

**Títol del treball:**

# Fenòmens meteorològics extrems a la Mediterrània Occidental en un context de canvi climàtic

---

Estudiant: Biel Cardona Gilabert

Grau en Ciències Ambientals

Correu electrònic: [cardonagilabert@gmail.com](mailto:cardonagilabert@gmail.com)

Tutor: Josep Calbó Angrill

Cotutor\*:

Empresa / institució: Universitat de Girona

Vistiplau tutor (i cotutor\*):

Nom del tutor: Josep Calbó Angrill

Nom del cotutor\*:

Empresa / institució: Universitat de Girona

Correu(s) electrònic(s): [josep.calbo@udg.edu](mailto:josep.calbo@udg.edu)

\*si hi ha un cotutor assignat

## Resum

Aquest treball és una revisió general de quatre documents científics sobre el canvi climàtic i té per finalitat determinar quins poden ésser els fenòmens meteorològics extrems que poden veure's accentuats a causa del canvi climàtic a la Mediterrània Occidental i, en especial, a Catalunya.

Per tal de determinar-ho, a més de la revisió bibliogràfica, s'han analitzat els comportaments d'alguns indicadors de fenòmens meteorològics extrems a partir de dades de projeccions climàtiques d'alta resolució, realitzades pel projecte CORDEX i extretes de la plataforma AdapteCCa, a partir de les quals s'han confeccionat els corresponents gràfics d'evolució temporal, s'han comparat dues trajectòries de concentració representatives de les emissions de gasos d'efecte hivernacle entre si (RCP 4.5 i RCP 8.5) i se n'ha analitzat la significació estadística de la tendència. S'ha analitzat, també, si existeixen diferències entre les zones del Pirineu i la Costa Brava.

Una vegada analitzades totes les variables, s'ha pogut concloure que les projeccions que es troben resumides en els documents revisats es confirmen amb les dades concretes de les projeccions dels models climàtics. Es preveu que les temperatures seran més altes, que hi haurà més onades de calor i que els períodes de sequera seran més llargs. No obstant això, gairebé plourà el mateix que a dia d'avui, però ho farà en intervals més curts i, a la vegada, per tant, més intensos. S'ha pogut constatar, també, que els fenòmens meteorològics extrems extraordinaris són molt complicats de predir, ja que tenen una freqüència temporal molt baixa, i aquest fet fa més difícil l'obtenció de precedents històrics i l'elaboració de projeccions futures.

Així doncs, si no s'aturen o es redueixen clarament les emissions de gasos d'efecte hivernacle, si la societat no fa un canvi de model a gran escala i si no s'aposta per una economia sostenible basada en les energies renovables, anem cap a un clima global que a nivell de la Mediterrània Occidental i de Catalunya podria suposar un increment de molts dels fenòmens meteorològics extrems, a causa del canvi climàtic.

## Resumen

Este trabajo es una revisión general de cuatro documentos científicos sobre el cambio climático y tiene por finalidad determinar cuáles pueden ser los fenómenos meteorológicos extremos que pueden verse acentuados debido al cambio climático en el Mediterráneo Occidental y, en especial, en Cataluña.

Para determinarlo, además de la revisión bibliográfica, se han analizado los comportamientos de algunos indicadores de fenómenos meteorológicos extremos a partir de datos de proyecciones climáticas de alta resolución, realizadas por el proyecto CORDEX y extraídas de la plataforma AdapteCCa, a partir de las cuales se han confeccionado los correspondientes gráficos de evolución temporal, se han comparado dos trayectorias de concentración representativas de las emisiones de gases de efecto invernadero entre sí (RCP 4.5 y RCP 8.5) y se ha analizado la significación estadística de la tendencia. Se ha analizado, también, si existen diferencias entre las zonas del Pirineo y la Costa Brava.

Una vez analizadas todas las variables, se ha podido concluir que las proyecciones que se encuentran resumidas en los documentos revisados se confirman con los datos concretos de las proyecciones de los modelos climáticos. Se prevé que las temperaturas serán más altas, que habrá más olas de calor y que los periodos de sequía serán más largos. Sin embargo, casi lloverá lo mismo que a día de hoy, pero lo hará en intervalos más cortos y, a la vez, por lo tanto, más intensos. Se ha podido constatar, también, que los fenómenos meteorológicos extremos extraordinarios son muy complicados de predecir, ya que tienen una frecuencia temporal muy baja, y este hecho hace más difícil la obtención de precedentes históricos y la elaboración de proyecciones futuras.

Por consiguiente, si no se detienen o se reducen claramente las emisiones de gases de efecto invernadero, si la sociedad no hace un cambio de modelo a gran escala y si no se apuesta por una economía sostenible basada en las energías renovables, vamos hacia un clima global que a nivel del Mediterráneo Occidental y de Cataluña podría suponer un incremento de muchos de los fenómenos meteorológicos extremos debido al cambio climático.

## Abstract

This work is a general revision of four scientific documents about climate change, and its aim is to find what extreme weather phenomena can show a worsening due to Climate Change in the west Mediterranean, especially in Catalonia.

To do so, in addition to the bibliographic research, the behaviour of some extreme weather phenomena has been analysed from data extracted of AdapteCCa platform that have been realized by CORDEX project. From that data there have been done some trend charts, two representative concentration trajectories of the greenhouse gas emissions have been compared with each other (RCP 4.5 and RCP 8.5) and it has been analysed its statistic signification. There has also been analysed if there exist trend differences between the zones of the Pyrenees and Costa Brava.

When all the variables have been analysed, it has been concluded that the projections that are summarized in the documents reviewed are confirmed with the climate models from the statistic projections. It is expected that temperatures will be higher, there will be more heat waves and droughts will be longer. However, it is going to rain nearly the same that it does now, but this will occur in shorter periods which will be more intense. It has also been found that extraordinary severe weather phenomena are very difficult to predict, as they have a very low temporal frequency, and this increases the difficulty to obtain historical precedents and to create future projections.

In short, if greenhouse effect gases emissions are not cut down or, at least, reduced, if society doesn't make a large-scale change and if sustainable economy based on renewable energies aren't promoted, we are going to have a global climate, that in the west Mediterranean and in Catalonia, where a lot of extreme weather phenomena could increase due to climate change.

# Índex

1. Introducció .....	2
2. Aims .....	9
3. Metodologia.....	10
4. Resultats i discussió.....	14
4.1. Catalunya.....	14
4.1.1. Dies de glaçada.....	15
4.1.2. Nits tropicals.....	16
4.1.3. Temperatura màxima extrema.....	17
4.1.4. Durada màxima de les onades de calor .....	18
4.1.5. Dies seguits de sequera.....	19
4.1.6. Precipitació màxima diària.....	20
4.1.7. Precipitació acumulada en 5 dies .....	21
4.2. Comparació Pirineu – Costa Brava .....	22
4.2.1. Dies de glaçada (històric-RCP4.5) .....	23
4.2.2. Nits tropicals (històric-RCP4.5) .....	24
4.2.3. Temperatura màxima extrema (històric-RCP4.5) .....	25
4.2.4 Màxima precipitació diària (històric-RCP4.5) .....	26
5. Conclusions .....	27
6. Perspectiva de gènere .....	28
7. Bibliografia.....	29

## 1. Introducció

El clima és el conjunt de condicions característiques de l'atmosfera d'un indret determinat que es defineixen pels valors mitjans dels diferents elements climàtics, els seus valors extrems i la freqüència i la durada dels fenòmens atmosfèrics durant un període de temps llarg, de com a mínim 30 anys.

Segons l'article 1r de la Convenció Marc sobre el Canvi Climàtic de les Nacions Unides, s'entén per canvi climàtic: *“un canvi de clima atribuït directament o indirectament a l'activitat humana, que altera la composició de l'atmosfera mundial i que se suma a la variabilitat natural del clima observada durant períodes de temps comparables”*.<sup>1</sup> Així doncs, hi ha dos tipus de canvi climàtic: el natural i l'antropogènic.

Per una banda, el canvi climàtic natural està lligat a modulacions dels cicles solars, variacions de l'òrbita terràquia, canvis en la circulació oceànica i erupcions volcàniques, entre d'altres. Per una altra banda, el canvi climàtic antropogènic està lligat a les activitats que ha desenvolupat l'ésser humà, especialment des que va començar la Revolució Industrial.

*“El 1760, al Regne Unit, es produeix una crisi energètica, ja que l'energia generada per l'aigua, pel vent i per la biomassa (fusta) no és suficient per abastir les necessitats de la població i les indústries. Acte seguit, es comencen a explotar les mines de carbó a gran escala, però hi ha un problema, que és que aquestes s'inunden. Arran d'això, James Watt millora una màquina de bombeig d'aigua ideada gairebé mig segle abans per Newcomen; apareix així la primera màquina de vapor de la història. A partir d'aquest moment, l'ús de la màquina de vapor es va estenent per la societat britànica fins a arribar a la indústria tèxtil”*.<sup>2</sup>

Amb l'augment de la producció de béns i el seu abaratiment (*una màquina manipulada per 1 home i 5 nens fa tant treball com 30 homes treballant segons el mètode antic*)<sup>3</sup>, es generen importants excedents que necessiten ser distribuïts per la geografia anglesa. No obstant això, no és fins al 1812 quan es crea la primera locomotora de vapor funcional que va de Middleton a Leeds i cal esperar fins al 1830 per a tenir el primer ferrocarril que funcionava exclusivament amb locomotores de vapor.

Com a conseqüència d'aquests canvis soferts per la societat anglesa, les altres potències del moment també van començar a aplicar-los i les emissions de gasos d'efecte hivernacle, especialment vapor d'aigua i diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>), es van disparar. A la Figura 1 es pot veure la comparativa de les emissions acumulades pels 26 països principals emissors entre 1871 a) i el 2017 b).

<sup>1</sup> Segons: (Govern de les Illes Balears, n.d.)

<sup>2</sup> Segons: (Van Der Laat Ulloa, 1991).

<sup>3</sup> Cita d'una acta del Parlament Britànic de 1794 trobada en un document intern a: (Universidad de Granada, 2020)

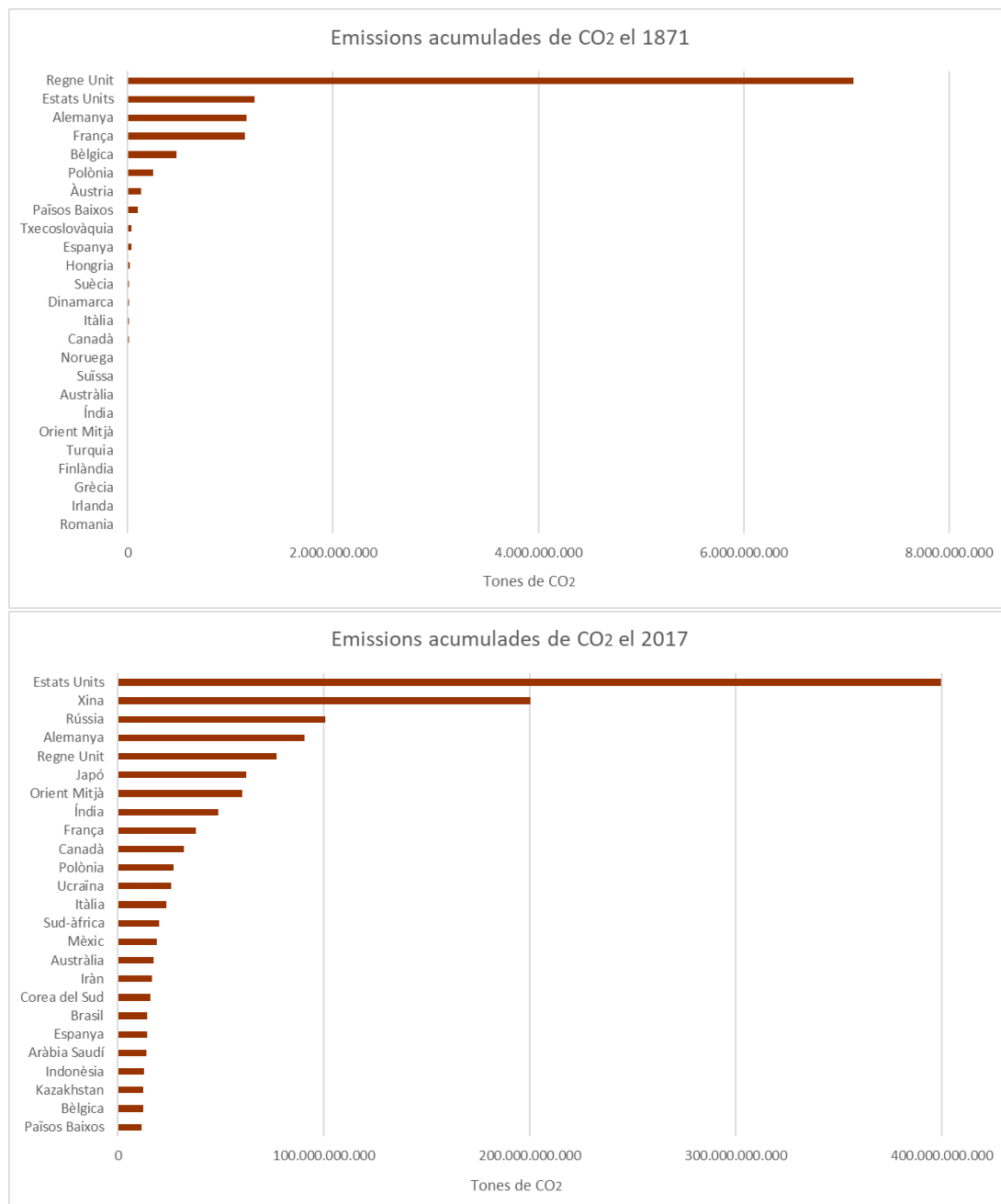


Figura 1: a) Emissions de CO<sub>2</sub> per països acumulades fins al 1871 b) Emissions de CO<sub>2</sub> per països acumulades fins al 2017. Font: Apunts de l'assignatura Resposta de la Flora i la Fauna al Canvi Climàtic, a partir de (*Global Carbon Atlas*, 2021.). Elaboració pròpia.

