

1 **Projeccions climàtiques futures regionalitzades a Catalunya**

2 **a alta resolució**

3
4 **A. Barrera-Escoda¹, M. Gonçalves^{2,3}, J. Cunillera¹, J. M. Baldasano²**

5 1) Equip de Canvi Climàtic, Àrea de Climatologia, Servei Meteorològic de Catalunya
6 (SMC), Barcelona

7 2) Earth Sciences Department, Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional
8 de Supercomputación (BSC-CNS), Barcelona

9 3) Departament de Projectes, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona

10 Correspondència a: A. Barrera-Escoda (tbarrera@meteo.cat)

11 **Resum**

12
13 Es presenten els principals resultats del projecte ESCAT desenvolupat entre el BSC-
14 CNS i l'SMC sobre projeccions climàtiques al Mediterrani nord-occidental a 10 km de
15 resolució (1971-2050) mitjançant el model mesoescalar WRF-ARW. Les simulacions
16 desenvolupades reproduïxen els patrons generals espai-temporals de les observacions (1971-
17 2000: temperatura i precipitació), però subestimant la temperatura i sobreestimant la
18 precipitació. La temperatura s'espera que augmenti fins al 2050 independentment de
19 l'escenari considerat (0,9-1,4°C respecte 1971-2000), especialment a l'alta muntanya. En
20 canvi, la precipitació disminuiria molt probablement (5-13% total anual respecte 1971-2000),
21 però particularment a l'alta muntanya. També es projecten valors extrems més secs i càlids
22 que els actuals, amb un augment significatiu en la durada de les sequeres i l'ocurrència de
23 precipitacions extremes. Aquestes projeccions permeten definir les àrees més vulnerables
24 (Pirineus i Vall de l'Ebre) i millorar l'avaluació dels futurs impactes en les activitats
25 socioeconòmiques del territori.

26

1 1 Introducció

2 La resolució típica (100-300 km) dels models de circulació general climàtics (MCGC)
3 no és suficient per a estudiar les característiques del clima a escala regional o local (a nivell de
4 Catalunya o les seves comarques). Per tant, les projeccions obtingudes directament dels
5 MCGCs per al s. XXI no són útils per a avaluar els impactes a escala regional i local que
6 tindran lloc a causa del canvi climàtic antropogènic. Per aquest motiu, es recomana l'ús de
7 tècniques de regionalització per a la realització d'escenaris climàtics futurs d'alta resolució
8 (IPCC, 2007; 2013). Aquestes tècniques consisteixen bàsicament en obtenir les variables
9 meteorològiques principals amb un detall espacial més gran. Existeixen nombroses tècniques
10 de regionalització agrupant-se en estadístiques i dinàmiques. Les tècniques estadístiques
11 utilitzen relacions empíriques entre les variables climàtiques de gran escala (o predictors) i les
12 variables regionals o locals (predictands). En canvi, les tècniques dinàmiques usen models
13 meteorològics d'àrea limitada (mesoescalars) per a obtenir les mateixes variables.

14 Les tècniques de regionalització són molt necessàries en zones de la Terra amb una
15 complexa orografia com Catalunya o la zona Mediterrània. La complexa orografia d'aquesta
16 àrea comporta que els processos mesoescalars, com poden ser les pluges orogràfiques o els
17 fenòmens convectius, tinguin un paper molt important en la climatologia local. Aquests
18 processos no estan ben resolts pels MCGCs o bé no es tenen en compte en el sí d'aquests
19 models, donades les seves baixes resolucions espacials.

20 En l'última dècada, diversos projectes internacionals com PRUDENCE (Christensen
21 et al. 2007), ENSEMBLES (van der Linden i Mitchell, 2009), o més recentment CORDEX
22 (<http://cordex.dmi.dk/joomla>), han desenvolupat i millorat les tècniques de regionalització
23 dinàmiques, assolint resolucions espacials de 50, 25 i 12 km, respectivament. A la península
24 Ibèrica, la iniciativa ESCENA (Jiménez-Guerrero et al., 2013) a través de diferents models
25 del clima regionals ha proporcionat projeccions a 25 km. Finalment, a Catalunya cal destacar
26 els escenaris regionalitzats per al segle XXI amb el model mesoescalar MM5 a 15 km
27 desenvolupats per Barrera-Escoda i Cunillera (2011) com a treball previ al presentat aquí.

28 Seguint aquesta direcció, la present ponència se centra en caracteritzar el temps
29 present (1971-2000) i futur (2001-2050), així com les tendències temporals, de la temperatura
30 de l'aire a 2 m i la precipitació per a la conca de la Mediterrània nord-occidental, a través d'un
31 mètode de regionalització dinàmica a alta resolució (10 km). Les simulacions es van realitzar

1 a partir del model *Advanced Research Weather Research and Forecasting* (WRF-ARW)
2 versió 3.2.1 (Skamarock i Klemp, 2008) considerant tres escenaris d'emissions diferents: A2
3 (sever), A1B (intermedi) i B1 (moderat), definits a l'IPCC-SRES (Nakićenović et al., 2000).
4 Estudis que abastin un període tan gran (80 anys) i elevada resolució (10 km) no tenen cap
5 precedent a tota la conca del Mediterrani nord-occidental. Aquestes simulacions van servir de
6 base per a elaborar l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC) realitzada
7 per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC, 2012).

