlculs que al període primer, ja que ni les precipitacions d'hivern ni les d'estiu superen 2/3 de Pann, el 10Pth ha donat 478 mm. Per tant, s'ha reforçat el caràcter àrid del clima en la ciutat d'Adelaide, ja que ara la diferència $P_{ann} < 10P_{th}$ és molt més clara.

4.1.3 CIUTATS D'ESTATS UNITS

SAN FRANCISCO

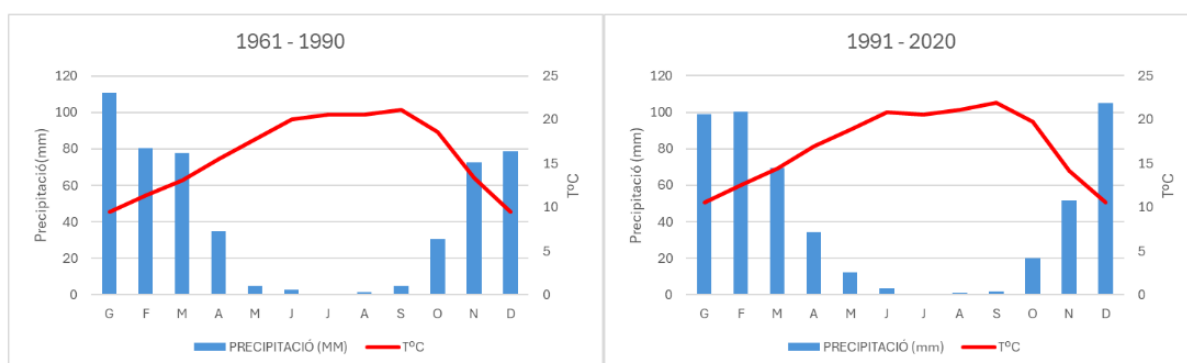


Figura 16: Climogrames de la zona de San Francisco pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

En els climogrames de la figura 16, per a la ciutat de San Francisco, situada a l'oest del país, podem observar que segueixen una estructura de clima mediterrani, on la temperatura, varia poc, però significativament cap a més càlida, entre els dos períodes: 15,9°C al primer i 16,9°C al segon, la precipitació, depenent del mes va variant de període respecte a major quantitat. Al gener, març, agost, setembre, octubre i novembre hi ha més precipitació en el període del 1961-1990. Febrer, maig i desembre hi ha més precipitació en el període del 1991-2020. I finalment, abril i juny és mantenen iguals per als dos períodes. Les diferències més grans però són les de febrer i desembre.

Al comprovar que les dades de la ciutat de San Francisco no fossin de clima àrid, s'han fet els càlculs per a obtenir el 10Pth. Primer s'ha calculat la Pann que per al primer període és de 500 mm, tot seguit s'ha comprovat que les precipitacions d'estiu i d'hivern no fossin superiors a 2/3 de Pann, i s'ha utilitzat la fórmula $2 \cdot T_{ann} + 14$, obtenint un 10Pth de 456 mm. Com que $10Pth < Pann$, es pot afirmar que el clima de la ciutat de San Francisco per al primer període estudiat no és clima àrid, però com a la ciutat d'Adelaide, està molt a prop de canviar de clima, ja que si puja una mica la T°C o plou menys, la zona passarà a considerar-se de clima diferent.

Per al segon període, la Pann és de 498 mm i el 10Pth és de 477 mm, per tant segueix sent clima mediterrani, però ara si que està al límit de considerar-se clima àrid, ja que la diferència per a aquest canvi de clima és de només 21 mm.