El 1958, Charles Keeling instal·la la primera estació de mesura de la concentració de CO<sub>2</sub> atmosfèric al món. Aquesta estació està situada a uns 3.000 metres sobre el nivell del mar al volcà Mauna Loa, a l'illa de Hawaii. Precisament tria aquesta ubicació tan remota per aquesta raó. El fet que sigui en una illa al mig de l'Oceà Pacífic implica que les mesures que s'enregistraran estaran poc afectades per fenòmens puntuals i això garantirà que les dades siguin un reflex prou nítid de la situació global. El primer valor, 315 parts per milió, d'ara en endavant ppm, es converteix en la primera mesura precisa de la concentració de diòxid de carboni a l'atmosfera.

Des de llavors i fins a dia d'avui, com es pot veure en la Figura 2, la concentració de CO<sub>2</sub> no ha parat de pujar. De fet, en l'actualitat es troba en valors que estan fregant les 420 ppm. Com es pot veure en el gràfic, la concentració de diòxid de carboni a l'atmosfera s'ha incrementat de manera exponencial.

Aquesta forma similar a les dents d'una serra que pren el gràfic és a causa de la variació estacional de l'absorció de CO<sub>2</sub> que fa el planeta. Així, les valls es donen a la primavera i a l'estiu, i a la tardor i a l'hivern es registren els pics. Pot semblar estrany que l'absorció de CO<sub>2</sub> variï estacionalment, però aquest fet es deu a les plantes. L'Hemisferi Nord té més superfície emergida que l'Hemisferi Sud i, per tant, hi ha més plantes; són aquestes plantes les que a la primavera i a l'estiu boreals absorbeixen més diòxid de carboni per fer la fotosíntesi, generalment a través de les fulles. Per contra, moltes plantes a la tardor i a l'hivern perden les fulles, que cauen al sòl i es descomponen, i part del carboni absorbit retorna a l'atmosfera.

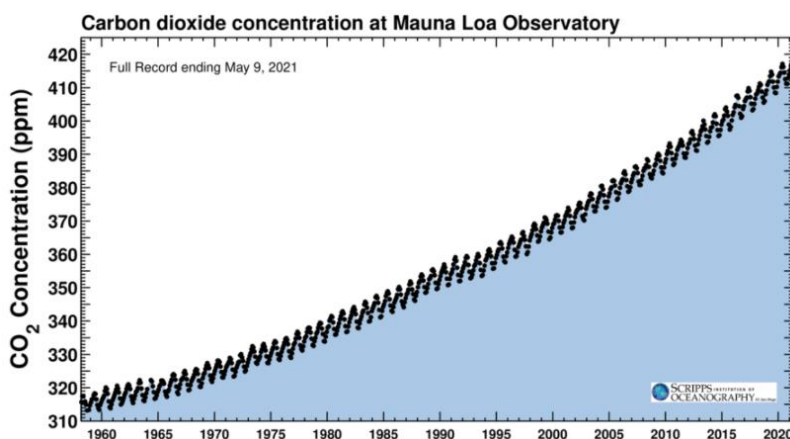


Figura 2: Concentració de CO<sub>2</sub> a l'observatori de Mauna Loa des del 1958 fins a l'actualitat. Extret de:(Scripps Institution of Oceanography, 2021).

Per tant, això demostra que les emissions de gasos d'efecte hivernacle s'han disparat a causa de l'activitat antropogènica, ja que a l'era preindustrial, abans de 1750, la concentració de CO<sub>2</sub> era d'unes 280 ppm. De fet, en els últims 800.000 anys, mai abans no s'havia enregistrat una concentració de CO<sub>2</sub> tan elevada ni tampoc hi havia hagut un increment de la seva concentració tan accelerat, tal com es pot veure en la Figura 3, i això només pot haver estat causat per l'acció de l'ésser humà, ja que hi ha molts pocs processos naturals que puguin emetre carboni fòssil en tals quantitats a l'atmosfera com ho estem fent els humans. Cal esmentar que les concentracions de CO<sub>2</sub> anteriors a 1958 s'han determinat a partir de testimonis de gel dels casquets polars.



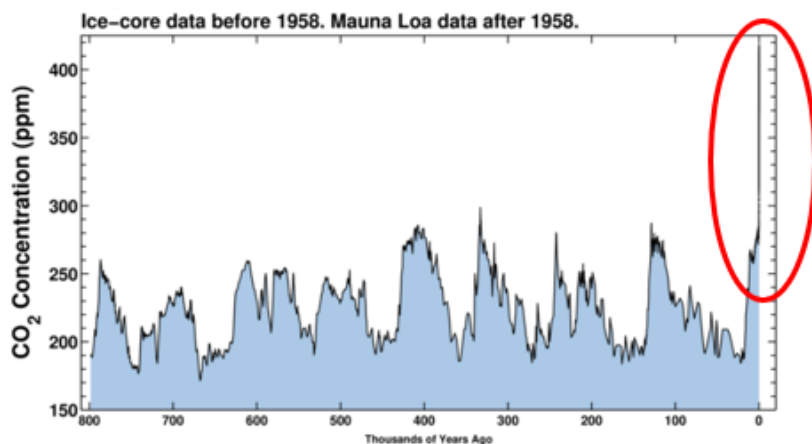


Figura 3: Concentració de CO<sub>2</sub> determinada a partir de testimonis de gel des de fa 800.000 anys. Extret de: (Scripps Institution of Oceanography, 2021). Elaboració pròpia.

La Terra intercanvia energia amb l'Univers i tendeix a assolir un equilibri energètic. Aquest intercanvi d'energia es fa amb radiació, ja que l'espai que hi ha al voltant de la Terra està buit; es diu, doncs que el planeta es troba en balanç radiatiu. Si la Terra anés absorbint energia i no tingués cap mecanisme per refredar-se, s'aniria escalfant, però una part de l'energia no l'absorbeix i es reflectida de nou cap a l'espai; aquest fenomen s'anomena albedo planetari.

La Terra emet un tipus de radiació, que és l'infraroig tèrmic, però en termes climàtics s'anomena radiació terrestre, per no confondre-la amb la solar. Si el clima del nostre planeta depengués només del balanç radiatiu, la seva temperatura seria molt més baixa que l'actual. Per poder explicar el clima de la Terra es necessita un altre ingredient: l'atmosfera.

L'atmosfera és la capa d'aire que envolta la Terra i està formada per una barreja de gasos. A més, conté partícules d'aigua líquida o sòlida que poden arribar a formar els núvols; si aquestes partícules estan compostes per altres materials, s'anomenen aerosols. Els núvols afecten de manera clara al balanç radiatiu, ja que reflecteixen una part de la radiació solar cap a l'espai. Amb la presència dels núvols, l'albedo esdevé del 30 %, és a dir que la Terra acaba absorbint només el 70% de la radiació que li arriba.

Alguns gasos presents a l'atmosfera poden absorbir radiació, i el tipus de radiació que absorbeixen és radiació terrestre. Els aerosols també hi tenen un paper important, ja que alguns tenen la capacitat d'absorbir molta radiació. Ja que l'atmosfera absorbeix radiació terrestre i aquesta no es pot dissipar cap a l'espai, la Terra s'escalfa. Aquest fenomen es coneix com efecte hivernacle. A més a més, cal afegir al balanç que els núvols també absorbeixen una part de la radiació terrestre i contribueixen a l'efecte hivernacle. *Així doncs, si es té en compte l'emissivitat reduïda per l'efecte hivernacle i la radiació solar absorbida, la temperatura de la superfície de la Terra esdevé d'uns 15 °C.*<sup>4</sup> I, lògicament, si canvia la composició de l'atmosfera, s'altera el balanç i en conseqüència es modifica la temperatura mitjana i el clima en general.

En la taula següent, Taula 1, s'hi poden veure els potencials d'escalfament global de diferents gasos d'efecte hivernacle (GEH). Els potencials d'escalfament s'utilitzen per comparar l'efecte de l'escalfament que genera 1 quilogram d'un determinat gas en un període de 100 anys respecte a l'efecte d'1 kg de CO<sub>2</sub>, per això es mesuren en equivalents de CO<sub>2</sub>.

<sup>4</sup> L'explicació del sistema climàtic, els darrers quatre paràgrafs, s'ha extret de: (Calbó, 2015)

Taula 1: Alguns gasos d'efecte hivernacle (GEH), processos que els generen i la seva equivalència en CO<sub>2</sub>. Extret de (Gunnar, Drew, et al. 2013).

Processos que generen aquests gasos	Gas d'efecte hivernacle	CO <sub>2</sub> equivalent
Crema de combustibles fòssils per a la fabricació d'electricitat, combustible per als vehicles, fabricació de ciment...	Diòxid de carboni (CO <sub>2</sub> )	1
Activitat ramadera (remugants), abocadors, extraccions de petroli i gas natural	Metà (CH <sub>4</sub> )	4
Degradació de fertilitzants nitrogenats i excrecions del bestiar	Òxid nitrós (N <sub>2</sub> O)	234
Processos industrials que s'utilitzen per a fabricar escumes en sistemes de refrigeració i equips d'aire condicionat, productes de neteja...	Hidrofluorocarburs (CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F)	201
	Hidrofluorocarburs (CF <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub> )	967
	Hidrofluorocarburs (CHF <sub>3</sub> )	12.700
	Tetrafluorometà (CF <sub>4</sub> )	8.040
	Hexafluoroetà (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )	13.500
	Hexafluorur de sofre (SF <sub>6</sub> )	28.200

El 1896, el suec i futur Premi Nobel de Química (1903) Svante Arrhenius va plantejar la hipòtesi de l'efecte hivernacle a escala planetària i, per primera vegada, va calcular l'escalfament global en base a les emissions antròpiques de CO<sub>2</sub>. Arrhenius va exposar que, si la quantitat de CO<sub>2</sub> present a l'atmosfera es duplicava, la temperatura del planeta podria pujar entre 3 i 4°C; de fet, va especular que aquest fet podria ocórrer al cap de 500 anys. No obstant això, algunes projeccions força més recents apunten que ja es podria complir durant aquest segle.

Arran del plantejament d'aquesta hipòtesi en l'article "On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground"(Arrhenius S., 1896), se'l va considerar el descobridor de l'efecte hivernacle. Tanmateix, 40 anys abans de la publicació d'aquest article, la nord-americana Eunice Newton Foote ja havia teoritzat sobre l'efecte hivernacle en el seu article "Circumstances affecting the Heat of the Sun's Rays"(Newton Foote E., 1856).

En la Figura 4 es pot observar l'anomalia que ha tingut la temperatura mitjana anual global, tant de l'aire com dels oceans, des de l'any 1880 fins al 2020. Tot i la complexitat del sistema climàtic, ple de fenòmens no lineals, és destacable que la temperatura mitjana anual, puja d'una manera molt semblant a l'augment de la concentració de CO<sub>2</sub> observat abans en la Figura 2.

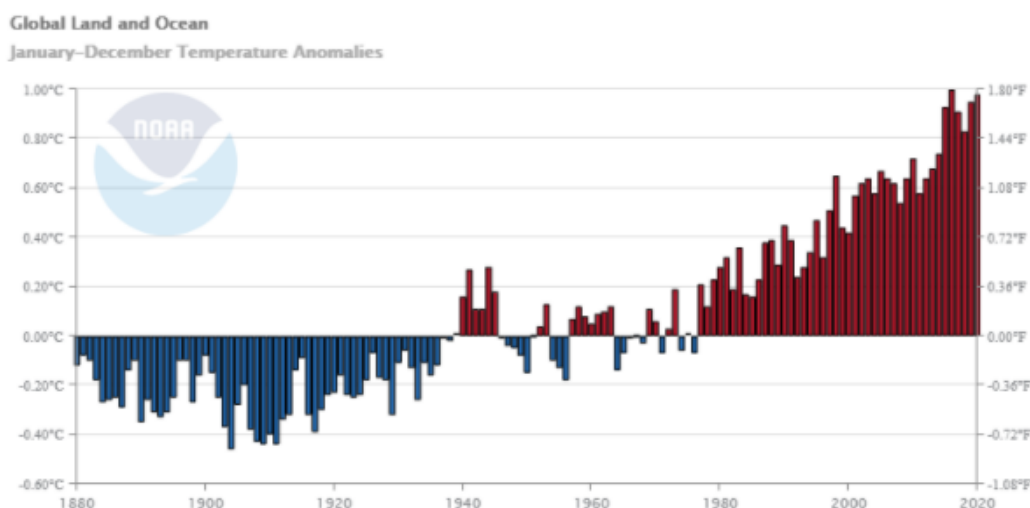


Figura 4: Evolució anual de les anomalies de temperatura de l'aire i dels oceans des de 1880 fins a 2020. Extret de: (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2020).