8

9 **2 Dades utilitzades**

10 Reanàlisis de l'ERA40 (Uppala et al., 2005) del Centre Europeu de Predicció a Mitjà
11 Termini (ECMWF) a 2,5° de resolució horitzontal espacial per al període 1971-2000 i
12 disponibles cada 6 h (00, 06, 12 i 18 UTC). Es van emprar per a avaluar l'habilitat del model
13 WRF-ARW en reproduir les característiques espai-temps principals de la temperatura i la
14 precipitació. (http://data-portal.ecmwf.int/data/d/era40_daily/).

15 Simulacions climàtiques globals del model acoblat atmosfera-oceà ECHAM5/MPI-
16 OM (Roeckner et al., 2003; Marsland et al., 2003) de l'IPCC (2007) a 1,875° de resolució
17 espacial horitzontal, 19 nivells verticals i disponibles cada 6 h (00, 06, 12 i 18 UTC): dues per
18 al s. XX (Roeckner, 2005a,b) i sis per al s. XXI forçades pels escenaris d'emissions definits a
19 Nakićenović et al. (2000): A2 (Roeckner et al., 2006a,d), A1B (Roeckner et al., 2006b,e) i B1
20 (Roeckner et al., 2006c,f). Amb aquestes dades es van generar les projeccions regionalitzades
21 amb el WRF-ARW per al període 1971-2050. (<http://cera-www.dkrz.de/CERA/index.html>).

22 Malla de temperatura i precipitació diàries a 0,2° de resolució (~0,22 km) per a tota la
23 península Ibèrica i les Balears (SP02; Herrera, et al., 2012). S'ha utilitzat per a comparar-la
24 amb les dades simulades amb el WRF-ARW per al període de control 1971-2000.

25

26 **3 Metodologia**

27 **3.1 Sistema de modelització**

28 La configuració del model WRF-ARW s'ha basat en els resultats d'estudis previs amb
29 aquest model per a la mateixa zona d'estudi (Jorba et al., 2008; Mercader et al., 2010). S'han

1 definit dos dominis d'integració niats unidireccionalment de 30 i 10 km sobre l'àrea d'interès
2 i evitant discontinuïtats en els relleus orogràfics principals (Fig. 1). S'han emprat 33 nivells
3 verticals sigma fins a un cim de l'atmosfera situat a 10 hPa, per a capturar adequadament els
4 fenòmens de transport entre la troposfera i l'estratosfera.

5 Per motius computacionals, les simulacions es van dividir en períodes de cinc anys,
6 amb un interval previ d'escalfament de quatre mesos per a minimitzar l'efecte de les
7 condicions inicials. La Taula 1 resumeix les característiques principals de les nou simulacions
8 desenvolupades amb el WRF-ARW. Més detalls sobre la configuració i validació del sistema
9 de modelització es poden trobar a Gonçalves et al. (2014) i Barrera-Escoda et al. (2014).

10 **3.2 Avaluació de la temperatura simulada**

11 El WRF-ERA40 a 10 km tendeix a subestimar la temperatura (-1,3°C de mitjana). Per
12 algunes àrees (per exemple la costa valenciana o els Pirineus) els biaixos arriben a ser més
13 grans (al voltant de -2,5°C). També es capaç de reproduir l'evolució interanual de les
14 observacions amb una correlació temporal molt elevada per al conjunt del domini ($r=0,93$).
15 Per una altra banda, captura considerablement bé el patró geogràfic de la temperatura mitjana
16 anual (TMA) (correlació espacial $r=0,97$) i amb uns biaixos inferiors als obtinguts amb
17 simulacions de menor resolució. Per a il·lustrar aquest fet, a la Fig. 2 es mostra un diagrama
18 de Taylor (Taylor, 2001) que serveix per a comparar l'habilitat que té un model en reproduir
19 la variabilitat espacial de les observacions. En aquesta figura es comparen les habilitats del
20 WRF-ERA40 (a 30 i 10 km) amb les 17 diferents simulacions regionalitzades a 25 km del
21 projecte ENSEMBLES (van der Linden i Mitchell, 2009) i l'ERA40.

22 **3.3 Avaluació de la precipitació simulada**

23 El WRF-ERA40 a 10 km sobreestima el camp de precipitació mitjana anual (PMA)
24 respecte les observacions. Els biaixos relatius es troben generalment per sota del 30%, amb
25 els valors més elevats als Pirineus (desviacions fins a 120%). També és capaç de reproduir el
26 cicle estacional de la precipitació, tot i que sobreestimant la precipitació per a totes les
27 estacions de l'any. Malgrat aquestes desviacions, el WRF-ERA40 reproduïx acceptablement
28 bé l'evolució temporal de les observacions (Fig. 3a). El patró geogràfic de les observacions

1 també està ben capturat ($r=0,81$) amb biaixos inferiors als de simulacions a menor resolució
2 (Fig. 3b).