EUREKA AREA

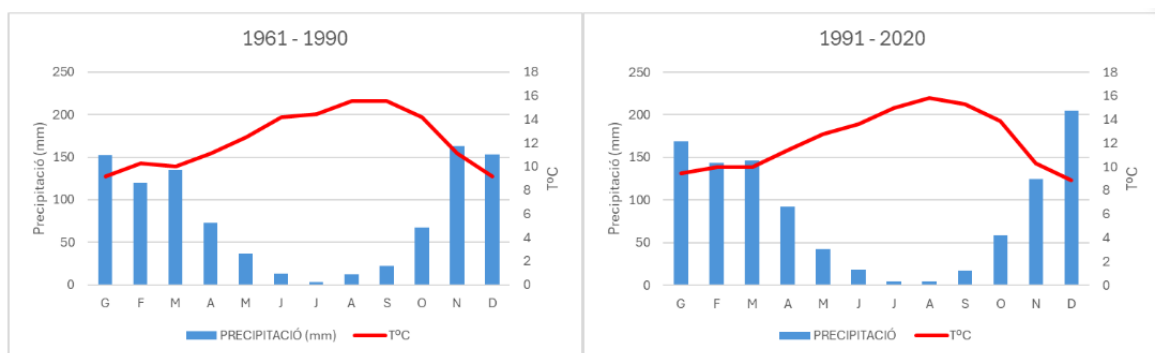


Figura 17: Climogrames de la zona de Eureka area pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

En la zona Eureka, que és una ciutat de Califòrnia dels Estats Units, situada una mica més al nord de San Francisco, s'han registrat dades de temperatura i de precipitació representades en els climogrames de la figura 17. Es pot observar que tots dos períodes segueixen una estructura mediterrània. Pel que fa a les temperatures es pot veure que per als dos períodes són força semblants, $T_{ann} = 12,3^{\circ}\text{C}$ per al primer període i $12,2^{\circ}\text{C}$ per al segon. I les precipitacions els mesos de gener, febrer, març, abril, maig, juny, juliol, agost, setembre, octubre i novembre són superiors en el període 1961-1990, i només en el més de desembre les precipitacions del segon període superen el primer. La diferència més significativa és la del més de desembre, ja que no només no segueix la tendència de minvar la precipitació per al segon període, sinó que hi ha una diferència de 51 mm, quan per la resta de mesos les diferències són al voltant de 10 mm.

Per a comprovar que el clima de la zona d'Eureka no és àrid s'ha calculat el 10Pth de la zona amb la fórmula $2 * T_{ann} + 14$ i després s'ha comparat amb la P_{ann} . Per al primer període la P_{ann} és de 953 mm i el 10Pth és de 385 mm, en aquest període la $P_{ann} > 10Pth$, per tant lluny de ser un clima àrid. Per al segon període, la P_{ann} és de 1024 mm i el 10Pth és de 384 mm, per tan es pot observar que han augmentat les pluges en el segon període i que la temperatura més o menys s'ha mantingut igual. Com que $10Pth < P_{ann}$, s'afirma que el clima d'Eureka, que ha canviat poc, es manté com a mediterrani.

POTTER VALLEY POWERHOUSE

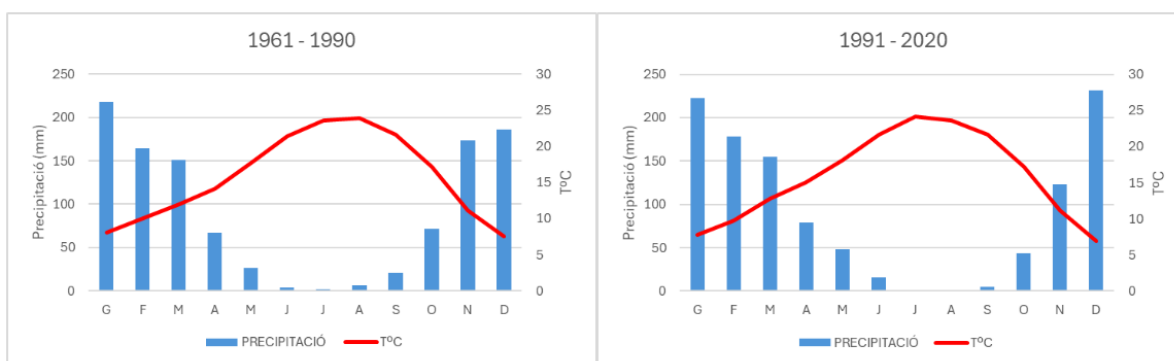


Figura 18: Climogrames de la zona de Potter Valley Powerhouse area pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

La vall de Potter, està situada a Califòrnia entre Eureka i San Francisco, és l'únic lloc d'on hem agafat dades de la part americana que no està a la costa, ja que la vall de Potter es troba a 91,6 km de la costa.