El 1988, el Programa de les Nacions Unides pel Medi Ambient (UNEP) i l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) van crear conjuntament l'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) i compta amb 195 països membres. Aquest grup internacional d'experts sobre el canvi climàtic es va idear *per tal de proporcionar als responsables polítics avaluacions científiques periòdiques sobre el canvi climàtic, les seves implicacions i possibles riscos futurs, així com per presentar opcions d'adaptació i mitigació. Mitjançant les seves avaluacions, l'IPCC determina l'estat del coneixement sobre el canvi climàtic. Identifica on hi ha acord a la comunitat científica sobre temes relacionats amb el canvi climàtic i on cal investigar més. Els informes es redacten i revisen en diverses etapes, garantint així l'objectivitat i la transparència. Els informes de l'IPCC són neutres, són rellevants per a les polítiques, però no són prescriptius i són una aportació clau a les negociacions internacionals per fer front al canvi climàtic.*<sup>5</sup> tal com s'explica en la seva pàgina web. En l'actualitat, hi ha 5 informes acabats; l'últim es va presentar el 2014, però actualment s'està treballant en un 6è informe que està previst que es publiqui l'any que ve, el 2022.

En el 5è informe de l'IPCC, s'hi empen les trajectòries de concentració representatives (RCP). Les RCP s'utilitzen per fer projeccions basades en les emissions de GEH que depenen de la mida de la població mundial, l'activitat econòmica, l'estil de vida, els usos del sòl, la tecnologia i la política climàtica. En aquest informe es descriuen 4 RCP diferents: **RCP 2,6**, que és un escenari de mitigació estricta de les emissions; els escenaris **RCP 4,5** i **RCP 6,0**, que són uns escenaris intermedis, i **RCP 8,5**, que és un escenari amb un nivell molt alt d'emissions de GEH. Així doncs, l'RCP 2,6 és un escenari que té per objectiu intentar mantenir l'escalfament global per sota de 2°C respecte a nivells preindustrials, mentre que, si se segueix amb l'actual ritme d'emissions, les projeccions dibuixen trajectòries que se situen entre els escenaris RCP 6,0 i RCP 8,5. En base a aquestes trajectòries representatives, els models climàtic globals efectuen projeccions sobre l'evolució del clima durant tot el segle. Aquestes projeccions tenen un rang d'abast planetari, però es poden interpretar també per a zones més concretes, com poden ser els continents, sense perdre massa fiabilitat dels resultats com perquè deixin de ser vàlids.

<sup>5</sup> Extret de: (The Intergovernment Panel for Climate Change, n.d.)

A escala europea, es preveu que hi hagi temperatures extremes càlides més freqüentment mentre que les temperatures extremes fredes aniran reculant en escales temporals diàries i estacionals; això s'accentuarà a mesura que la temperatura de la superfície terrestre vagi augmentant. És molt probable, també, que les onades de calor siguin més freqüents, intenses i llargues, però hi seguirà havent temperatures fredes extremes a l'hivern ocasionalment.

Pel que fa als mars i oceans que banyen Europa, seguiran escalfant-se, fet que es veurà accentuat en les zones més septentrionals. Aquestes masses d'aigua també esdevindran més àcides en tots els escenaris plantejats. Les precipitacions tendiran a una regionalització més acusada, és a dir, que en latituds altes i en regions humides de latituds mitjanes es preveu que hi augmentin les precipitacions; no obstant això, es preveu que en regions seques de latituds mitjanes (l'àrea mediterrània, per tant) disminueixin. De tota manera, és molt probable que els episodis extrems de precipitacions siguin més freqüents.

La intenció d'aquest treball, doncs, és comprovar si les projeccions climàtiques fetes a escala europea són extrapolables a Catalunya per tal de determinar si s'incrementen els fenòmens meteorològics extrems a causa del canvi climàtic.

## 2. Aims

This work's aim is to study if the extreme weather phenomena in the west Mediterranean, especially in Catalonia, will have a greater length, become more frequent and get stronger in relation to the current climate change. To do so, it focuses in two specific purposes:

- To synthetize the indicators of extreme weather phenomena related to climate change in west Mediterranean throughout the revision of scientific documents.
- To analyse the behaviour and the future evolutions, of some of these above-mentioned indicators on the basis of the high-resolution spatial projections developed by CORDEX project and extracted from the AdapteCCa platform.

### 3. Metodologia

Aquest treball és, en primer lloc, una revisió general de quatre documents científics sobre el canvi climàtic:

- *Informe de síntesi del 5è informe de l'Intergovernmental Panel for Climate Change* (Pachauri R.K., Meyer L.A. (eds), 2014). L'IPCC és un grup internacional d'experts en canvi climàtic i es va crear l'any 1988 arran d'un acord entre la UNEP i l'OMM. D'aquest informe de síntesi del 5è informe de l'IPCC, se n'ha revisat la Introducció, els apartats 1.4, 1.5 i 1.6 del Tema 1 (Canvis observats i les seves causes) i tot el Tema 2 (Futurs canvis climàtics, riscos i impactes).
- *1r Informe d'Experts Mediterranis sobre el Canvi Climàtic i Ambiental* (Cramer W, Guiot J, Marini K (eds), 2020). El grup d'Experts Mediterranis sobre el Canvi Climàtic i Ambiental (MedECC) el va crear el 2015 una xarxa independent d'experts en canvi climàtic de la conca mediterrània amb la finalitat d'assessorar als governs dels seus països. D'aquest informe se n'ha revisat el "Resum per als responsables de la formulació de polítiques".
- *3r Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya* (Generalitat de Catalunya, 2016). El 3r Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya (TICCC) està promogut pel Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS), la Conselleria de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya, el Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT) i l'Institut d'Estudis Catalans (IEC) i el van elaborar uns 150 experts, molts dels quals formen part del Grup d'Experts del Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC). D'aquest informe se n'ha revisat la Introducció, l'Apartat 4 (Evolució recent de la temperatura, la precipitació i altres variables climàtiques a Catalunya), l'Apartat 5 (Projeccions climàtiques i escenaris de futur) i l'Apartat 6 (Riscos d'origen climàtic).
- *Escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020). Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial (1971-2050)*. Informe tècnic. (Altava-Ortiz, V. & Barrera-Escoda, A. 2020). A petició de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC), el METEOCAT va redactar aquest informe per tal que substituís un informe anterior, l'ESCAT-2012. Aquest informe s'ha revisat per complet.

Aquesta revisió vol determinar quins poden ser els fenòmens meteorològics extrems que poden veure's més afectats, canviant la seva freqüència o la seva intensitat, pel canvi climàtic a la Mediterrània Occidental, concretament a Catalunya.

Una vegada revisats aquests documents, s'ha fet un recull dels fenòmens meteorològics extrems més rellevants que s'hi comenten. A continuació, s'han comparat els documents entre si per veure si els fenòmens extrems esmentats són recurrents entre els informes i, a partir de la comparació, s'ha elaborat la Taula 2.

Un cop aquests fenòmens s'han sintetitzat en la taula esmentada, s'ha accedit a les projeccions d'alta resolució espacial desenvolupades pel projecte CORDEX presents a plataforma AdapteCCa (AdapteCCa, n.d.) i s'han escollit 7 variables: 4 referents a la temperatura i 3 a les precipitacions.

Aquestes variables són:

- Temperatura:
  - Dies de glaçada: es considera com a dia de glaçada quan la temperatura mínima de la jornada ha estat igual o inferior a 0°C.
  - Nits tropicals: es considera com a nit tropical quan la temperatura mínima de la nit ha estat igual o superior a 20°C.
  - Temperatura màxima extrema: es considera que la temperatura màxima ha estat extrema quan s'ha superat un llindar de temperatura que és únic per a cada indret, ja que aquest llindar s'estableix en funció del clima i del perill que pot representar per als humans.
  - Durada de les onades de calor: una onada de calor es dona quan, durant com a mínim 3 dies consecutius, se supera el percentil 95 de les temperatures màximes dels mesos més càlids de l'any (juliol i agost).
- Precipitacions:
  - Dies consecutius de sequera: es considera com a dia de sequera quan en una jornada no hi ha hagut precipitacions que arribin a 1mm.
  - Precipitació màxima diària: és el total de precipitació recollida durant un dia en un indret.
  - Precipitació acumulada en 5 dies: és l'acumulació de precipitacions en 5 dies consecutius.

D'aquestes 7 variables, se n'ha recollit la base històrica, que són dades entre els anys 1950 i 2005, i també els escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5, que són projeccions entre els anys 2006 i 2100. Aquest procés s'ha realitzat primer per a tot Catalunya i després per a les zones del Pirineu i la Costa Brava per tal de comparar-les entre si.

Tant per a les dades històriques com per als escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5 s'han recollit les dades en un arxiu Excel per a cada cas, i s'ha elaborat una gràfica de dispersió per a observar-ne la tendència. A més, per tal de determinar si la tendència temporal té significació estadística, s'ha fet una anàlisi amb un Test-T, en la forma en què està implementat al programari Excel, i s'ha cercat si se supera el grau de confiança del 99%; quan aquesta no s'ha assolit, s'ha treballat amb grau de confiança del 95%.

Cal dir que CORDEX és un programa internacional patrocinat pel Programa Mundial d'Investigació Climàtica (WRCP) per tal d'organitzar un marc coordinat internacionalment per produir projeccions regionals millorades, és a dir amb més resolució espacial, sobre el canvi climàtic per a totes les regions de la Terra. Els resultats de CORDEX seran aportacions per als estudis d'impacte i adaptació al canvi climàtic més enllà del 5è informe de l'IPCC. EURO-CORDEX n'és la branca europea (CORDEX, n.d.). Per altra banda, AdapteCCa és una plataforma col·laborativa per impulsar l'adaptació al canvi climàtic a través de la qual es pot consultar un visor d'escenaris de canvi climàtic, que incorpora els resultats del projecte CORDEX. La plataforma AdapteCCa elabora les seves projeccions a partir de 16 models de predicció climàtica dels quals, per als territoris estudiats, s'ha agafat la mitjana aritmètica en totes les variables.

Taula 2: Recull dels fenòmens meteorològics extrems que s'esmenten en els documents estudiats.

Fenomen extrem	5è Informe IPCC	Informe MedECC	3r Informe CC Catalunya	Projeccions ESCAT
Augment de precipitacions iguals o superiors a $\geq 500$ mm/dia	No ho esmenta	No ho esmenta	Sí	No ho esmenta
Augment de precipitacions iguals o superiors a $\geq 200$ mm/dia	No ho esmenta	No ho esmenta	Sí	No ho esmenta
Augment de precipitacions iguals o superiors a $\geq 50$ mm/dia	No ho esmenta	No ho esmenta	No ho esmenta	Sí
Augment d' $1.5^{\circ}\text{C}$ Ta. Màx. (estival) respecte al període de referència (1971-2000)	Sí	Sí	Sí	Sí
Augment de les nits tropicals ( $TN \geq 20^{\circ}\text{C}$ )	No ho esmenta	Sí	Sí	Sí
Augment dels dies tòrrids ( $TX \geq 35^{\circ}\text{C}$ )	No ho esmenta	No ho esmenta	No ho esmenta	Sí
Disminució dels dies de glaçada ( $TN \leq 0^{\circ}\text{C}$ )	No ho esmenta	Sí	Sí	Sí
Disminució dels ciclons (depressions)	Diu el contrari	Sí	No ho esmenta	No ho esmenta
Disminució de les precipitacions	Sí	Sí	Sí	Sí
Disminució de les precipitacions a l'estiu/tardor.	No ho esmenta	No ho esmenta	Sí	Sí
Augment de les onades de calor	Sí	Sí	Sí	No ho esmenta
Augment de les onades de calor submarines	No ho esmenta	Sí	No ho esmenta	No ho esmenta
Sequeres més llargues i intenses	Sí	Sí	Sí	Sí
Vent menys intens i menys persistent	No ho esmenta	Sí	No ho esmenta	No ho esmenta
Increment de 50 cm del nivell del Mar Mediterrani al 2100	Sí	Sí	No ho esmenta	No ho esmenta
Escalfament de les aigües profundes del Mediterrani	Ho esmenta indirectament	Sí	No ho esmenta	No ho esmenta
Disminució de l'alçada mitjana de les onades en els temporals	No ho esmenta	Sí	No ho esmenta	No ho esmenta
Desaparició de les glaceres de les muntanyes de la conca Mediterrània	Ho esmenta indirectament	Sí	Sí	Ho esmenta indirectament



Finalment, cal esmentar que hi ha hagut algunes limitacions a l'hora de realitzar aquest treball. Per una banda, pel que fa a la part teòrica, la lectura en si dels documents sobre el canvi climàtic ha estat molt complexa a causa de la seva extensió. Per una altra banda, pel que fa a la part pràctica, l'inconvenient principal ha estat que a la plataforma AdapteCCa només es podien veure les projeccions climàtiques amb els escenaris RCP 4.5, que és un escenari intermedi, i RCP 8.5, que és un escenari d'emissions extremes de GEH; aquest fet ha suposat que no pogués analitzar tots els escenaris possibles, ja que no hi apareixen ni l'escenari RCP 2.6, que és un escenari de mitigació estricta, ni l'escenari 6.5, que és l'altre escenari intermedi. Un altre aspecte a tenir en compte és que els fenòmens meteorològics molt extraordinaris com ara el temporal Glòria són difícils de seguir en el temps degut a la seva baixa recurrència temporal.