3

4 **4 Projeccions regionalitzades**

5 **4.1 Projeccions de temperatura**

6 La TMA s'espera que augmenti cap a mitjans del segle XXI respecte 1971-2000,
7 independentment de l'escenari considerat (Fig. 4). Tots els escenaris presenten una tendència
8 estadísticament significativa entre $+0,4$ i $+1,4^{\circ}\text{C}$ en 50 anys i un augment de la variabilitat
9 interanual respecte el període de control, tot i que sobreestimada per les simulacions. Les
10 observacions presenten una dispersió ($\sigma=0,4^{\circ}\text{C}$) per a 2001-2013 en front de $\sigma\sim 0,7^{\circ}\text{C}$ per a les
11 diferents projeccions regionalitzades. Geogràficament, existeix un gradient latitudinal i
12 altitudinal en la variació projectada de temperatura, sent major a més altitud i/o latitud. Els
13 Pirineus serien la zona més afectada, independentment de l'escenari considerat.

14 En relació als extrems de temperatura, també es projecta un augment de les màximes
15 (TX) i mínimes (TN) diàries, de fins a $+3,5^{\circ}\text{C}$ i $+1,5^{\circ}\text{C}$ cap al 2050, respectivament. També
16 augmentarien considerablement el número de nits tropicals ($\text{TN}\geq 20^{\circ}\text{C}$) a la zona litoral i
17 prelitoral. Els dies de glaçada ($\text{TN}\leq 0^{\circ}\text{C}$) es reduirien notablement a l'alta muntanya.

18 **4.2 Projeccions de precipitació**

19 Tot i que es projecta que la PMA disminueixi (-5 a -13%) cap a mitjans del s. XXI
20 respecte 1971-2000, aquesta tendència no és estadísticament significativa per a tota la zona
21 d'estudi. Geogràficament (veure Fig. 5), la PMA disminuirà (-10 a -25% per a 2021-2050
22 respecte 1971-2000) molt probablement als Pirineus i al sistema Ibèric, independentment de
23 l'escenari considerat. En canvi, a la zona interior les variacions projectades de la PMA no són
24 estadísticament significatives aplicant-hi una prova bilateral de la t de Student. Per una altra
25 banda, es projecta un augment de la variabilitat interanual de la PMA, passant d'un coeficient
26 de variació (CV) del $17-19\%$ per a 1971-2000 a un $\text{CV}=18-23\%$ per a 2031-2050, tot i que
27 sobreestimada per les simulacions. Les observacions presenten un $\text{CV}=14\%$ per a 2001-2013
28 en front de $\text{CV}\sim 26\%$ per a les diferents projeccions regionalitzades.

1 En relació als extrems de precipitació, la probabilitat d'ocurrència dels episodis de
2 pluja diària superior als 500 mm, que en el període de control és pràcticament nul·la, passaria
3 a tenir una probabilitat no nul·la. En referència als episodis de més de 200 mm en 24h la
4 probabilitat per a 2021-2050 seria el doble que l'existent per a 1971-2000. Aquestes
5 projeccions comportarien un augment de les inundacions catastròfiques. Per una altra banda,
6 la durada de les sequeres podria augmentar significativament tenint en compte la combinació
7 de l'augment projectat de les temperatures i la disminució de la precipitació.

9 **5 Conclusions**

10 El mètode utilitzat per a generar projeccions climàtiques a Catalunya i la conca del
11 Mediterrani nord-occidental ha mostrat una gran habilitat a l'hora de reproduir els patrons
12 generals espai-temporals de la temperatura i la precipitació. Malgrat les seves limitacions, les
13 projeccions desenvolupades a 10 km proporcionen un valor afegit per a l'anàlisi climàtica, el
14 qual justifica l'esforç computacional en regions amb una topografia complexa i una gran
15 variabilitat climàtica. Permeten proporcionar una millor definició dels detalls locals de la
16 variació projectada de temperatura i precipitació fonamentals per als gestors públics. També
17 permeten identificar les àrees més vulnerables al Canvi Climàtic, com els Pirineus, on tots els
18 escenaris coherentment projecten els augments més elevats de temperatura i les reduccions
19 més importants en precipitació. Resultats preocupants, ja que podrien reduir considerablement
20 l'aigua disponible en els principals embassaments del territori.

21 **Agraïments**

22 Els autors volen agrair a l'ECMWF per les dades de l'ERA40 i al CERA (portal web
23 del Centre Mundial de Dades Climàtiques d'Hamburg, *World Data Center for Climate*
24 *Hamburg*) per les dades de les simulacions climàtiques globals de l'ECHAM5/MPI-OM.
25 També volem agrair l'AEMET i la Universitat de Cantàbria per la malla de dades diàries de
26 temperatura i precipitacions Spain02 (<http://www.meteo.unican.es/datasets/spain02>).