Observant els climogrames (figura 18), es pot deduir que els dos períodes segueixen un clima mediterrani, la temperatura varia poc entre el 1961-1990 i el 1991-2020 ($T_{ann} = 15,7^{\circ}\text{C}$ i $15,8^{\circ}\text{C}$ respectivament). I pel que fa a la precipitació, els mesos de gener fins a setembre, ambdós inclosos, hi ha més precipitació en el primer període, i la resta de mesos, octubre, novembre i desembre s'observa una pujada de precipitacions en el darrer període.

En la vall de Potter, la P_{ann} per al període del 1961 al 1990 és de 1090 mm, com que la precipitació d'hivern i d'estiu no supera $2/3$ de la precipitació anual, utilitzem la fórmula de $2 \cdot T_{ann} + 14$ per a calcular el P_{th} . Al comparar $10P_{th}$ (454 mm) i P_{ann} (1091 mm), s'observa que $10P_{th} < P_{ann}$, per tant es pot afirmar que per al primer període es compleix el clima mediterrani. Per al segon període la P_{ann} és de 1104 mm, i el $10P_{th}$ de 456 mm, per tant es manté clarament que $10P_{th} < P_{ann}$, indicant que no és clima àrid.

4.1.4 CIUTATS DE SUD-ÀFRICA

CAP OCCIDENTAL

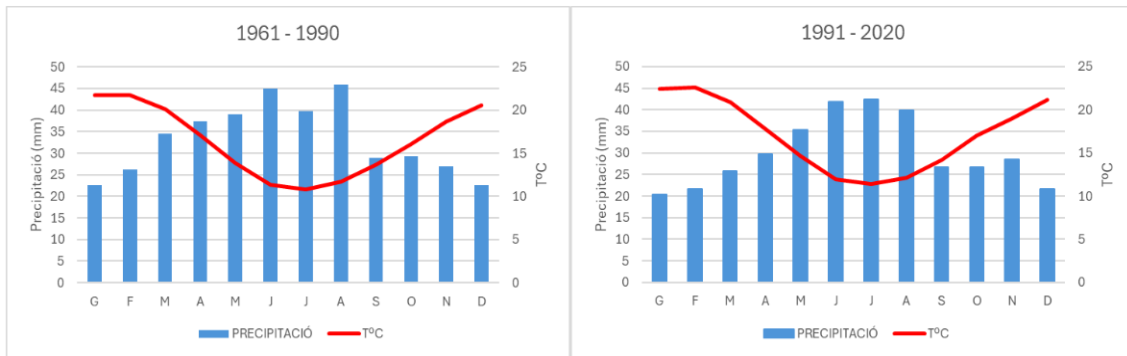


Figura 19: Climogrames del sud-oest de sudàfrica pels períodes 1961-1990 i 1991-2020. Elaboració pròpia

Pel que fa a les dades de Sudàfrica, s'ha observat tota la regió del cap occidental, que és la zona amb clima mediterrani, però els climogrames representats (figura 19) no compleixen amb totes les característiques del clima mediterrani, ja que encara que sí que la temperatura del mes més fred es troba entre -3°C i 18°C , la precipitació en els mesos càlids és inferior a la dels mesos freds i la precipitació del més sec és inferior a 40 mm, no compleix la quarta condició, ja que la precipitació del mes més plujós, no és més de 3 vegades superior a la precipitació més baixa del mes més sec. Això passa en els dos períodes, ja que no varien molt entre ells. Hi ha una disminució de pluges en tots els mesos del segon període respecte al primer, excepte per els mesos de juny i novembre, que les precipitacions són superiors en el període del 1991-2020. Pel que fa a la temperatura, segueix la mateixa estructura per els dos períodes, però per al segon període augmenta, com és d'esperar ($T_{\text{ann}} = 16,4^{\circ}\text{C}$ per al primer període i $17,1^{\circ}\text{C}$ per al segon).