També cal dir que la plataforma AdapteCCa utilitza una malla regular, de cel·les quadrades, per indicar el valor de cada variable. El fet que aquests píxels siguin opacs i estiguin superposats a la silueta de Catalunya ha fet que, en el moment de delimitar les zones del Pirineu i la Costa Brava, es perdés resolució ja que els límits geogràfics no es poden veure del tot correctament, tal com es veu en la Figura 5.

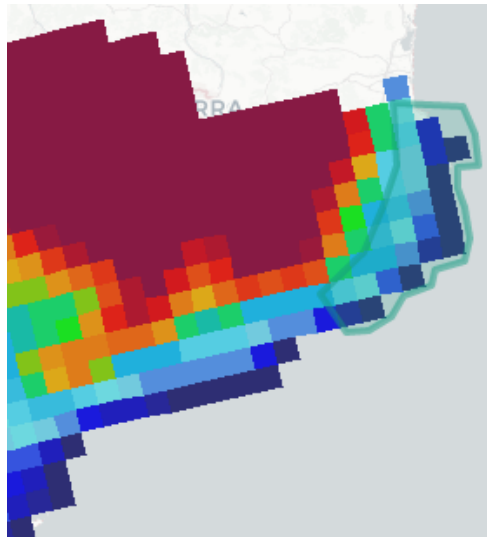


Figura 5: Exemple dels píxels opacs que no permeten veure els límits de Catalunya. En aquest cas concret s'estaven prenent les dades dels dies de glaçada per a la Costa Brava, que està delimitada per una figura transparent amb el contorn blau.

## 4. Resultats i discussió

En aquest apartat hi consten els resultats de l'estudi, sintetitzats en gràfiques per tal de fer-los més entenedors. També hi ha les discussions de cada gràfic, ja que el fet que hi hagi moltes figures fa que sigui més fàcil de seguir el relat.

### 4.1. Catalunya

En aquest subapartat s'hi han comparat les dades històriques de les 7 variables de temperatura i precipitacions per a tot Catalunya (Figura 6). Tots els resultats són les dades mitjanes de Catalunya; per tant, els valors dels gràfics no són els extrems d'un indret determinat, són una mitjana de les dades del país. Primer de tot hi ha el gràfic de les dades històriques i a sota hi ha la comparació entre els escenaris RCP 4.5 i RCP 8.5.

Enllaçant amb el que es comentava per a Europa a la introducció, les previsions per a Catalunya no difereixen gaire, si bé en aquest cas no es pot utilitzar com a base el 5è Informe de l'IPCC, ja que a una escala tan petita esdevé imprecís. En aquest sentit, el 3r Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya i l'Informe dels Escenaris Climàtics Regionalitzats a Catalunya, han elaborat unes projeccions sobre el clima futur del país. Per tant, és millor prendre com a referència les projeccions elaborades en el TICCC i en l'ESCAT-2020.

Aquestes projeccions diuen que, en el cas de la temperatura de l'aire en superfície i de la temperatura i l'acidesa de l'aigua del mar, el patró seria força similar a les projeccions a gran escala, és a dir, que totes augmentarien. En canvi, les precipitacions sembla que podrien disminuir lleugerament a tot el país, especialment al Pirineu, però a la costa empordanesa i en una zona situada entre les comarques de la Conca de Barberà, l'Urgell i les Garrigues podrien augmentar tímidament.



Figura 6: Mapa de Catalunya. En blau hi ha la zona "Pirineu" i en vermell la zona "Costa Brava". Imatge extreta de: Google Maps. Elaboració pròpia.

### 4.1.1. Dies de glaçada

La mitjana històrica de dies de glaçada a Catalunya té una tendència clara a disminuir, ja que a la dècada del 1950 era d'uns 73 dies/any i el 2005 aquesta mitjana va baixar fins als 65 dies /any (Figura 7).

En ambdues projeccions, es preveu que disminueixin significativament els dies de glaçada (Figura 8). Si bé a principis de segle la mitjana era d'entre 60 i 65 dies a l'any de glaçada, per a l'RCP 4.5 es preveu que caiguin a uns 40 dies l'any 2100 i , en l'RCP 8.5, davallaria fins a només 20 dies.

Els valors de les projeccions presenten una tendència negativa amb un nivell de significació del 99%; per tant, són força robustes, és a dir que és probable que es compleixin.

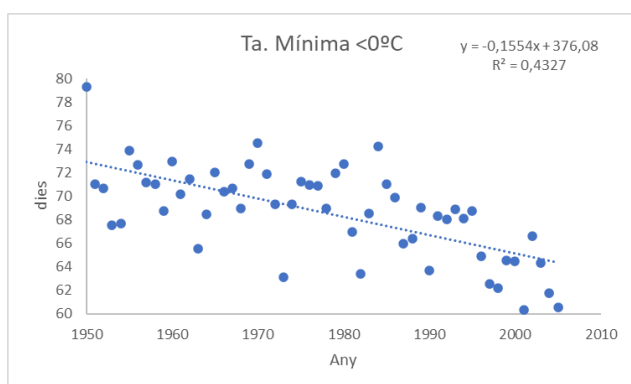


Figura 7: Dades històriques dels dies de glaçada a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

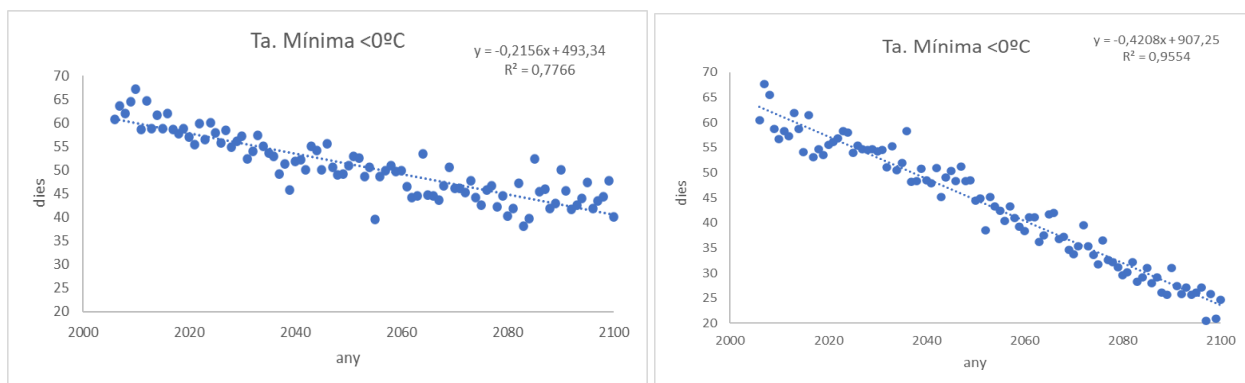


Figura 8: Comparació de les projeccions RCP 4.5 i RCP 8.5 dels dies de glaçada a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

Aquesta tendència observada a partir de les dades del projecte CORDEX, presents a la plataforma AdapteCCa, concorda amb els fenòmens meteorològics extrems que apareixen en els informes revisats, els quals s'han sintetitzat en la Taula 2.

#### 4.1.2. Nits tropicals

La mitjana històrica de les nits tropicals a Catalunya té una tendència clara a pujar, ja que a la dècada del 1950 era d'uns 5 dies/any i el 2005 aquesta mitjana va augmentar fins a uns 8 dies l'any (Figura 9).

En ambdues projeccions es preveu que les nits tropicals augmentin. A principis de segle la mitjana era d'uns 10 dies l'any. En l'RCP 4.5 es preveu que creixin cap a uns 30 dies l'any 2100 i en l'RCP 8.5 la mitjana de nits tropicals pujaria fins a fregar les 50 nits a l'any, unes cinc vegades més (Figura 10).

Els valors de les projeccions presenten una tendència positiva amb un nivell de significació del 99%; per tant, són força robustes, és a dir que és probable que es compleixin.

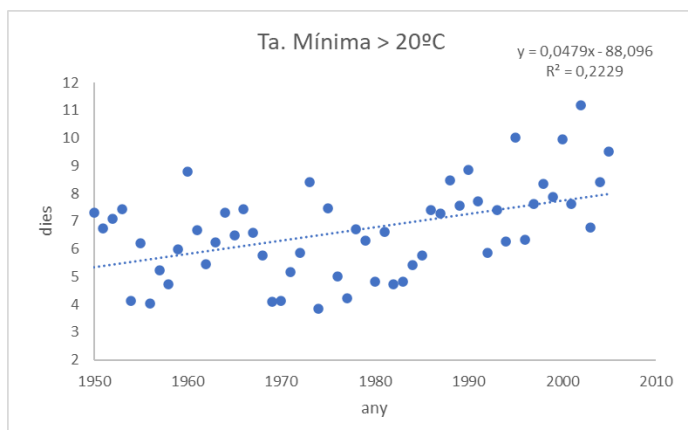


Figura 9: Dades històriques de les nits tropicals a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

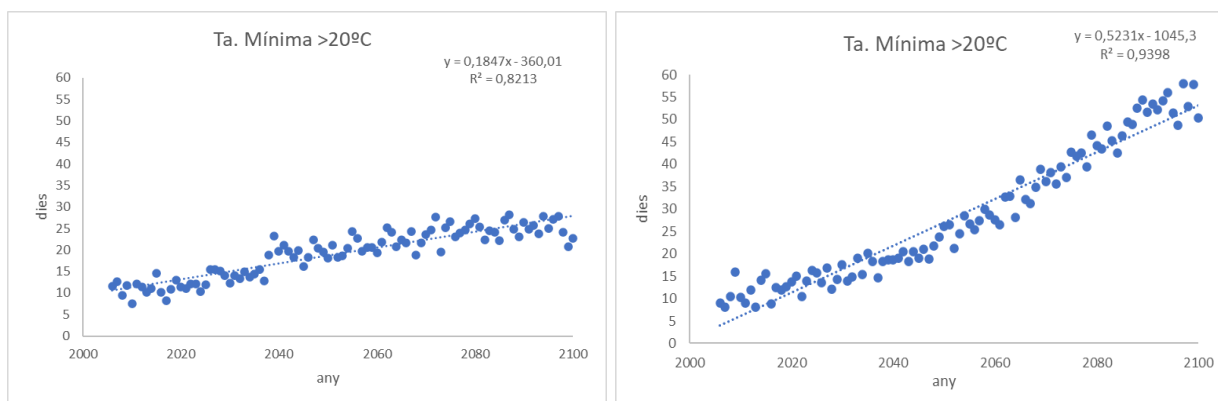


Figura 10: Comparació de les projeccions RCP 4.5 i RCP 8.5 de les nits tropicals a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

Aquesta tendència observada a partir de les dades del projecte CORDEX, presents a la plataforma AdapteCCa, s'ajusta amb el recull de fenòmens meteorològics extrems que apareixen en els informes estudiats, els quals s'han sintetitzat en la Taula 2.

### 4.1.3. Temperatura màxima extrema

La mitjana històrica de la temperatura màxima extrema a Catalunya tendeix a pujar clarament, ja que a la dècada del 1950 era d'uns 31,5°C, i el 2005 aquest valor va augmentar fins a uns 33,0°C. És a dir, que en 55 anys els valors de temperatura màxima extrema anual han pujat 1,5°C de mitjana a tot el país (Figura 11).

En ambdues projeccions es preveu que la temperatura màxima extrema encara ho sigui més. A principis de segle la mitjana d'aquesta temperatura màxima extrema fluctuava era propera a 32,5°C. Per a l'RCP 4.5 augmentaria fins a valors de 35,5°C i en l'RCP 8.5 s'incrementaria fins als 39,0°C a finals de segle. És a dir, que la temperatura màxima extrema podria incrementar-se entre 3,0°C i 6,5°C de mitjana a tot Catalunya (Figura 12).