1 **Referències**

- 2 Barrera-Escoda A, Cunillera J, 2011: Projeccions de canvi climàtic per a Catalunya (NE
3 Península Ibèrica). Part I: modelització climàtica regional, *Tethys*, 8, 77-89.
4 doi:10.3369/tethys.2011.8.08.
- 5 Barrera-Escoda A, Gonçalves M, Guerreiro D, Cunillera J, Baldasano JM, 2014: Analysis of
6 projections of temperature and precipitation extremes in the North Western
7 Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution
8 (1971-2050), *Climatic Change*, 122(4), 567-582. doi:10.1007/s10584-013-1027-6.
- 9 Christensen JH, Carter TR, Rummukainen M, Amanatidis G, 2007: Evaluating the
10 performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project, *Climatic*
11 *Change*, 81, 1-6. doi:10.1007/s10584-006-9211-6.
- 12 Dudhia J, 1989: Numerical study of convection observed during the winter monsoon
13 experiment using a mesoscale two-dimensional model., *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077-3107.
- 14 Gonçalves M, Barrera-Escoda A, Guerreiro D, Baldasano JM, Cunillera J, 2014: Seasonal to
15 yearly assessment of temperature and precipitation trends in the North Western
16 Mediterranean Basin by dynamical downscaling of climate scenarios at high resolution
17 (1971-2050), *Climatic Change*, 122(1-2), 243-256. doi:10.1007/s10584-013-0994-y.
- 18 Herrera S, Gutiérrez JM, Ancell R, et al., 2012: Development and analysis of a 50-year high-
19 resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02), *Int. J. Climatol.*,
20 32, 74-85. doi:10.1002/joc.2256.
- 21 Hong S, Dudhia J, Chen S, 2004: A revised approach to ice microphysical processes for the
22 bulk parameterization of clouds and precipitation, *Mon. Weather Rev.*, 132, 103-132.
- 23 Hong S, Noh Y, Dudhia J, 2006: A new vertical diffusion package with an explicit treatment
24 of entrainment processes, *Mon. Weather Rev.*, 134, 2318-2341.
- 25 Iacono MJ, Delamere JS, Mlawer EJ et al., 2009: Radiative forcing by long-lived greenhouse
26 gases: Calculations with the AER radiative transfer models, *J. Geophys. Res.*, 113,
27 D13103. doi:10.1029/2008JD009944.

- 1 IPCC, 2007: Climate change 2007: The physical science basis, Working Group I contribution
2 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
3 (IPCC-AR4), Cambridge University Press, Cambridge, <http://ves.cat/1-zl>
- 4 IPCC, 2013: Climate change 2013: The physical science basis, Working Group I contribution
5 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
6 (IPCC-AR5), Cambridge University Press, Cambridge, <http://ves.cat/1-zm>
- 7 Jiménez-Guerrero P, Montávez JP, Domínguez M, et al., 2013: Mean fields and interannual
8 variability in RCM simulations over Spain: the ESCENA project, *Clim. Res.*, 57, 201-
9 220. doi:10.3354/cr01165.
- 10 Jorba O, Loridan T, Jiménez-Guerrero P, Baldasano JM, 2008: Annual evaluation of WRF-
11 ARW and WRF-NMM meteorological simulations over Europe. 9th Annual WRF
12 Users' Workshop, 23-27 June, 2008. Boulder, CO, USA.
- 13 Kain JS, 2004: The Kain-Fritsch convective parameterization: An update, *J. Appl. Meteorol.*,
14 43, 170-181.
- 15 Marsland SJ, Haak H, Jungclaus JH, et al., 2003: The Max-Planck-Institute global ocean/sea-
16 ice model with orthogonal curvilinear coordinates, *Ocean Model*, 5, 91-127.
17 doi:10.1016/S1463-5003(02)00015-X.
- 18 Mercader J, Codina B, Sairouni A, Cunillera J, 2010: Resultats del model meteorològic WRF-
19 ARW sobre Catalunya, utilitzant diferents parametritzacions de la convecció i la
20 microfísica de núvols, *Tethys*, 7, 77-89. doi:10.3369/tethys.2010.7.07.
- 21 Nakićenović N, Swart R, Alcamo J, et al., 2000: Emissions Scenarios 2000–Special Report of
22 the Intergovernmental Panel on Climate Change (SRES), Cambridge University Press,
23 Cambridge, <http://ves.cat/1-zn>
- 24 Niu GY, Yang ZL, Mitchell KE et al., 2011: The community Noah land surface model with
25 multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with
26 local-scale measurements, *J. Geophys. Res.*, 116, D12109.
27 doi:10.1029/2010JD015139.