Per comprovar que no es tracta d'un clima àrid, s'ha calculat la Pann i el 10Pth per a cada període. Per al període del 1961 – 1990, la Pann és de 398 mm, i el 10Pth és de 469 mm, per tant el clima del cap occidental de sud-àfrica ja és clima àrid. Pel que fa al segon període, la Pann es de 360 mm, i el 10Pth és de 482 mm, cosa que indica que per al segon període també es distingeix un clima àrid, a més a més hi ha una diferència entre la Pann i el 10Pth superior que per al primer període, indicant que cada cop el clima és més àrid.

4.2 PROJECCIONS FUTURES

BARCELONA

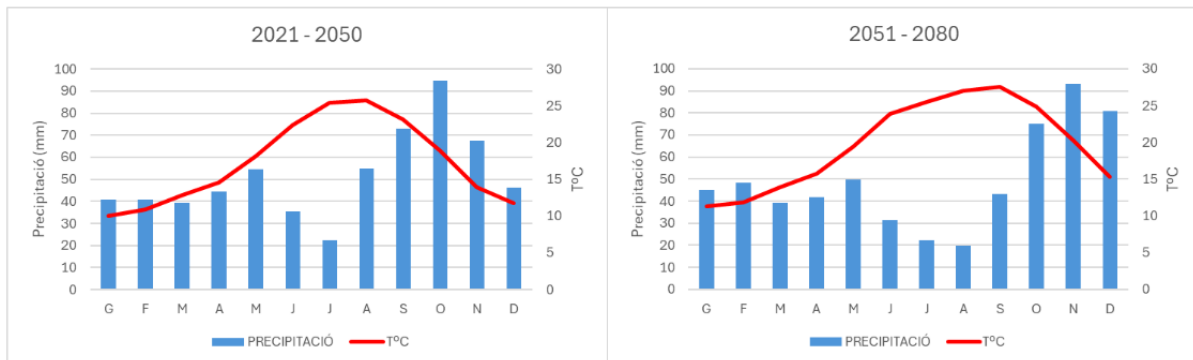


Figura 20: Climogrames de Barcelona pels períodes 2021-2050 i 2051-2080. Elaboració: pròpia

Per a la ciutat de Barcelona, en els períodes del 2021 – 2050 i 2051 – 2080, s’observen un seguit de diferències entre ells (i amb els períodes anteriors). La principal diferència és en la precipitació (figura 20). Per al primer període hi ha una major quantitat de mm per mes en general a tots els mesos excepte gener, febrer, novembre i desembre. Pel que fa a la temperatura hi ha un augment de temperatura per al segon període que fa que canviï la forma de la corba. Però tots dos períodes compleixen amb les diferents característiques del clima mediterrani.

Per acabar de comprovar que són climes mediterranis, és fan els càlculs matemàtics per assegurar que no es tracti d’un clima àrid, per tant per als dos períodes s’ha calculat la Pann i el 10Pth, com que per a cap període les precipitacions d’hivern i d’estiu superaven a 2/3 la precipitació anual, per a calcular el 10Pth s’ha utilitzat la fórmula $2 \cdot T_{ann} + 14$ i després s’ha multiplicat per 10.

Per al primer del 2021 al 2050 la Pann és de 613 mm i el 10Pth és de 486 mm, per tant com que $10Pth < Pann$ és clima mediterrani. Per al període del 2051 al 2080, la Pann és de 589 mm i el 10Pth és de 534 mm, així també és clima mediterrani, però ja amb una diferència molt petita (55 mm) entre les dues quantitats, i per tant poc no passa a ser un clima àrid.