Els valors de les projeccions presenten una tendència positiva amb un nivell de significació del 99%; per tant, són força robustes, és a dir que és probable que es compleixin.

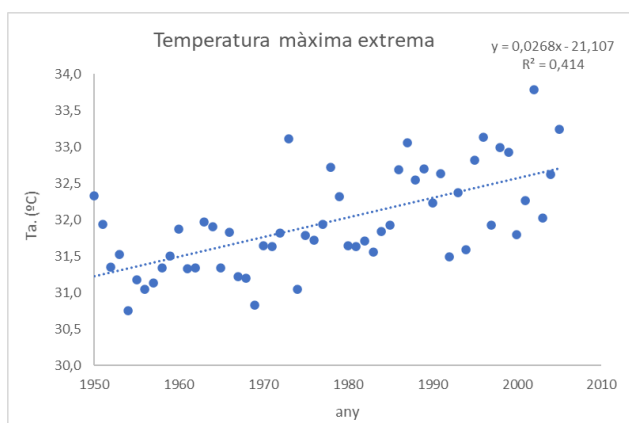


Figura 11: Dades històriques de la temperatura màxima extrema a Catalunya. Font: AdapteCCA. Elaboració pròpia.

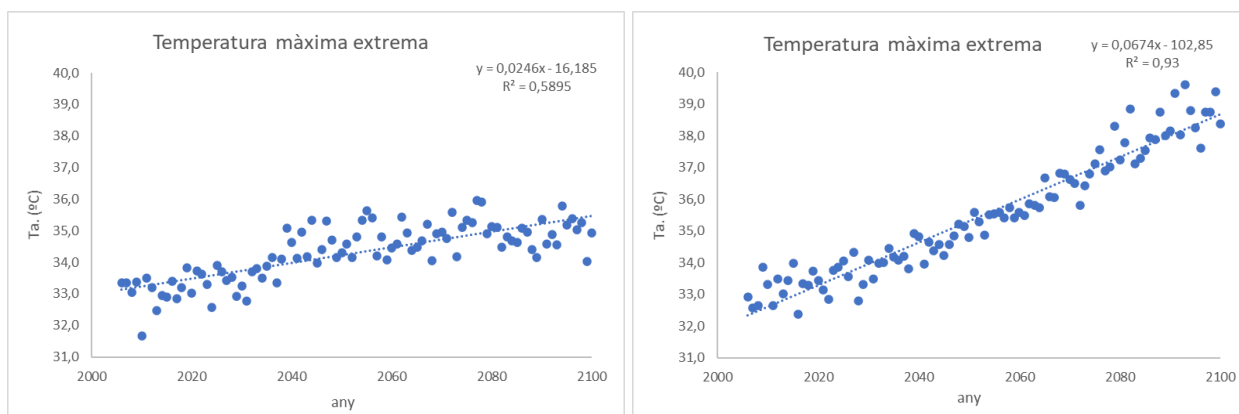


Figura 12: Comparació de les projeccions RCP 4.5 i RCP 8.5 de la temperatura màxima extrema a Catalunya. Font: AdapteCCA. Elaboració pròpia.

La tendència observada a partir de les dades del projecte CORDEX, presents a la plataforma AdapteCCA, s'ajusta amb el recull de fenòmens meteorològics extrems que apareixen en els informes, els quals s'han sintetitzat en la Taula 2.

#### 4.1.4. Durada màxima de les onades de calor

La mitjana històrica de la durada màxima de les onades de calor a Catalunya té una tendència clara a pujar, ja que a la dècada del 1950 partia de 8 dies i el 2005 va augmentar fins a uns 14 dies. Per tant, en 55 anys la durada màxima de les onades de calor s'ha incrementat de mitjana a tot el país uns 6 dies (Figura 13).

En ambdues projeccions es preveu que les onades de calor siguin més llargues. Si bé a principis de segle no arribaven als 15 dies, en l'RCP 4.5 aquest valor augmentaria fins als 30 dies al 2100; i en l'RCP 8.5 pujaria fins a apropar-se als 60 dies a finals de segle. Per tant, les onades de calor a finals de segle podrien durar entre 2 i 4 vegades més que el 2006 (Figura 14).

Els valors de les projeccions presenten una tendència positiva amb un nivell de significació del 99%; per tant, són força robustes, és a dir que és probable que es compleixin.

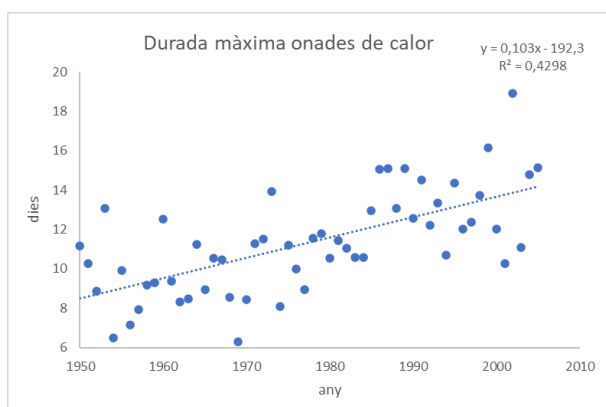


Figura 13: Dades històriques de la durada màxima de les onades de calor a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

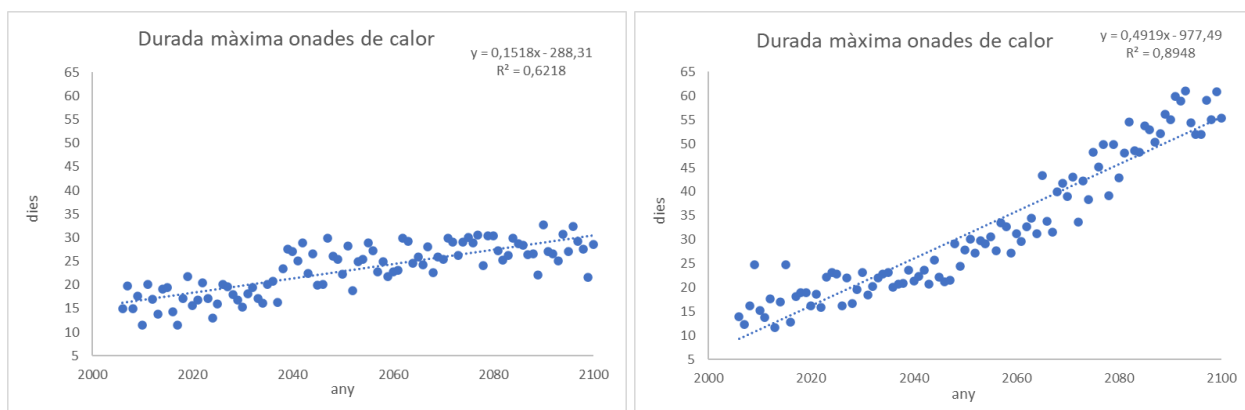


Figura 14: Comparació de les projeccions RCP 4.5 i RCP 8.5 de la durada màxima de les onades de calor a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

La tendència detectada a partir de les dades del projecte CORDEX, presents a la plataforma AdapteCCa, coincideix amb els fenòmens meteorològics extrems que apareixen en els informes analitzats, els quals s'han sintetitzat en la Taula 2.

#### 4.1.5. Dies seguits de sequera

La mitjana històrica dels dies seguits de sequera a Catalunya té una lleu tendència a augmentar, ja que a la dècada del 1950 era d'uns 32 dies/any i el 2005 aquesta mitjana sembla que podria haver pujat a 33 dies/any (Figura 15).

En ambdues projeccions es preveu que els dies seguits de sequera augmentin. En l'RCP 4.5, ho farien lleugerament, ja que es podrien incrementar fins a assolir els 36 o 37 dies de sequera consecutius l'any 2100 i, en l'RCP 8.5, pujarien fins a 43 dies l'any, gairebé un 25% més que a principis de segle (Figura 16).

Els valors de l'RCP 4.5 no presenten significació estadística al 95%, per tant no es pot acabar de determinar amb precisió que passarà al futur. En canvi, l'RCP 8.5 presenta una tendència positiva amb un nivell de significació del 99%; per tant, és força robusta, és a dir que és probable que es compleixi.

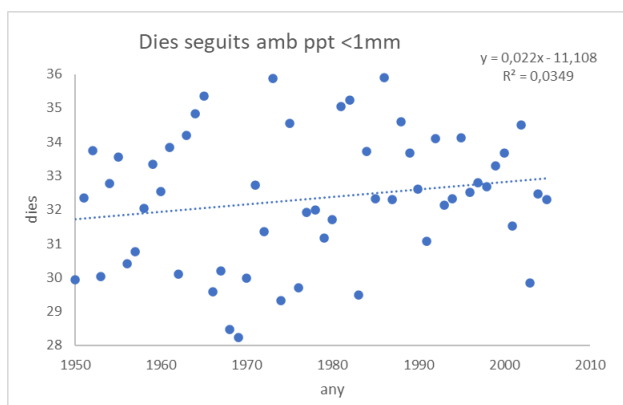


Figura 15: Dades històriques dels dies seguits de sequera a Catalunya. Font: AdapteCCA. Elaboració pròpia.

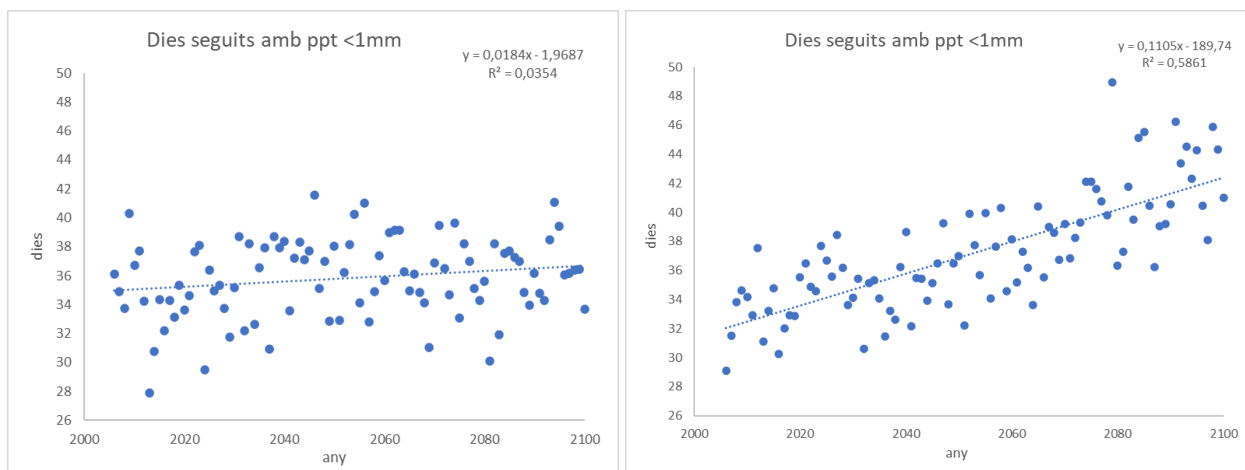


Figura 16: Comparació de les projeccions RCP 4.5 i RCP 8.5 dels dies seguits de sequera a Catalunya. Font: AdapteCCA. Elaboració pròpia.

La tendència detectada a partir de les dades del projecte CORDEX, presents a la plataforma AdapteCCA, coincideix amb el recull de fenòmens meteorològics extrems que apareixen en els informes, els quals s'han sintetitzat en la Taula 2.

#### 4.1.6. Precipitació màxima diària

La mitjana històrica de la precipitació màxima diària a Catalunya tendeix a disminuir lleugerament, ja que a la dècada del 1950 era d'uns 59 mm i el 2005 va baixar a 57 mm (Figura 17), però amb una tendència no significativa.

Contràriament, en ambdues projeccions es preveu que la precipitació màxima diària augmenti lleugerament, la qual cosa significaria una inversió de la tendència històrica dels darrers anys. A l'RCP 4.5, pujaria fins a 63 mm el 2100, i a l'RCP 8.5 ho faria fins a un valor de 66 mm, aproximadament (Figura 18).

Els valors de l'RCP 4.5 no presenten significació estadística al 95%, per tant no es pot acabar de determinar amb precisió que passarà al futur. En canvi, l'RCP 8.5 presenta una tendència positiva amb un nivell de significació del 99%; per tant, és força robusta, és a dir que és més probable que es compleixi.