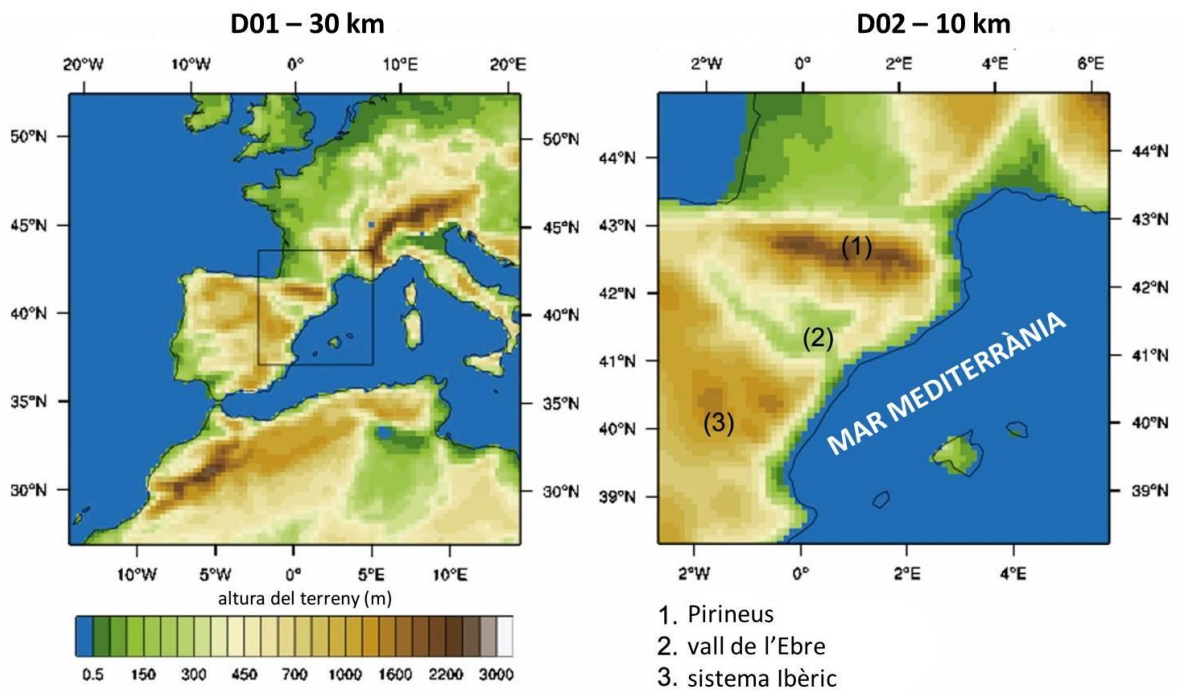
- 1 OCCC, 2012: Estratègia catalana d'adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC). Horitzó 2013-
2 2020, Oficina Catalana del Canvi Climàtic, Departament de Territori i Sostenibilitat,
3 Generalitat de Catalunya, Barcelona, <http://ves.cat/l-Fz>.
- 4 Uppala SM, Kållberg PW, Simmons AJ et al., 2005: The ERA-40 re-analysis, Q. J. R.
5 Meteorol. Soc., 131, 2961-3012. doi:10.1256/qj.04.176.
- 6 Roeckner E, Bäuml G, Bonaventura L, et al., 2003: The atmospheric general circulation
7 model ECHAM5. Part I, Max-Planck Institut für Meteorologie, Report No. 349,
8 Hamburg, <http://ves.cat/l-xr>
- 9 Roeckner E, 2005a: IPCC MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40 20C3M_all run
10 no.1: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaDGermany, World Data Center for
11 Climate, Hamburg, Germany. CERA-DB "EH5-T63L31_OM_20C3M_1_6H"
- 12 Roeckner E 2005b: IPCC MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40 20C3M_all run no.3:
13 atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaDGermany, World Data Center for Climate.
14 Hamburg. CERA-DB "EH5-T63L31_OM_20C3M_3_6H"
- 15 Roeckner E, Lautenschlager M, Schneider H, 2006a: IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31
16 MPI-OM_GR1.5L40 SRESA2 run no.1: atmosphere 6 HOUR values
17 MPImet/MaDGermany, World Data Center for Climate, Hamburg. doi:
18 10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-GR1.5L40_A2_1_6H
- 19 Roeckner E et al., 2006b: IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40 SRESA2
20 run no.3: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaDGermany, World Data Center for
21 Climate, Hamburg. doi:10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-GR1.5L40_A2_3_6H
- 22 Roeckner E et al., 2006c: IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40
23 SRESA1B run no.1: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaDGermany, World Data
24 Center for Climate, Hamburg. doi:10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-
25 GR1.5L40_A1B_1_6H
- 26 Roeckner E et al., 2006d: IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40
27 SRESA1B run no.3: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaDGermany, World Data
28 Center for Climate, Hamburg. doi:10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-
29 GR1.5L40_A1B_3_6H

- 1 Roeckner E et al., 2006e: IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40 SRESB1
2 run no.1: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaDGermany, World Data Center for
3 Climate, Hamburg. doi:10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-GR1.5L40_B1_1_6H
- 4 Roeckner E et al., 2006f: IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40 SRESB1
5 run no.3: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaDGermany, World Data Center for
6 Climate, Hamburg. doi:10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-GR1.5L40_B1_3_6H
- 7 Skamarock WC, Klemp JB, 2008: A time-split non hydrostatic atmospheric model for
8 weather research and forecasting applications, J. Comput. Phys., 227, 3465-3485.
- 9 Taylor KE, 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, J.
10 Geophys. Res., 106(D7), 7183–7192. doi:10.1029/2000JD900719.
- 11 van der Linden P, Mitchell JFB, 2009: ENSEMBLES: Climate change and its impacts.
12 Summary of research and results from the ENSEMBLES project, Met Office Hadley
13 Centre, Exeter, <http://ves.cat/l-zC>
- 14