A CORUÑA

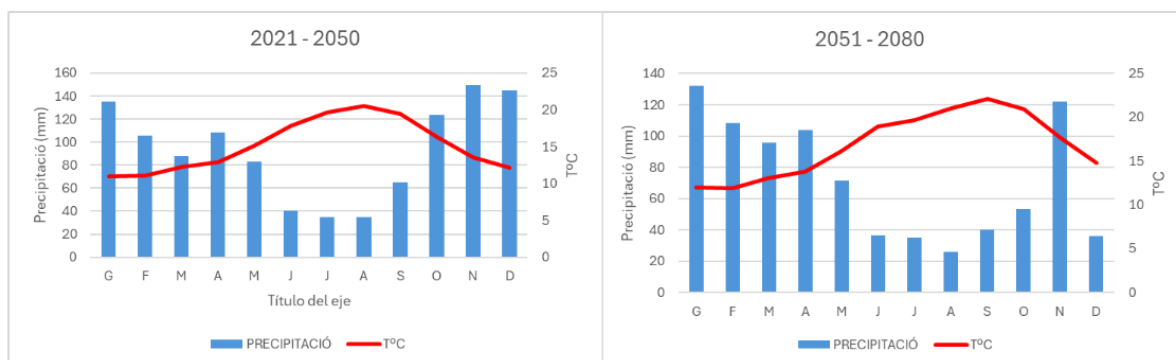


Figura 21: Climogrames de A Coruña pels períodes 2021-2050 i 2051-2080. Elaboració pròpia

Observant els climogrames de la ciutat de A Coruña per als períodes del 2021 al 2050 i del 2051 al 2080, es veu que segueixen una distribució pròpia de clima mediterrani, ja que compleixen totes les característiques d'aquest clima. Per al segon període s'observa una baixada de la precipitació en els mesos de setembre, octubre i novembre, però per als altres mesos té major precipitació que per al primer període. Respecte la temperatura és lleugerament superior per al segon període.

A la vista de la comprovació matemàtica del clima, s'ha calculat que la Pann per al període del 2021 al 2050 és de 1112 mm i el 10Pth és de 443 mm, per tant és confirma que és clima mediterrani. I per al període del 2051 al 2080 la Pann és de 860 mm i el 10Pth és de 477 mm, també entra dins els límits de clima mediterrani. S'observa que cada cop la distància de la Pann al 10Pth va disminuint, tendint lentament cap a un clima àrid (tot i que encara està prou lluny).

4.3 DISCUSSIÓ

Per a poder comprovar més fàcilment tots els resultats obtinguts, s'ha realitzat la taula 2, on es comparen totes les ciutats i zones estudiades per als diferents períodes, el 10Pth, la Tann, la Pann i si es tracta de clima mediterrani o àrid.

Ciutat/zona	Període	Pann (mm)	Tann (°C)	10Pth (mm)	Clima
Barcelona	1961 - 1990	638	14,5	429	Mediterrani
	1991 - 2020	619	15,8	457	Mediterrani

	2021 - 2050	613	17,3	486	Mediterrani
	2051 - 2080	589	19,7	534	Mediterrani
A Coruña	1961 - 1990	999	14,1	422	Mediterrani
	1991 - 2020	1017	15	439	Mediterrani
	2021 - 2050	1112	15,2	443	Mediterrani
	2051 - 2080	861	16,8	447	Mediterrani
Lisboa	1961 - 1990	750	16,8	477	Mediterrani
	1991 - 2020	781	17,3	486	Mediterrani
Carnamah	1961 - 1990	381	19,6	533	Àrid
	1991 - 2020	327	20,2	545	Àrid
Cape Naturaliste	1961 - 1990	837	16,8	478	Mediterrani
	1991 - 2020	710	17,4	489	Mediterrani
Adelaide	1961 - 1990	447	16,4	467	Àrid
	1991 - 2020	428	16,9	478	Àrid
San Francisco	1961 - 1990	500	15,9	456	Mediterrani
	1991 - 2020	498	16,9	477	Mediterrani
Eureka	1961 - 1990	953	12,3	385	Mediterrani
	1991 - 2020	1024	12,2	384	Mediterrani
Potter Valley	1961 - 1990	1090	15,7	454	Mediterrani
	1991 - 2020	1104	15,8	456	Mediterrani
Cap Occidental	1961 - 1990	398	16,4	469	Àrid

	1991 - 2020	360	17,1	482	Àrid
--	-------------	-----	------	-----	------

Taula 2: Resultats de totes les ciutats i zones estudiades. Elaboració pròpia.