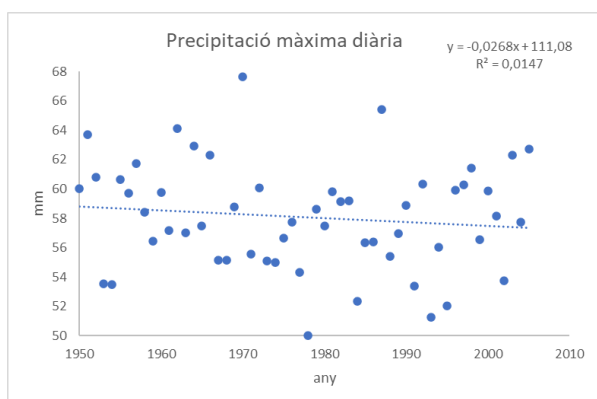


Figura 17: Dades històriques de la precipitació màxima diària a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

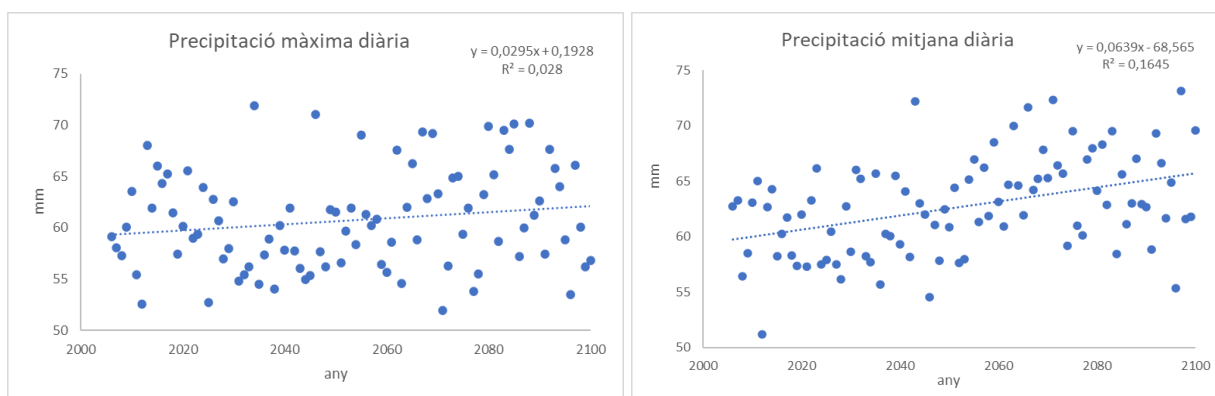


Figura 18: Comparació de les projeccions RCP 4.5 i RCP 8.5 de la precipitació màxima diària a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

El fet que aquesta tendència observada a partir de les dades del projecte CORDEX, presents a la plataforma AdapteCCa, sigui menys clara, concorda amb el fet que en alguns dels informes analitzats (Taula 2) ni tan sols s'esmentin aquests increments d'intensitat diària.



#### 4.1.7. Precipitació acumulada en 5 dies

La mitjana històrica de la precipitació acumulada en 5 dies a Catalunya tendeix a disminuir lleugerament i baixa d'uns 105 mm el 1950 fins a uns 100 mm el 2005 (Figura 19).

No obstant, en ambdues projeccions es preveu que la precipitació acumulada en 5 dies augmenti. En tots dos casos pujaria de manera minsa. A l'RCP 4.5, passaria dels 105 mm de principis de segle als 110 mm aproximadament per al 2100 i, en l'RCP 8.5, pujaria un valor similar, fins a assolir els 112 mm, també aproximadament (Figura 20).

Així, els valors de les projeccions presenten una tendència positiva, però no tenen nivell de significació del 95%; per tant, no es pot assegurar que aquest augment de les precipitacions acumulades s'acabi esdevenint en el futur.

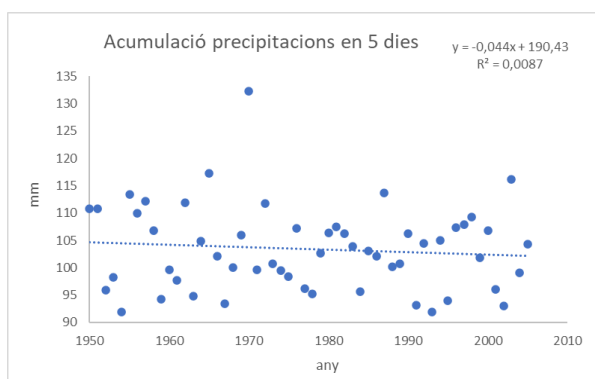


Figura 19: Dades històriques de la precipitació acumulada en 5 dies de glaçada a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

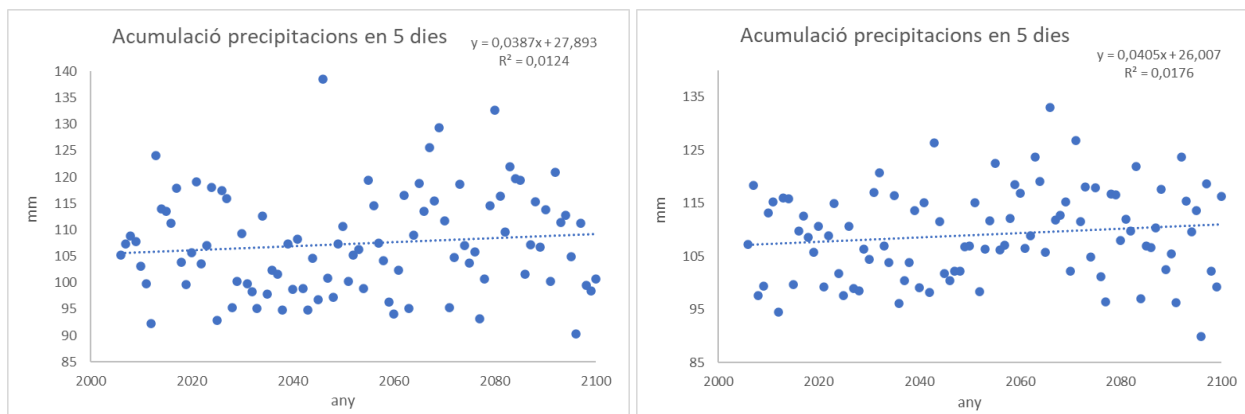


Figura 120: Comparació de les projeccions RCP 4.5 i RCP 8.5 de la precipitació acumulada en 5 dies de glaçada a Catalunya. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

Malgrat que les dades d'aquestes projeccions no presenten significació estadística, un dels 16 models de predicció inclosos en la plataforma AdapteCCa mostra que, per a aquesta variable, hi podria haver un esdeveniment extrem a tot Catalunya durant aquest segle, on s'acumulessin de mitjana, entre 400 mm i 500 mm. Això es pot veure en la figura següent (Figura 21). Aquest fet implicaria que, en tractar-se d'una mitjana per a tot Catalunya, hi hauria punts concrets on s'hi acumularien quantitats molt superiors i, per altra banda, també hi hauria llocs on les precipitacions hi serien força inferiors. Es tractaria, doncs, d'un fenomen realment excepcional; per posar en context, durant el temporal Glòria a Lliurona, a la Garrotxa, hi van arribar a caure 516 mm (Canals M. & Miranda J., 2020).

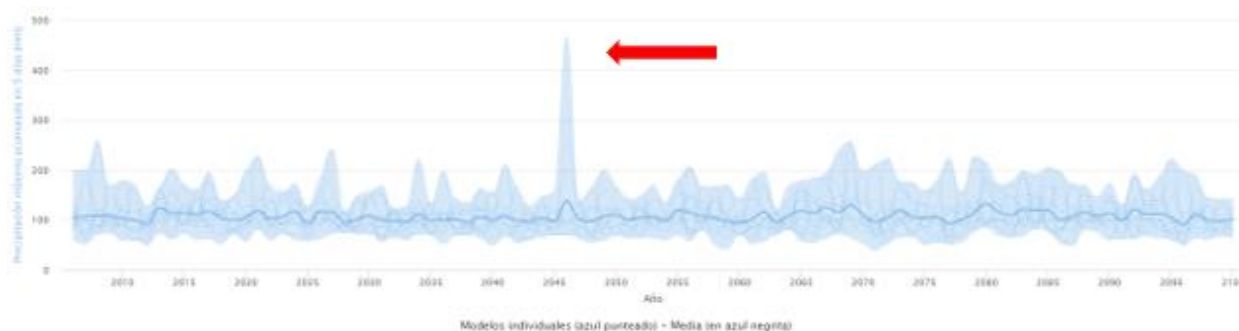


Figura 21: Un model de predicció marca la possibilitat que, durant aquest segle, hi hagués un esdeveniment de precipitacions extremadament abundants que deixés entre 400 mm i 500 mm d'aigua. Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

## 4.2. Comparació Pirineu – Costa Brava

En aquest subapartat s'hi han comparat dues zones de Catalunya per veure si els fenòmens meteorològics extrems relacionats amb el canvi climàtic podien afectar de la mateixa manera diferents parts del país que tenen diferents climes. Les dues zones que s'han escollit per fer la comparació han estat el Pirineu i la Costa Brava, encerclades en blau i en vermell, respectivament, com s'ha vist en la Figura 6.

Per fer la comparació s'han posat de costat les dades històriques de cada indret i, a sota, hi ha la projecció de l'escenari RCP 4.5. Així les figures de l'esquerra corresponen a dades del Pirineu i les de la dreta, a la Costa Brava.

#### 4.2.1. Dies de glaçada (històric-RCP4.5)

La mitjana històrica de dies de glaçada té una tendència clara a disminuir. Al Pirineu, el 2005 les glaçades van disminuir gairebé 10 dies dels prop de 170 de mitjana que hi havia el 1950; mentre que a la Costa Brava la mitjana era de 16 dies a l'any i va passar a ser d'11 dies, un 31% menys (Figura 22)

En l'escenari RCP 4.5, la tendència dels dies de glaçada a reduir-se es consolida. Al Pirineu les glaçades poden passar de ser-hi presents uns 5 mesos a l'any a només 4, la qual cosa representa un 20% de disminució. A la Costa Brava, aquest fet s'accentua i es podria passar d'uns 10 dies de glaçada a principis de segle a 4 dies cap al 2100, fet que significaria que les glaçades es reduïssin un 60%. (Figura 23).

Els valors de les projeccions presenten una tendència positiva amb un nivell de significació del 99%; per tant, són força robustes, és a dir que és probable que es compleixin.

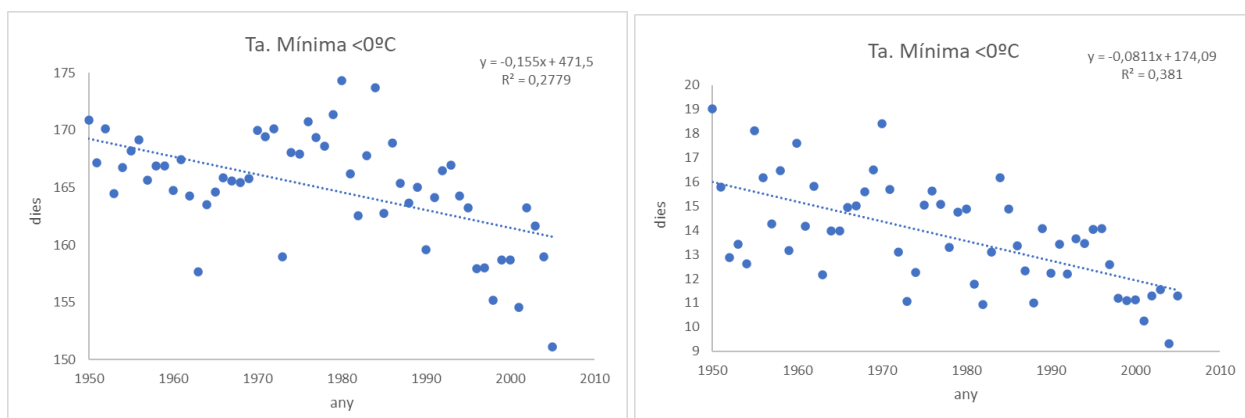


Figura 22: Comparació de les dades històriques dels dies de glaçada al Pirineu (esquerra) i a la Costa Brava (dreta). Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

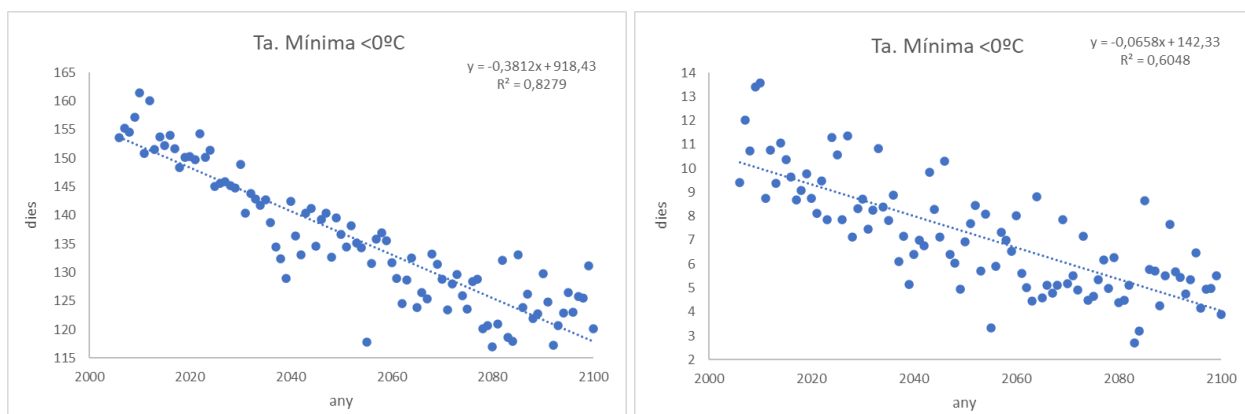


Figura 23: Comparació de les projeccions RCP 4.5 dels dies de glaçada al Pirineu (esquerra) i a la Costa Brava (dreta). Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

#### 4.2.2. Nits tropicals (històric-RCP4.5)

La mitjana històrica de les nits tropicals té una tendència clara a augmentar. Al Pirineu, el 1950 les nits tropicals hi eren pràcticament inexistent, ja que 0,1 nits l'any equival a 1 dia cada 10 anys, i augmentarien fins a superar les 0,3 nits cada any, que, arrodonint, seria 1 nit cada 3 anys. A la Costa Brava el patró es repeteix i, malgrat que les nits tropicals no hi són infreqüents, s'han vist incrementades de 24 nits a mitjan segle XX a 27 nits ja entrat el segle XXI (Figura 24).