1 Taula 1. Definició dels diferents escenaris i configuracions del model.

Acrònim	Forçament global	Període temporal
1. WRF-ERA40	ERA40	1971-2000
2. WRF-EH5OMs1	ECHAM5/MPI-OM_CTRL sim1	1971-2000
3. WRF-EH5OMs3	ECHAM5/MPI-OM_CTRL sim3	1971-2000
4. WRF-EH5OMs1-B1	ECHAM5/MPI-OM_B1 sim1	2001-2050
5. WRF-EH5OMs1-A1B	ECHAM5/MPI-OM_A1B sim1	2001-2050
6. WRF-EH5OMs1-A2	ECHAM5/MPI-OM_A2 sim1	2001-2050
7. WRF-EH5OMs3-B1	ECHAM5/MPI-OM_B1 sim3	2001-2050
8. WRF-EH5OMs3-A1B	ECHAM5/MPI-OM_A1B sim3	2001-2050
9. WRF-EH5OMs3-A2	ECHAM5/MPI-OM_A2 sim3	2001-2050
Tipus de Parametrització	Nom	Referència
Microfísica	Esquema WSM-3	Hong et al. (2004)
Convecció	Esquema de Kain-Fritsch	Kain (2004)
Radiació d'ona llarga	Esquema RRTM	Iacono et al. (2009)
Radiació d'ona curta	Esquema de Dudhia	Dudhia (1989)
Capa límit	Esquema YSU	Hong et al. (2006)
Model de sòl	Noah LSM	Niu et al. (2011)

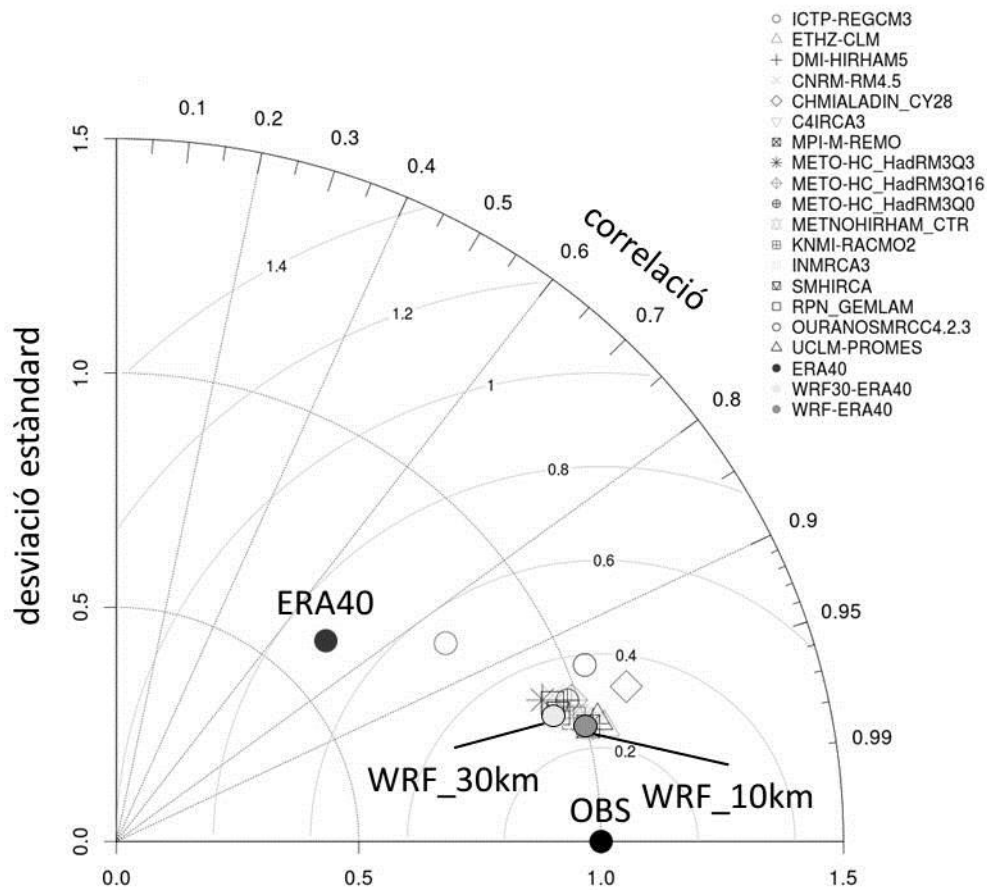
2



1

2 Figura 1. Dominis d'integració definits a les projeccions regionalitzades amb el model WRF-
 3 ARW: D01 (esquerra, domini mare) de 30 km de resolució horitzontal (100×100 cel·les) i
 4 centrat a 41°N 0°E i D02 (dreta, domini niat) de 10 km de resolució (76×76 cel·les). L'altura
 5 del terreny (m) està representada tal i com està definida pel propi model WRF-ARW a la
 6 resolució indicada (Adaptada de Gonçalves et al., 2014).