Després d'haver realitzat els climogrames per a poder calcular si el clima mediterrani s'estava perdent en les zones estudiades, es pot comparar amb els estudis que hem utilitzat per obtenir informació. L'article titulat "Mediterranean Specific Climate Classification and Future Evolution Under RCP Scenarios" proposa una classificació alternativa a la de Köppen, utilitzades en aquest treball, en base a la hidrologia, per l'augment d'aridesa en les zones de clima mediterrani. Per fer el seu treball han utilitzat 144 estacions diferents utilitzant dades de 30 fins a 120 anys, per tant, els resultats de l'article són molt més extensos que els del present Treball de Final de Grau, ja que per a fer aquest treball s'han pres dades de 10 estacions en 60 anys. També s'han fet projeccions de futur amb el RCP 8.5 i 4.5, per als anys 2070 – 2100. Han calculat un índex d'aridesa per a poder observar més fàcilment els canvis, i aquest índex augmenta d'un 3 a un 20% en els períodes estudiats (Allam, *et al.* 2019). Per tant, es pot afirmar que, encara que ha una escala més petita, els resultats obtinguts en el nostre treball es veuen reflectits amb les conclusions de l'article publicat, ja que en aquest treball també es pot observar un augment de l'aridesa.

Com s'ha dit abans, en alguns llocs hi ha una evidència clara d'aquest augment d'aridesa, però en algunes localitats aquest canvi de clima no s'observa gaire, com és el cas de la costa atlàntica (A Coruña i Lisboa), ja que el clima mediterrani sembla mantenir-se inalterat, fins i tot la precipitació augmenta una mica en canviar el període, excepte en l'horitzó més llunyà (2051 - 2080). També passa això en dues ciutats de Califòrnia, on la temperatura gairebé no canvia, i la precipitació augmenta, fent així que es mantingui clarament el caràcter mediterrani.

5. CONCLUSIONS

In view of the results, current calculations and future modelling, it is possible to reach conclusions that are summarized next:

- Precipitation and temperature regimes vary for each region where Mediterranean climate cities are located. For the area of Europe, there is a difference between the two periods studied (1961-1990 and 1991-2020) where it is seen that the climate follows a trend towards desertification. But it is still with temperatures and precipitations that are sufficiently high to continue within the climate classification of Köppen of Mediterranean climate. The climate of Barcelona is much more prone to aridity than A Coruña and Lisbon climate.

- The results of the cities of Australia are more different from each other, as the city of Carnamah has been calculated to be arid climate for the first period, since annual precipitation is less than 10Pth, thus maintaining for the second period. Regarding the city of Adelaide, both periods are arid. As for Cape Naturaliste, the precipitation and temperature regime for both periods is Mediterranean, but as with the cities of Europe there is less difference to reach arid climate in the second period.
- For the North American area, San Francisco is about to make a change of climate towards arid climate, since the difference between Pann and 10Pth for the last period is very small. And for the South African area, as widespread data has had to be taken for the entire western Cape region, it may have been averaged with climate data that is not fully Mediterranean, which explains why this region of South Africa doesn't show Mediterranean climate, but the aridity increases in the second period.
- Looking at future projections for Barcelona and A Coruña, it can be seen that, especially in Barcelona, Pann and 10Pth are almost the same, indicating that it is on the verge of becoming a location with an arid climate.

Although a very significant difference has not been observed between the periods of 1961-1990 and 1991-2020, in relation to the precipitation and temperature regime, it is considered that different variables could be further studied, such as evapotranspiration or humidity, to obtain conclusive results on the hypothesis raised, although with the data obtained it can be concluded that although the main hypothesis of the work is not strictly fulfilled, we can affirm that there is a general increase in aridity within the Mediterranean climates.

It is considered that following the methodology proposed in this final degree project it is possible to obtain graphic products, which highlight the reality of climate change and its relationship with the progressive loss of the Mediterranean climate.

On the other hand, in the global territorial context, climate science must be a science that is valued, to lead research on climate change. Modelling that allows the control and monitoring of the cities that are set as an example in the present Final Degree Project, as well as the rest areas that are not been included in this paper, to propose measures for mitigation and prevention to the risks associated with climate change.

Finally, it can be said that working with data not structured in international periods, is not easy, because the volumes of information increase if they are not classified and, since the volume of data to be treated increases and sometimes years of study are skipped.