En l'escenari RCP 4.5, la tendència de les nits tropicals a augmentar es consolida. Al Pirineu poden passar de ser-hi presents 1 dia cada 2 anys a gairebé 5 dies cada 2 anys. A la Costa Brava, aquest fet s'accentua i es podria passar de poc més d'un mes a l'any amb nits tropicals a més de dos mesos, és a dir, que les nits tropicals es duplicarien (Figura 25).

Els valors de les projeccions presenten una tendència positiva amb un nivell de significació del 99%; per tant, són força robustes, és a dir que és probable que es compleixin.

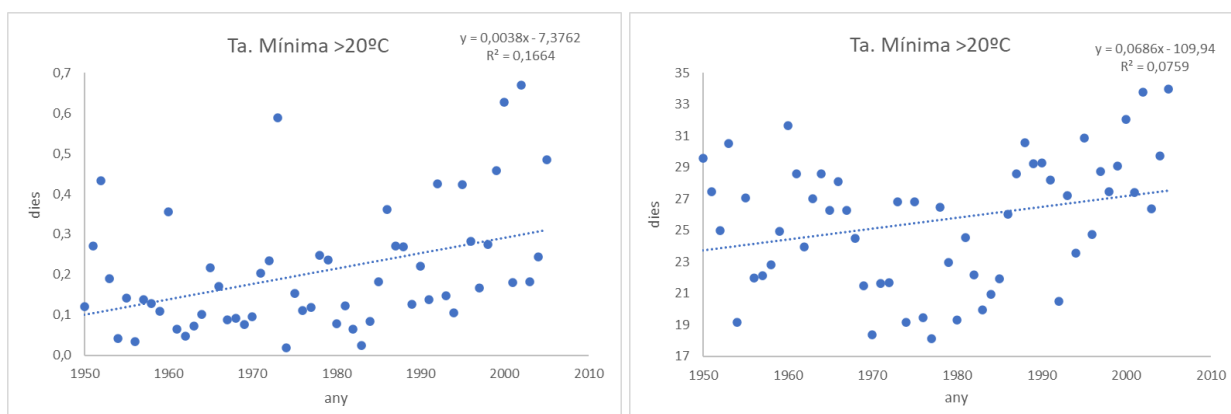


Figura 24: Comparació de les dades històriques de les nits tropicals al Pirineu (esquerra) i a la Costa Brava (dreta). Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

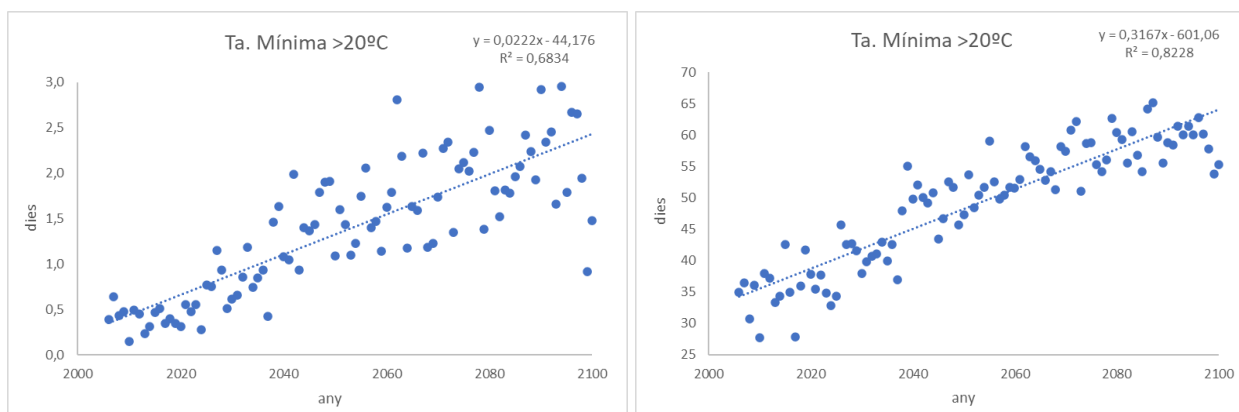


Figura 25: Comparació de les projeccions RCP 4.5 de les nits tropicals al Pirineu (esquerra) i a la Costa Brava (dreta). Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

### 4.2.3. Temperatura màxima extrema (històric-RCP4.5)

La mitjana històrica de la temperatura màxima extrema té una tendència clara a augmentar. Al Pirineu, el 1950 la temperatura màxima extrema no arribava als 25,0°C i el 2005 superava els 26,0°C. A la Costa Brava el patró es repeteix i la temperatura màxima extrema passa de menys de 31,5°C a mitjan segle XX a 33,0°C ja entrat el segle XXI (Figura 26).

En l'escenari RCP 4.5, la temperatura màxima extrema encara ho serà més. Al Pirineu es preveu que passin d'uns 27,0°C a superar els 29,0°C a finals de segle. A la Costa Brava, aquest fet també s'hi observa i podrien passar d'uns 33,0°C a fregar els 36,0°C (Figura 27).

Els valors de les projeccions presenten una tendència positiva amb un nivell de significació del 99%; per tant, són força robustes, és a dir que és probable que es compleixin.

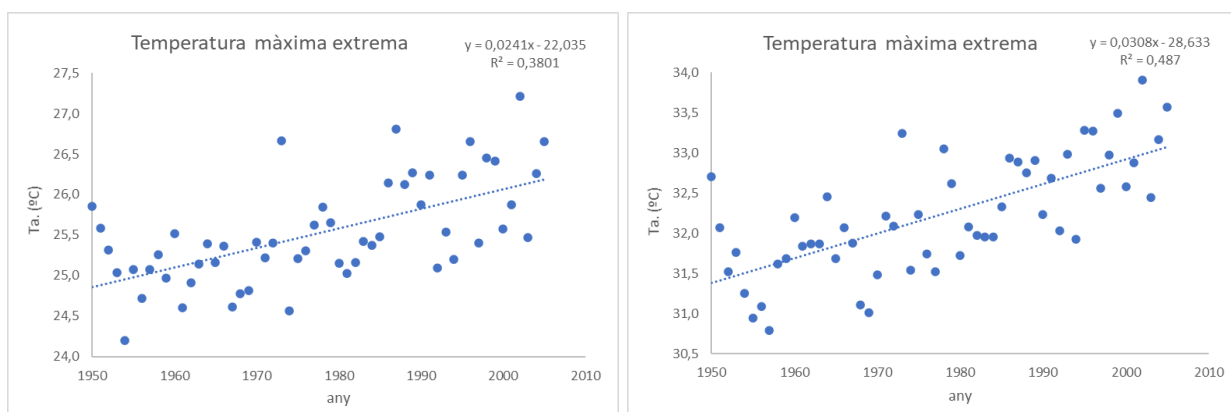


Figura 26: Comparació de les dades històriques de la temperatura màxima extrema al Pirineu (esquerra) i a la Costa Brava (dreta). Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

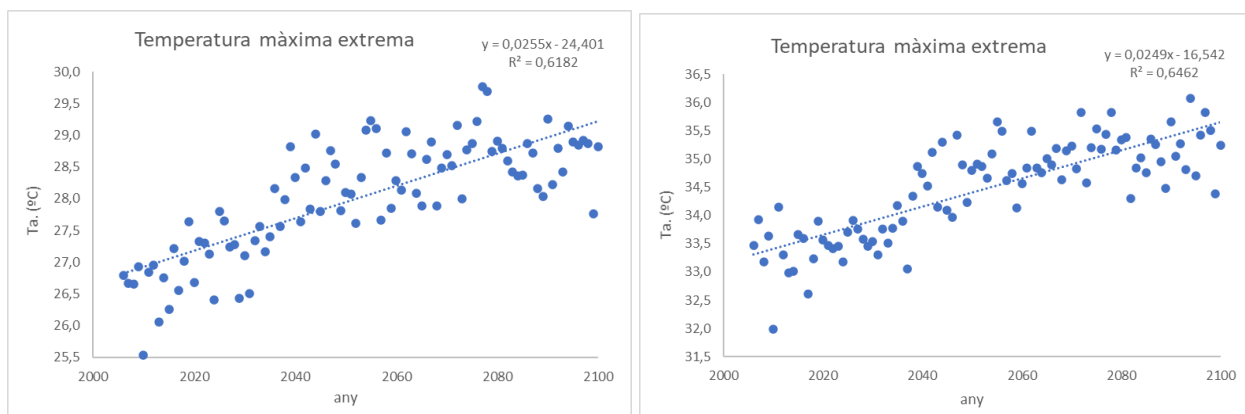


Figura 27: Comparació de les projeccions RCP 4.5 de la temperatura màxima extrema al Pirineu (esquerra) i a la Costa Brava (dreta). Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

#### 4.2.4 Màxima precipitació diària (històric-RCP4.5)

La mitjana històrica de precipitació màxima diària no té una tendència clara. Si bé al Pirineu es manté numèricament constant durant tot aquest temps, això sí, amb alts i baixos; a la Costa Brava tendeix a baixar una mica i passa de 65 mm el 1950 a uns 60 mm al 2005 (Figura 28).

En l'escenari RCP 4.5 la precipitació màxima diària tendeix a pujar lleument. Al Pirineu es preveu que passin de 70 mm a superar els 75 mm a finals de segle. A la Costa Brava, aquest fet també s'hi observa i podrien passar d'uns 65 mm el 2005 a fregar els 70 mm cap al 2100 (Figura 29).

Els valors de l'RCP 4.5 pel Pirineu presenten una tendència positiva amb un nivell de significació del 99%; per tant, és força robusta, és a dir que és probable que es compleixi. En canvi, per a la Costa Brava no presenten significació estadística al 95%, per tant no es pot acabar de determinar amb precisió que passarà al futur

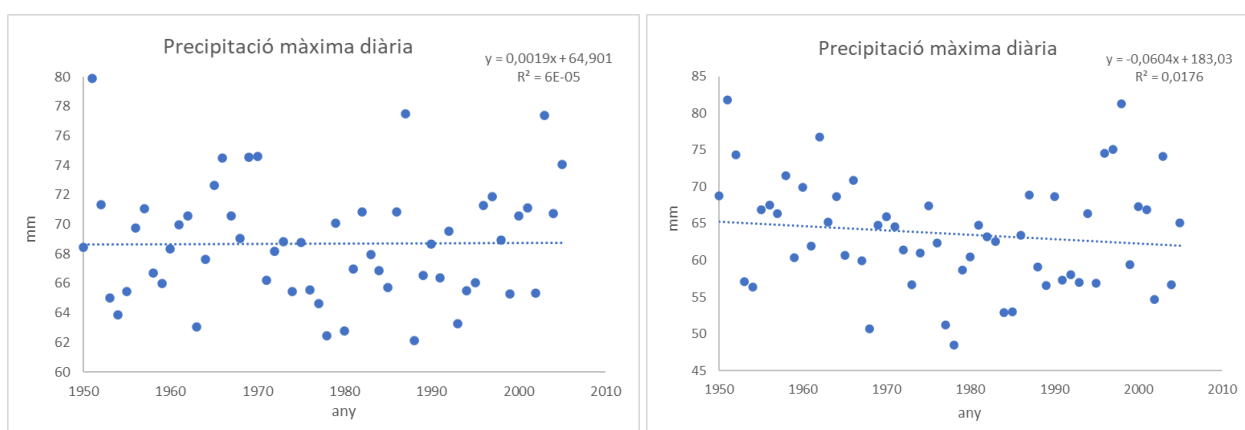


Figura 28: Comparació de les dades històriques de la precipitació màxima diària al Pirineu (esquerra) i a la Costa Brava (dreta).  
Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

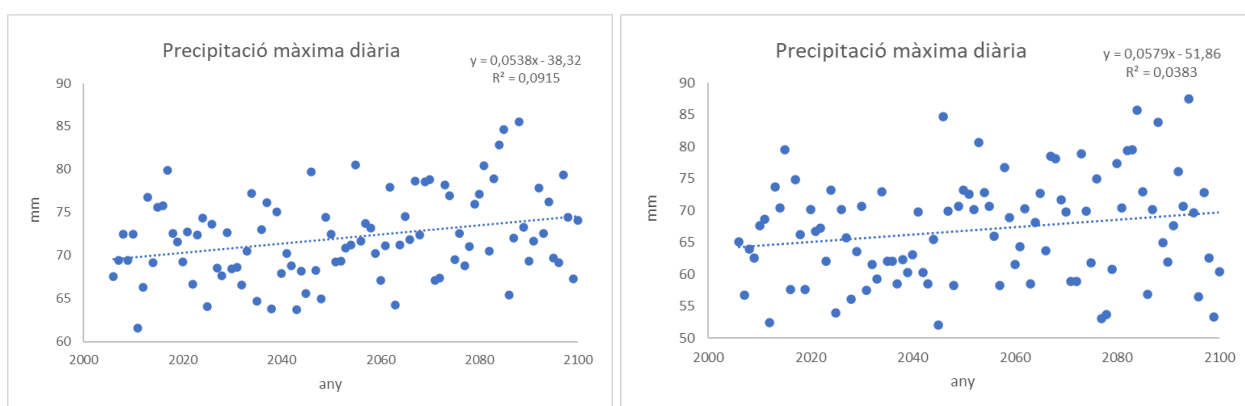


Figura 29: Comparació de les projeccions RCP 4.5 de la precipitació màxima diària al Pirineu (esquerra) i a la Costa Brava (dreta).  
Font: AdapteCCa. Elaboració pròpia.

## 5. Conclusions

From the documents that have been studied and reviewed to establish the theoretical framework of this work, and from the exhaustive analysis of the CORDEX projections extracted from the AdapteCCa platform, the following conclusions have been reached:

- Climatic projections in a mid- and long-term horizon are really worrying related to Catalonia's climate:
  - In every season of the year, temperatures are going to rise. There will be fewer freezing days and tropical nights are going to increase. In 2100 maximum extreme temperatures could be, in average, more than 5°C higher than the current average according to RCP 8.5.
  - The fact that freezing days in the Pyrenees will decrease may imply that the winter sports season is going to be shorter, which would have a negative effect on the area's economy. Fewer freezing days would lead to a faster melting, an earlier increase in the river flows and a premature end of the irrigation season of crops because of the lack of water reserves, which would damage the agricultural and livestock sector.
  - The rise of tropical nights and extreme high temperatures would increase thermal stress on the population. This could lead to an increase in the mortality of people with previous pathologies.
  - Droughts are going to increase also. Specifically, we have found a robust signal for longer droughts, which therefore will be more severe. This is consistent with a possible (despite non-significant) intensification of rainfall, that is, the rainfall might be nearly the same that it is now but precipitations are going to fall in less time.
- There are no relevant differences between the results shown at Pyrenees and Costa Brava, their climate is going to be affected in the same way by the climate change, of course considering that the current climate is already quite different in these two regions.
- Severe weather phenomena such as Gloria storm or the floods that occurred in October 2019 are expected to increase in length, strength and frequency in a near future because of climate change. Nevertheless, these phenomena are very infrequent, that is their return period is quite long, so it is too difficult to predict this increase with precision, and the signal of these extraordinary events does not appear in the COORDEX projections, at least based on the analysed datasets.

In order to mitigate rather than stopping the climate change, there is no other way than decrease as a society and to change of our socioeconomic model. This will only be possible if it is accompanied with an energetic change clearly involving the renewable energies.

To sum up, the analysis of the documents and of high-resolution climate models data has revealed that the projections created by the different expert groups about extreme weather phenomena related to climate change can get accomplished if greenhouse gases emissions are not cut of or, at least, clearly reduced while a global transition towards a more sustainable economy is done.

## 6. Perspectiva de gènere

Aquest treball evidencia un cop més que la societat, també en l'àmbit de la recerca científica, continua estant força monopolitzada pels homes. En tots els documents consultats, la majoria d'autors eren homes. Per a cada document s'ha elaborat un gràfic comparant la ràtio de dones i d'homes respecte del total d'autors del text, tal com es pot veure en les Figura 30 a), b) i c).

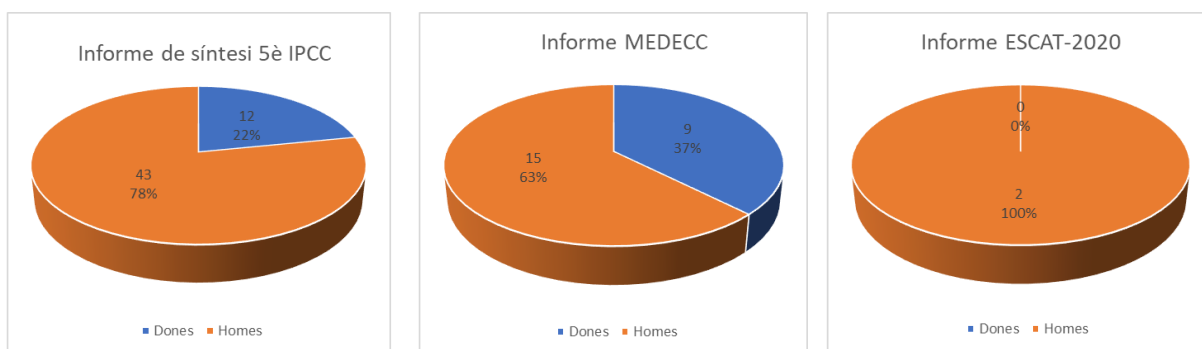


Figura 30: Paritat de gènere en l'Informe de síntesi del 5è IPCC a), en l'Informe MEDECC b) i en l'Informe ESCAT-2020 c).

Les figures següents corresponen a tres capítols del 3r Informe del Canvi Climàtic a Catalunya, on en la majoria hi predominen els autors masculins, com per exemple en el capítol 4 (Figura 30 d). En el capítol 7 (Figura 30 e), en canvi, hi ha igualtat entre autors i autores, i en el capítol 16 (Figura 30 f) hi ha majoria de dones, fet que és inusual.

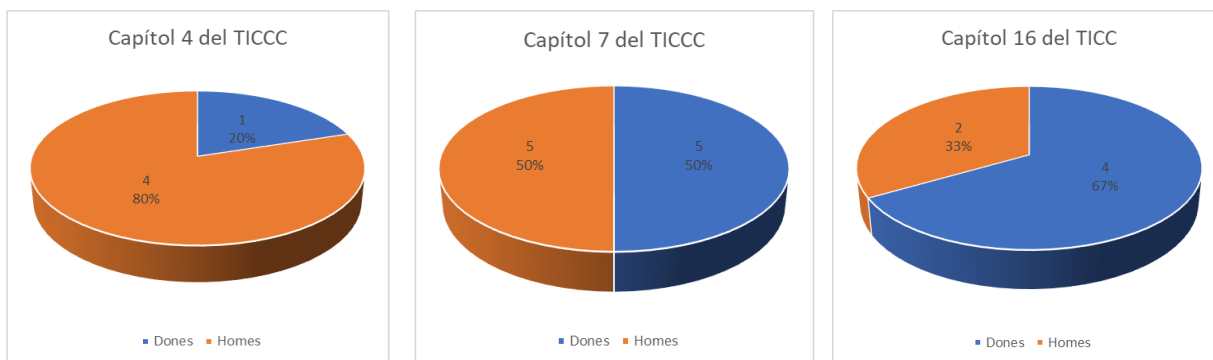


Figura 31: Paritat de gènere en els Capítols 4, 7 i 16 del TICCC, d), e) i f), respectivament.

Extrapolant l'experiència del Treball de Final de Grau a la meua formació universitària, he pogut constatar que l'androcentrisme hi continua essent molt present. Sí que és cert que a l'aula hi ha hagut sempre paritat o, fins i tot, més noies que nois, fet que moltes vegades no s'acompleix amb les ràtios de professorat. El cas més destacat l'he viscut aquest any, a 4t, concretament al mòdul de Gestió Ambiental Avançada, en el qual hi havia 5 assignatures i entre el professorat que les impartia només hi havia homes. Així doncs, si bé entre l'estudiantat del grau de Ciències Ambientals hi ha paritat, quan s'accedeix a la docència i a la recerca, la igualtat s'esvaeix.

En conclusió, la ciència és encara avui un dels àmbits en què és més evident aquesta disparitat i, per tant, la igualtat de gènere encara està lluny d'assolir-se. Cal treballar activament perquè les dones tinguin les mateixes oportunitats per accedir a llocs de responsabilitat que els homes i aquestes ho puguin fer en igualtat de condicions.



## 7. Bibliografia

1. AdapteCCa. (n.d.). *Visor de Escenarios de Cambio Climático*.  
[http://escenarios.adaptecca.es/#&model=eqm-multimodel&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=YEAR&layers=AREAS&period=MEDIUM\\_FUTURE&anomaly=RAW\\_VALUE](http://escenarios.adaptecca.es/#&model=eqm-multimodel&variable=tasmax&scenario=rcp85&temporalFilter=YEAR&layers=AREAS&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE) [Consultat el març del 2021.]
2. Altava-Ortiz, V. & Barrera-Escoda, A. (2020). *Escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020). Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial (1971-2050)*. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya. [https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2020/09/29205506/Projeccions\\_ESCAT\\_2020\\_FINAL.pdf](https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2020/09/29205506/Projeccions_ESCAT_2020_FINAL.pdf)
3. Arrhenius, S. (n.d.). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41, 237–276.  
[https://www.rsc.org/images/Arrhenius1896\\_tcm18-173546.pdf](https://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf) [Consultat el maig del 2021.]
4. Govern de les Illes Balears. (n.d.). *Què és el canvi climàtic?*  
[http://www.caib.es/sites/canviclimatic2/ca/que\\_es\\_el\\_canvi\\_climatic-7121/#causescanviclimatic](http://www.caib.es/sites/canviclimatic2/ca/que_es_el_canvi_climatic-7121/#causescanviclimatic) [Consultat l'abril del 2021.]
5. Calbó, J. (2015). Per què canvia, el clima? *Mètode, Núm. 87 (L'origen de La Vida. Una Narració Científica Inacabada)*, 124. <https://metode.cat/revistes-metode/article/per-que-canvia-el-clima.html>
6. Canals, M. & Miranda, J. (2020). *Sobre el temporal Gloria (19-23.01.20), els seus efectes sobre el país i el que se'n deriva: Report de Resposta Ràpida (R3)*. Institut d'Estudis Catalans. [https://www.iec.cat/activitats/documents/IEC\\_R3\\_Temporal\\_Gloria\\_2020.pdf](https://www.iec.cat/activitats/documents/IEC_R3_Temporal_Gloria_2020.pdf)
7. CORDEX. (n.d.). *Coordinated Downscaling Experiment - European Domain*.  
<https://www.euro-cordex.net/> [Consultat el maig del 2021.]
8. Cramer, W. Guiot, J. & Marini, K. (eds) (2020). *Resum de MedECC 2020 per als responsables de la formulació de polítiques. A: Canvi climàtic i ambiental a la conca mediterrània: situació actual i riscos per al futur. Primer informe d'avaluació de la Mediterrània*. Unió per a la Mediterrània, Plan Bleu, PNUMA/PAM.  
<https://www.medecc.org/>
9. Generalitat de Catalunya (2016). *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Martín Vide, J. et al. (Coord). Institut d'Estudis Catalans & Generalitat de Catalunya.  
[http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER\\_INFORME\\_CANVI\\_CLIMATIC\\_web.pdf](http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/TERCER_INFORME_CANVI_CLIMATIC_web.pdf)
10. Global Carbon Atlas (n.d.). *Global Carbon Atlas*.  
<http://www.globalcarbonatlas.org/en/content/welcome-carbon-atlas> [Consultat el maig del 2021.]

11. Universidad de Granada (1794). *Diario de sesiones del Parlamento Británico* (pp. 7–7).
12. Myhre, G. et al. (2013). *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. A: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5\\_Chapter08\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf)
13. National Oceanic and Atmospheric Administration (n.d.). *Global Climate Report - Annual 2020.* <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013> [Consultat el maig del 2021.]
14. Newton Foote, E. (1856). On the heat in the Sun's rays. *Marcou's Geological Map of the United States*, 247–248.
15. Pachauri, R. K. & Meyer L. A. (eds) (IPCC 2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
16. Scripps Institution of Oceanography (n.d.). *The Keeling Curve.*  
<https://keelingcurve.ucsd.edu/> [Consultat l'abril del 2021.]
17. The Intergovernment Panel for Climate Change (n.d.). *The Intergovernmental Panel for Climate Change.* <https://www.ipcc.ch/> [Consultat l'abril del 2021.]
18. Van Der Laat Ulloa, H. (1991). Revolución industrial: una revolución técnica. *Revista de Ciencias Sociales Universidad de Costa Rica*, 71–82.