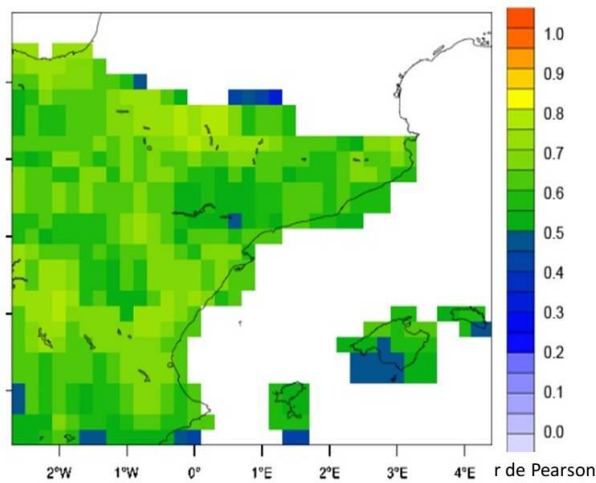
7



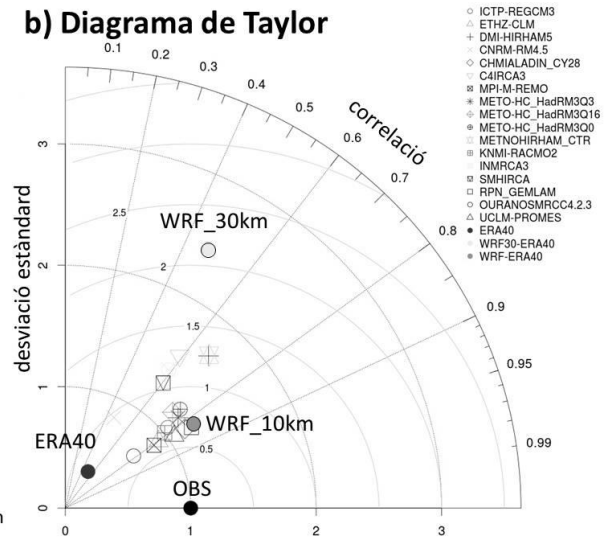
1
 2 Figura 2. Diagrama de Taylor comparant l'habilitat espacial (1971-2000) de les reanàlisis de
 3 l'ERA40, les simulacions regionalitzades a 25 km del projecte ENSEMBLES (17 models) i
 4 les simulacions del WRF-ERA40 a 30 i 10 km, respecte la malla d'observacions SP02. La
 5 correlació espacial de Pearson es mostra a l'eix radial, la desviació estàndard (σ) a l'eix XY i
 6 l'arrel de l'error quadràtic mitjà (RMSE) en els arcs dins del plafó. RMSE i σ estan
 7 normalitzats per tots els models dividint-los per la σ de l'SP02. El punt negre a l'eix X
 8 representa el valor de les observacions ($\sigma=1$, correlació i RMSE=0) (Adaptada de Gonçalves
 9 et al., 2014).

10
 11

a) Mapa de correlacions mensuals



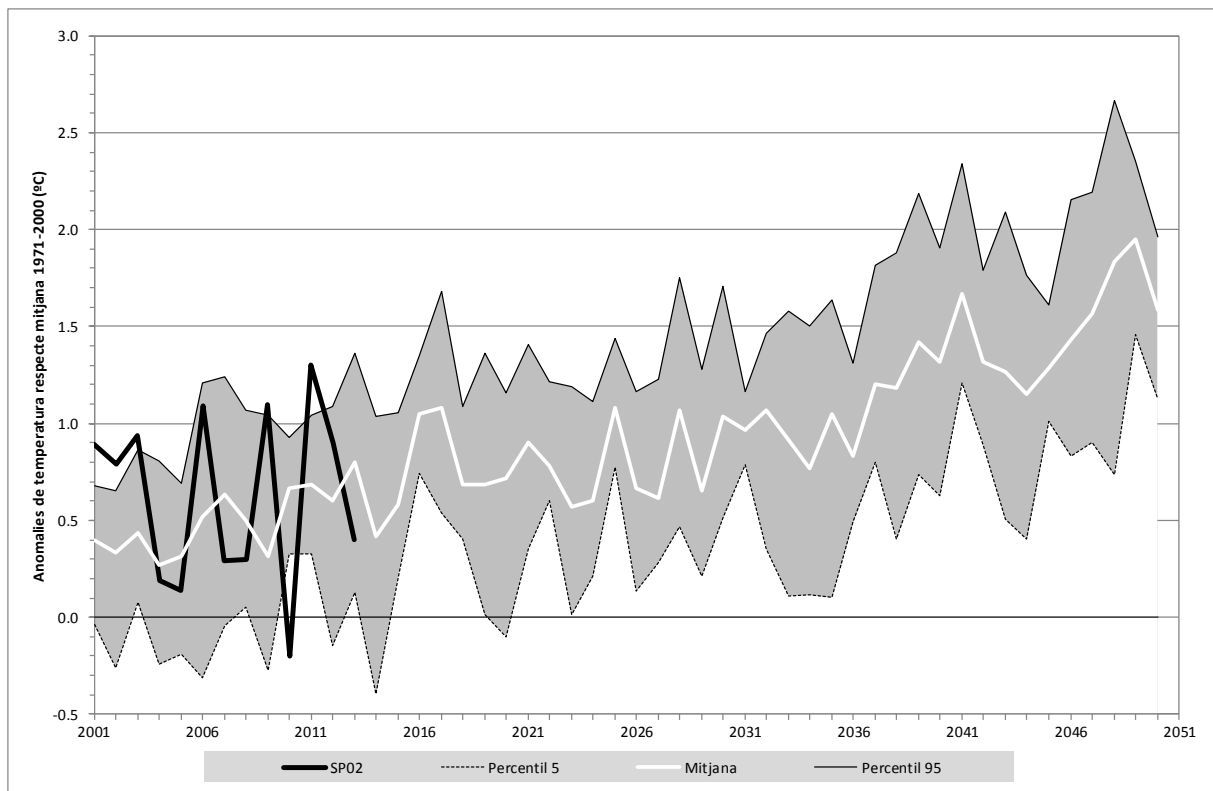
b) Diagrama de Taylor



1

2 Figura 3. a) Mapa de correlacions mensuals (1971-2000) per a la precipitació entre la
3 simulació del WRF-ERA40 a 10-km i la malla d'observacions SP02. b) Ídem que la Fig. 2,
4 però per a la precipitació. (Figures adaptades de Gonçalves et al., 2014).

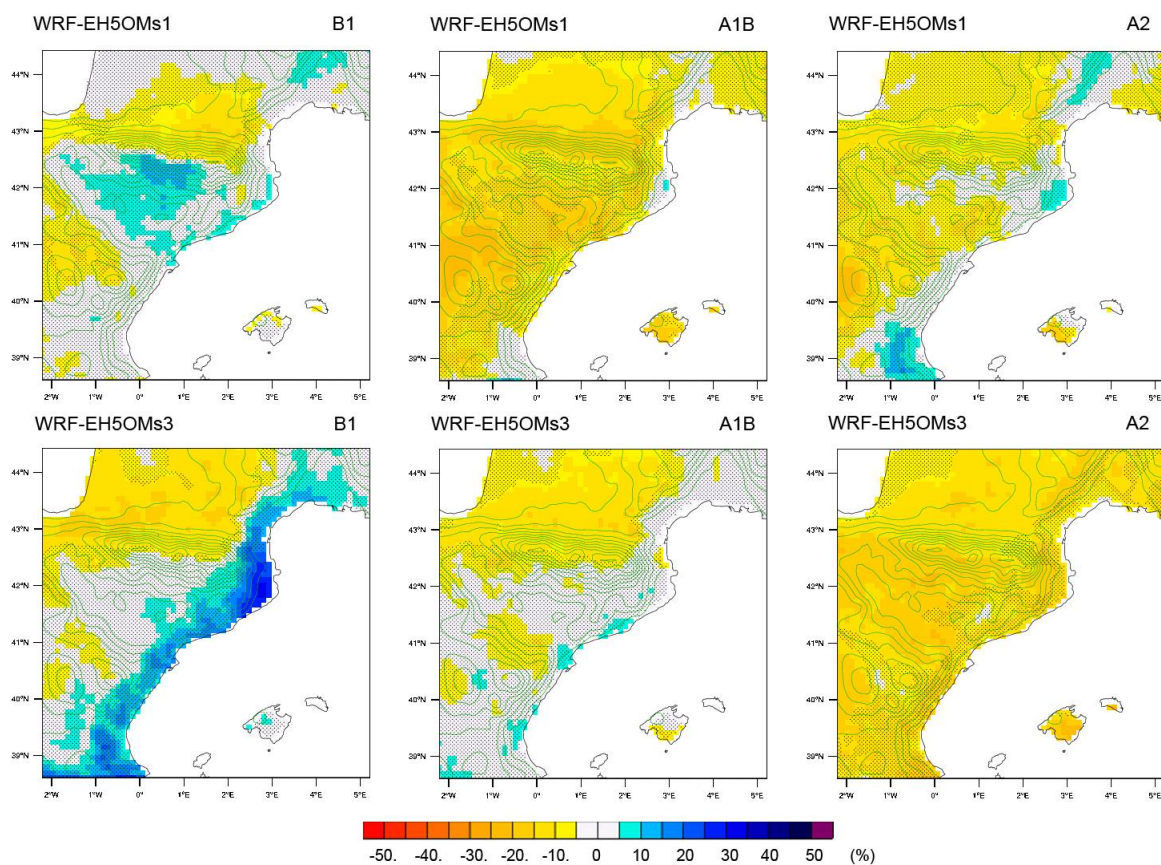
5



1

2 Figura 4. Evolució temporal (2001-2050) de les anomalies anuals de temperatura projectades
 3 a partir de les simulacions regionalitzades amb el WRF-EH50M a 10 km per al conjunt de la
 4 conca de la Mediterrània nord-occidental tenint en compte els escenaris d'emissions B1, A1B
 5 i A2.

6



1

2 Figura 5. Diferències en la precipitació mitjana anual (%) entre 2021-2050 i 1971-2000 a la
 3 conca del Mediterrani nord-occidental projectades pel WRF-EH5OMs1 (mapes superiors) i
 4 WRF-EH5OMs3 (mapes inferiors) a 10 km segons els escenaris d'emissions B1, A1B i A2
 5 (d'esquerra a dreta). Les zones ombrejades representen els punts de malla on les diferències
 6 no són estadísticament significatives considerant una prova bilateral de la t de Student amb un
 7 nivell de confiança del 95 %. Les línies de contorn dels mapes representen l'altura del terreny
 8 cada 200 m.