BIBLIOGRAFIA

- Africa, Senegal, Dakar. *Climate Data*. Recuperat 3 de març de 2024, de <https://es.climate-data.org/africa/senegal/dakar/dakar-521/>
- Ahrens, D.C. (2009). *Meteorology Today, an introduction to weather, climate, and the environment*. 9, 468 - 499.
- Allam, A., Moussa, R., Najem, W., and Bocquillon, C.(2019): Mediterranean Specific Climate Classification and Future Evolution Under RCP Scenarios, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* <https://doi.org/10.5194/hess-2019-381>
- Climate*. (s. d.). National Weather Service. National Oceanic And Atmospheric Administration. Recuperat 5 de maig de 2024, de <https://www.weather.gov/wrh/climate>
- Climate data online*. (2024). Australian Government Bureau Of Meteorology. Recuperat 16 d'abril de 2024, de <https://req.bom.gov.au/climate/data/index.shtml?bookmark=136>
- Cui, D., Liang, S., i Wang, D. (2021). Observed and projected changes in global climate zones based on Köppen climate Classification. *WIREs Climate Change*, 12 (3). <https://doi.org/10.1002/wcc.701>
- Current Climate. Climatology*. (2021). Climate Change Knowledge Portal. Recuperat 20 de juny de 2024, de <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/south-africa/climate-data-historical#watershed-map>
- European Climate Assessment and Dataset*. (s. d.). ECAD. Recuperat 19 de gener de 2024, de <https://www.ecad.eu/>
- Fernández, T. i Tamaro, E., (2004). Biografia de Wladimir Köppen. *Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea*. Recuperat abril de 2024 <https://www.biografiasyvidas.com/biografia/k/koppen.htm>
- Gallardo, C., Gil, V., Hagel, E., Tejeda, C., i De Castro, M. (2012). Assessment of climate change in Europe from an ensemble of regional climate models by the use of Köppen–Trewartha classification. *International Journal Of Climatology*, 33 (9), 2157-2166. <https://doi.org/10.1002/joc.3580>
- García, J. (10 novembre de 2018). Guía para el comentario de climogramas. *GEOGRAFÍA DE ESPAÑA 2018-2019*. Recuperat 1 de març de 2024, de <https://geografianuevaspoblaciones.blogspot.com/2018/11/quia-para-el-comentario-de-climogramas.html>
- Gómez, J. L., & Gómez, A. L. (1979). El clima húmedo del norte de Cataluña según la clasificación de Köppen. *Acta geológica hispánica*. 514-523.

- IUCN CEM Mediterranean Type Ecosystems Specialist Group. IUCN.
<https://www.iucn.org/our-union/commissions/group/iucn-cem-mediterranean-type-ecosystems-specialist-group>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., i Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15 (3) 259-263. https://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/40083/file/metz_Vol_15_No_3_p259263_World_Map_of_the_Koppen_Geiger_climate_classification_updated_55034.pdf
- Landsberg, H. E., Lippmann, H., Paffen, K. H., & Troll, C. (1963). *World Maps of Climatology*. Heidelberger akademie der wissenschaften.
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., & Boscolo, R. (2006). *Mediterranean climate variability*. Elsevier.
https://books.google.es/books?hl=ca&lr=&id=JD8CqjuA4SAC&oi=fnd&pg=PP1&dq=mediterranean+climate+graph&ots=0m4FMOmHlp&sig=ieH9YYEgvs0KIJBcrb5HA1Xv_MQ#v=onepage&q=mediterranean%20climate%20graph&f=false
- Öztürk, T., Ceber, Z. P., Türkeş, M., i Kurnaz, M. L. (2015). Projections of climate change in the Mediterranean basin by using downscaled global climate model outputs. *International Journal of Climatology*, 35 (14), 4276-4292.
https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/joc.4285?saml_referrer
- PereMeteo (28 de setembre de 2023). *El Clima Mediterrani | Principals característiques i tipus*. <https://peremeteo.com/clima-mediterrani/>
- Short, F. T., i Neckles, H. A. (1999). The effects of global climate change on seagrasses. *Aquatic Botany*, 63 (3-4), 169-196.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030437709800117X#BIB77>
- Visor de Escenarios de Cambio Climático. (06/2024). Adaptecca.es. Recuperat 11 de juny de 2024, de https://escenarios.adaptecca.es/#&model=EURO-CORDEX-EQM.average&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=year&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE