

EL ROL DE LA RADIACIÓ SOLAR I LES COBERTES EN LA GENERACIÓ DE MODELS DIGITALS CLIMÀTICS.

AUTOR: POL PUIG

DIRECTOR/S DEL PROJECTE: MIQUEL NINYEROLA I MERITXELL BATALLA

RESUM: Aquest estudi presenta una metodologia empírica per a millorar la modelització de la cartografia de la temperatura de l'aire i la precipitació, utilitzant mètodes que combinen la regressió múltiple amb la interpolació dels residus en un entorn SIG. Així doncs, s'han dissenyat un seguit d'experiments *ad-hoc* per estudiar el rol de factors que, *a priori* tenen un fort pes en l'elaboració de models digitals de temperatura i precipitació com són la radiació solar i les cobertes del sòl. L'objectiu és entendre quins papers juguen aquests dos factors per a poder incorporar-los en el procés de generació de cartografia de temperatures i precipitacions.

Els resultats mostren com el rol de la radiació solar no millora els models, només en determinades condicions i àmbits, i amb l'ús de cobertes, s'aconsegueix millorar-los, obtenint diversos graus de millora en funció dels mesos modelats i variables.

Paraules clau: SIG, interpolació espacial, radiació solar, NDVI, models digitals climàtics, regressió múltiple, temperatura mitjana, temperatura mitjana de les màximes, temperatura mitjana de les mínimes, precipitació.

1. INTRODUCCIÓ

Durant l'última dècada, l'interès per entendre, analitzar i quantificar el clima ha anat en augment. El sistema climàtic del nostre planeta és complex i canviant; Disposar d'eines que ens permetin estudiar-lo és de cabdal importància ja que el clima afecta a multitud de processos i àrees diverses com són la salut, la biodiversitat i els ecosistemes o els desastres ambientals.

Els Model Digital Climàtics (MDC) responen a aquestes necessitats ja que l'entorn SIG proporciona eines per al filtrat de dades de les estacions meteorològiques, preparació de les variables geogràfiques, afavoreix els passos de post producció i elaboració, permet l'aplicació de diversos mètodes d'interpolació i facilita l'actualització de mapes sempre que hi ha nova informació disponible. A més a més, permet la validació dels mapes a través d'índexs de qualitat.

Per tal d'obtenir aquests models és necessari especialitzar les dades dels sensors disponibles ja siguin *in-situ* (estacions meteorològiques) o *ex-situ* (informació satel·litària). Aquest procés d'interpolació espacial està oferint resultats força satisfactoris i útils per a la comunitat científica i pels gestors ambientals però no està exempt de dificultats. En aquest projecte proposem dissenyar un seguit d'experiments que permetin avançar en aquesta direcció de millora.

La utilització d'eines de SIG per la modelització climatològica, juntament amb mètodes estadístics, és un avanç important en aquest àmbit. A partir de dades empíriques obtingudes a les estacions meteorològiques i gràcies a un acurat anàlisi i

processament d'aquestes, es proposa un mètode objectiu per obtenir superfícies contínues de temperatura i precipitació, a partir de les dades de les estacions meteorològiques disponibles en l'àmbit d'estudi. D'aquesta manera es crea un nexa que ens permet combinar la modelització climàtica i la interpolació espacial amb tècniques de mapeig. A més de produir resultats precisos, aquest mètode ens permet explorar la relació entre els elements del clima (en el nostre cas, la temperatura de l'aire i la precipitació acumulada com a variables dependents) i els factors geogràfics (variables independents).

L'objectiu és millorar el mètode de generació de cartografia de mapes climàtics que presentin la màxima objectivitat i aproximació cartogràfica, a partir de les dades de les estacions meteorològiques disponibles en l'àmbit d'estudi tenint en compte la informació geogràfica existent (NINYEROLA et al., 2005). En aquest cas s'ha optat per utilitzar una metodologia d'interpolació espacial basada en l'anàlisi de regressió múltiple, és a dir, s'estimarà el valor de la temperatura (dècimes de grau) o precipitació (dècimes de mil·límetre) que té una cel·la basant-se en les principals variables geogràfiques susceptibles d'influir en el clima i de les quals tenim informació en format SIG.

El primer experiment parteix de la pregunta següent: Quina és la influència de la radiació solar sobre la temperatura de l'aire des d'un punt de vista quantitatiu? La dificultat per respondre aquesta pregunta rau en el fet que hi ha una gran quantitat d'estacions meteorològiques situades en zones on la radiació solar és similar. Aquest fet ens fa pensar que el rol de la variable radiació quedi

“apagat” quan, per contra, intuïtivament podem pensar que hauria d'influir fortament en la temperatura. La idea és fer un disseny, *ad hoc* basat en un mostreig més equitatiu de l'espai estadístic, per tal de detectar quin és el paper de la radiació.

Anteriors estudis havien reflectit la baixa influència de la radiació sobre la temperatura tant pel que fa a l'àmbit de Catalunya com en l'àmbit de la península Ibèrica (NINYEROLA et al, 2000). No obstant, en l'aplicació d'aquestes metodologies en una regió molt muntanyosa, s'ha observat que la radiació hi juga un paper important (BATALLA, Com. Per.) tal i com succeeix en l'Atlas Climàtic Digital d'Andorra (BATALLA et al, 2012)..

El segon experiment està basat en la incorporació de l'índex de vegetació NDVI com a *proxy* del tipus de cobertes del sòl. Existeixen alguns treballs (KALNAY et al, 2003 i CRISTÒBAL et al, 2008) que mostren la relació entre el tipus de coberta i el clima. Es pretén utilitzar aquesta relació per a millorar els models de temperatura i precipitació.

2. ÀREA D'ESTUDI

En el primer experiment l'àmbit d'estudi és la península Ibèrica i els Pirineus.

La península Ibèrica es troba al sud-oest d'Europa, entre els 10° 07' O i 2° 54' E (~ 1000 km) de longitud, i entre 43° 42' N i 35° N (~ 850 km) de latitud amb una superfície de 505000 km². S'ha utilitzat la projecció Universal Transversal de Mercator (UTM) en aquest estudi.

Els Pirineus es troben al nord de la península Ibèrica entre els 2° 03' O i 2° 45' de longitud, i entre 41° 55' i 43° 42' N de latitud amb una superfície de 116.000 km².

L'experiment relacionat amb el rol de les cobertes està centrat a Catalunya, situada al nord-est de la Península Ibèrica, amb una extensió de 32000 km² entre els 3° 20' E i 0° 10' E de longitud, i entre 42° 52' N i 40° 31' N de latitud. S'ha utilitzat la projecció Universal Transversal de Mercator (UTM) fus 31 nord amb datum ED50 en aquesta àrea d'estudi.

3. MATERIAL I MÈTODES

3.1 Mètode d'interpolació

Els mètodes d'interpolació per funcions de regressió es basen en l'anàlisi de les relacions espacials entre algunes variables del territori. En els estudis de clima sol ser usual l'establiment de funcions que expliquin les relacions que s'estableixen entre les variables climàtiques (dependents) i les geogràfiques (independents). La interpolació per funcions de regressió es basa en

l'estimació de les dades no mostrals en funció d'aquesta relació, que sol ser establerta utilitzant una recta com a model en què la variable no climàtica adquireix el caràcter d'independent (HERNÁNDEZ et al, 2002).

Per obtenir els mapes de temperatura, s'utilitza el mètode d'interpolació d'invers de la distància, ja que el model funciona millor que amb altres mètodes com la funció regularitzada spline (NINYEROLA et al., 2007). En aquest cas s'ha triat el valor 2 com a exponent de l'invers de la distància.

3.2 Variables dependents

Les variables dependents utilitzades en el conjunt d'experiments es corresponen a les dades de les estacions meteorològiques de precipitació (PL), temperatura mitjana (MT), temperatura mitjana de les mínimes (MN) i temperatura mitjana de les màximes (MX). Aquestes dades s'han obtingut a partir de l'AEMET (Agència Estatal de Meteorologia). Les sèries de dades de les estacions corresponen al període comprès entre els anys 1950 i 2010.

Per cada mes, s'ha filtrat sèries de 15 anys en el cas de la temperatura i de 20 anys en el cas de la precipitació. S'han obviat els registres en els que no es disposa de sèries de com a mínim aquests períodes. A més a més, aquestes estacions es localitzen homogèniament repartides per tot el territori de la Península Ibèrica (característica imprescindible per obtenir un producte de qualitat), a excepció de la zona de Portugal (DE CASTRO, 2014).

Per l'àmbit de Catalunya s'han utilitzat dades de les estacions meteorològiques del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) amb una resolució temporal compresa entre els anys 2001 i 2010.

Estan formades per dades de temperatura mitjana (MT), temperatura mitjana mínima (MN), temperatura mitjana màxima (MX) i precipitació (PL). Les temperatures estan expressades en dècimes de grau i la precipitació en dècimes de mil·límetre.

A l'àmbit dels Pirineus s'ha utilitzat un conjunt d'estacions procedents de Météo France juntament amb estacions del SMC.

3.3 Variables independents

Pel que fa a les variables independents, s'han introduït en el model les mateixes que en l'Atlas Climàtic Digital de la Península Ibèrica (NINYEROLA et al, 2005), excepte la variable de curvatura del terreny.

Així doncs, per al primer experiment amb l'àmbit de la Península Ibèrica les variables independents utilitzades són les següents: altitud (ALT), latitud (LAT), distància del Mediterrani, de l'Atlàntic i del Cantàbric (DIST_MED, DIST_ALT,

DIST_CAN) i radiació solar mensual (RAD_MES). Totes elles tenen una resolució espacial de 100metres.

La variable altitud s'ha creat utilitzant el GMDE d'ASTER. (DE CASTRO, 2014).

La latitud s'ha obtingut aplicant operadors de distancia des de l'Equador fins al punt desitjat sobre la corba de l'el·lipsoides terrestre.

La distancia als mars s'ha modelitzat utilitzant una funció logarítmica. Aquesta funció considera els efectes de barrera dels sistemes muntanyosos litorals: dos punts pròxims a prop de la costa tindran valors més diferents que dos punts pròxims allunyats de la costa (NINYEROLA et al., 2005). Tenen per objectiu capturar el patró de decreixement de la influència marítima en allunyar-nos de la costa de la millor manera possible.

La radiació solar és una variable summament interesant ja que conté informació topogràfica (el pendent i l'orientació) que influencia la temperatura de l'aire i la precipitació i informen l'usuari de la quantitat d'energia provinent del Sol que arriba a la superfície de la Terra, en MJ / (m²*dia*micròmetre), -considerant un cel clar sense núvols. Els mapes utilitzats han estat calculats a partir de la mitja dels mapes de radiació mensuals per al dia més representatiu de cada mes (NINYEROLA et al, 2005), seguint la metodologia proposada per Pons (1996) i refinada per Pons i Ninyerola (2008).

Dins el mateix experiment, en els Pirineus s'han utilitzat les mateixes variables però adaptades al nou àmbit.

Per a la zona de Catalunya s'han utilitzat les mateixes variables (ALT, LAT, DIST_MED i RAD_MES) però amb una resolució espacial de 90 metres i un àmbit adaptat.

A més a més d'aquestes, s'ha afegit la coberta d'usos del sòl com a variable en el respectiu experiment 2.

Aquesta coberta, elaborada a partir de dades MODIS mensuals, s'ha adaptat al mateix costat de píxel i àmbit que les altres variables amb el mòdul de MiraMon AdapRas, per al correcte funcionament del mòdul RegMult. Les dades tenen una resolució mensual de 10 anys (2001 al 2010) però s'han considerat els dos equinoccis i solsticis com a mesos representatius.

3.4 Experiment 1. El rol de la radiació solar

A partir de les dades d'estacions proporcionades per l'AEMET, i els arxius de radiació corresponents, s'ha basat l'experiment en dos solsticis, juny (JN) i desembre (DE), i dos equinoccis, març (MR) i setembre (SE). Combinant les dues capes, s'ha afegit a cada estació el valor de la radiació incident en ella. A partir d'aquests valors

podem estratificar el valor de la radiació en cadascun dels quatre mesos d'estudi i a partir d'aquests agrupar les estacions en grups estadístics en funció del rang de radiació rebuda a partir d'histogrames de freqüència (Taula 1).

Taula 1. Exemple d'estratificació per a les estacions de temperatura mitjana (MT) de març en funció de la radiació.

Març (MR)			
	Rad Incident	Freqüència Estacions total	Freqüència Estacions Estratificades
MT	900 a 1799	109	109
	1800 a 1899	158	109
	1900 a 1999	901	109
	2000 a 2099	494	109
	2100 i >	180	109

S'han seleccionat i eliminat les estacions aleatòriament per tal d'obtenir un nou conjunt d'estacions equitatiu al nombre d'estacions per classe estadística (Figura 1). Un cop fet aquest pas, per facilitar la validació dels resultats s'ha creat un camp a la taula dbf per separar un 70% dels punts de cada classe en punts d'ajust i el 30% restant en punts de test. D'aquesta manera s'ha procurat no donar cap pes a cap classe estratificada de radiació i poder assegurar que tot el procés s'ha dut a terme amb la més rigorosa objectivitat.

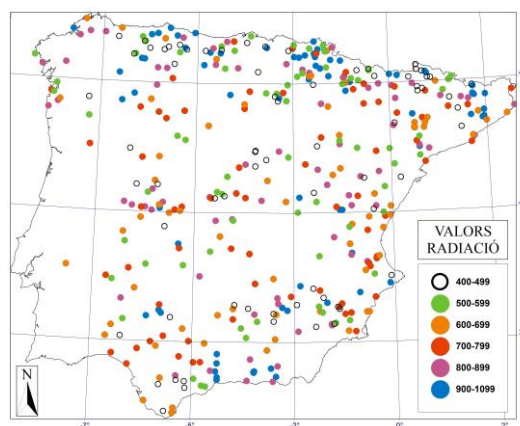


Figura 1. Distribució de les estacions estratificades de les temperatures mínimes del mes de Març. Valors de radiació en 10 kJ / (m²*dia*micròmetre).

A partir d'aquests nous arxius d'estacions estratificades s'ha fet una regressió multivariant amb el mòdul RegMult del SIG MiraMon (PONS, 2002), segons la metodologia proposada per Ninyerola, Pons i Roure (2007).

Com a model de comparació s'ha utilitzat una regressió que té com a variable dependent el conjunt original d'estacions de l'PAEMET sense estratificació. Les variables independents han estat les mateixes. En aquest cas, però, s'han distribuït aleatòriament els punts d'ajust i test.

El procés s'ha automatitzat mitjançant una sèrie de processos BATCH. D'aquesta manera, s'ha facilitat la realització dels càlculs de grans nombres de dades, permetent refer-los sempre que fos necessari.

Com que no s'ha trobat cap relació entre la radiació solar i la temperatura amb la simple estratificació de les dades, s'ha optat per buscar una nova manera per separar de la resta, aquelles estacions amb valors de radiació solar més extrems, en funció de si les estacions estan orientades cap al nord o cap al sud. Es va decidir triar les estacions segons la seva orientació enfront a triar directament aquelles amb valors màxims i mínims de radiació per mirar de tenir un cas el més net possible, per exemple, evitant zones que estan al sud però tenen valors baixos de radiació per motius de les ombres projectades, entre altres.

Les estacions situades al nord, al estar ubicades en una zona d'obaga reben menys radiació solar que les orientades al sud, situades en zones de solana, i de mitjana presenten temperatures més baixes. En cas de les estacions orientades al sud haurien de presentar temperatures més altes.

Per comprovar la influència de l'orientació de les estacions pel que fa a la radiació a l'hora de crear models climàtics s'ha utilitzat un mapa d'orientacions calculat a partir del MDE de la Península Ibèrica utilitzat en l'estudi (PONS, 2002).

Amb l'arxiu d'orientacions s'ha fet una combinació analítica de capes per cada MN, MT i MX de cada mes d'estudi (MR, JN, SE, DE) per conèixer quina orientació té cada estació i a partir d'aquí s'han seleccionat només les que estan al nord i al sud, és a dir, les zones d'obaga i solana. Per a dur a terme la validació dels resultats s'ha creat un camp a la taula dbf per separar un 70% dels punts de cada classe (nord i sud) en punts de validació i el 30% restant en punts de control.

Finalment s'ha fet la corresponent regressió utilitzant els mateixos paràmetres que en la regressió amb les dades estratificades, però en aquest cas s'ha fet servir un mostreig aleatori en la distribució dels punts entre ajust i test, sent un 70% el percentatge de punts d'ajust.

S'ha utilitzat com a model de comparació la mateixa regressió amb el total d'estacions elaborada anteriorment.

Aquest procediment també s'ha realitzat sobre l'àmbit de Catalunya i sobre els Pirineus.

3.5 Experiment 2: El rol de les cobertes del sòl

S'han utilitzat mapes mensuals any a any i històrics obtinguts a partir de la sèrie temporal de 10 anys de NDVI cedits per Cristina Domingo.

En la mateixa línia que l'experiment 1, s'ha treballat amb els dos mesos solsticials i els dos mesos equinoccials, tot adaptant el costat de píxel i l'àmbit a la resta de variables independents. Aquesta adaptació s'ha realitzat amb el mòdul AdapRas de MiraMon (PONS, 2002) utilitzant el mètode d'interpolació bilineal.

La regressió s'ha fet per a cadascun dels quatre mesos d'estudi al llarg dels 10 anys, obtenint així 10 resultats per a cada mes de l'estudi en quant a precipitació, temperatures mitjanes mínimes, temperatures mitjanes i temperatures mitjanes màximes.

A més a més, s'han obtingut també mapes de precipitació mitjana (PL) al llarg dels 10 anys així com de temperatures (MN, MT i MX); els fitxers utilitzats com a índex NDVI han estat els calculats a partir de la mitjana històrica de tota la sèrie per a cada més.

A pesar de que la base per a les cobertes del sòl ha estat estrictament depurada, i és presumiblement millor que els productes integrats oferts a Internet, els mapes d'índex NDVI mensuals presenten grans superfícies de NO DATA. Per no acumular zones sense dades a l'hora de fer la mitjana entre els 10 anys, s'ha seguit una estratègia alternativa per a millorar el model NDVI històric. S'ha reclassificat cada model en valors entre 0 i 1 en funció de si la cel·la era NO DATA (0) o tenia un valor de l'índex NDVI (1). A partir d'aquesta reclassificació s'han sumat els 10 models obtenint així un mapa amb valors compresos entre 0 i 10. El valor 0 indica NO DATA i els altres valors de 1 a 10 els cops que en aquell píxel hi ha agut valors de l'índex, així un píxel amb valor 3 significa que en el total dels 10 anys, només té valors d'índex NDVI 3 anys.

Aquest arxiu s'utilitzarà com a divisor per a crear l'arxiu històric de NDVI corresponent a cada mes, seguint la següent fórmula:

$$\text{NDVI HISTO} = \frac{\sum \text{NDVI [2001,2010]}}{\text{ARXIU DIVISOR}}$$

D'aquesta manera, cada píxel de la suma del conjunt de NDVI entre 2001 i 2010 s'ha dividit entre el nombre de cops que ha tingut valors diferents a NO DATA en el conjunt en sí. Així s'aconsegueix un model més complet i millorat ja que hi ha força presència de valors NO DATA en la sèrie (Annex 7).

En total s'han generat 176 models.

Com a model de comprovació de l'experiment la mateixa regressió s'ha efectuat prescindint de l'índex NDVI com a variable independent. D'aquesta manera s'han generat 176 arxius parells

en quant a mes i any per ser comparats amb els creats usant l'NDVI.

Cada estació s'ha enriquit a més a més amb la presència de cobertes del sòl que l'envolten en un radi de 500m per veure la variabilitat geogràfica d'aquestes. A cada estació se li ha aplicat un buffer de 500m i s'ha guardat com a arxiu poligonal. Posteriorment aquest polígon s'ha superposat sobre el Mapa de cobertes del sol a Catalunya (IBÀÑEZ et al, 2010) per conèixer així la influència rebuda per cada estació seguint el criteri de moda.

4. RESULTATS I DISCUSIÓ

4.1 Experiment 1: El rol de la radiació solar

4.1.1. Experiment en l'àmbit de la Península Ibèrica

S'han distingit els tres tipus de models segons el conjunt de dades a partir del qual han estat elaborats: conjunt d'estacions originals (model general), conjunt d'estacions estratificades (experiment 1.1) i conjunt d'estacions de cara nord i sud (experiment 1.2). S'han analitzat en cada cas els coeficients de l'ajust per la variable radiació solar (RAD), els coeficients de determinació (R^2) i els RMS obtinguts

En la majoria de casos no sembla que la selecció *ad-hoc* del conjunt d'estacions afecti en la relació de la radiació solar i la temperatura sobre els models creats en aquest experiment (1.1 i 1.2). La variable radiació no entra en la regressió seleccionada, i si ho fa, és aportant un percentatge molt baix de informació. Tot i que utilitzant el conjunt d'estacions original aquesta variable hi entra més sovint que en els models obtinguts en l'experiment, la radiació solar representa un percentatge baix de la regressió tenint poca influència en ella.

En els casos que la variable aconsegueix entrar en la regressió, aquesta presenta uns coeficients lleugerament més alts als del model general, mai superiors de 0,1.

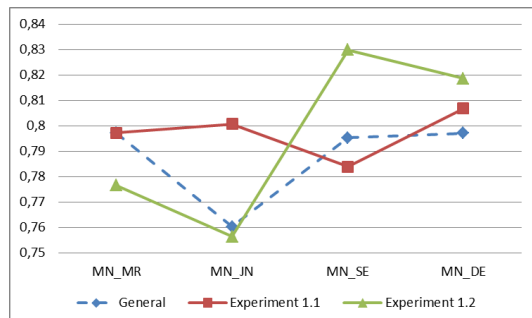


Figura 2. Gràfic dels resultats del R^2 entre el model general, el model de l'experiment 1.1(radiació) i el model de l'experiment 1.2 (orientació) sobre temperatures mitjanes mínimes a la península Ibèrica.

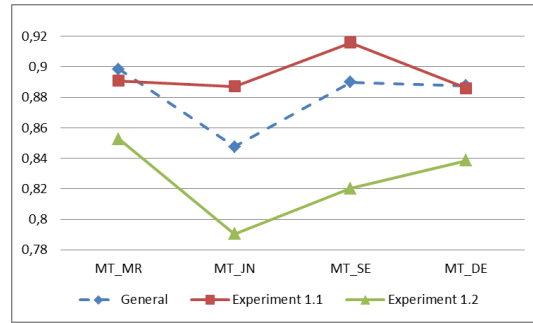


Figura 3. Gràfic dels resultats del R^2 entre el model general, el model de l'experiment 1.1 (radiació) i el model de l'experiment 1.2 (orientació) sobre temperatures mitjanes a la península Ibèrica.

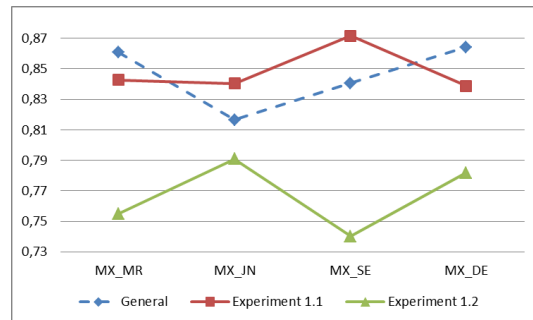


Figura 4. Gràfic dels resultats del R^2 entre el model general, el model de l'experiment 1.1 (radiació) i el model de l'experiment 1.2 (orientació) sobre temperatures mitjanes màximes a la península Ibèrica.

Es pot veure com a l'experiment 1.1, els valors de R^2 sovint són superiors als del model general i es mantenen constants entre 0,78 i 0,81 en el cas de les temperatures mínimes, entre 0,89 i 0,92 en el cas de les mitjanes i entre 0,84 i 0,87 en el cas de les màximes (Figures 2, 3 i 4).

No sembla que separar les estacions de radiació solar amb valors més extrems (experiment 1.2) millori l'ajust del model.

Quant als errors quadràtics mitjans, l'experiment 1.2 presenta els valors més elevats. A destacar, però, que en aquest cas es parteix d'un baix nombre d'estacions. Només aproximadament 100 estacions es trobaven situades a la cara nord i sud sobre el mapa d'orientacions, respecte les 500-600 estacions utilitzades en l'experiment 1.1 i les 1700-1900 estacions totals.

Per tal de veure el comportament espacial de l'efecte de la radiació solar sobre la modelització de la temperatura, s'ha obtingut un mapa de diferències entre la regressió obtinguda a l'experiment 1.1 i al model general. S'ha triat un cas en el qual la variable si que ha entrat en la regressió en ambdós experiments (MN_JN) i un cas on la variable no ha entrat (MT_JN)

Com es pot comprovar a la figura 5, gran part de la superfície estudiada presenta diferències no superiors a 1°C. A la figura 6 es mostra, en canvi, el mapa de diferències de les mitjanes de juny

(MT_JN) i s'observa també el mateix patró que el cas anterior on la radiació solar havia entrat als models.

MÍNIMES JUNY

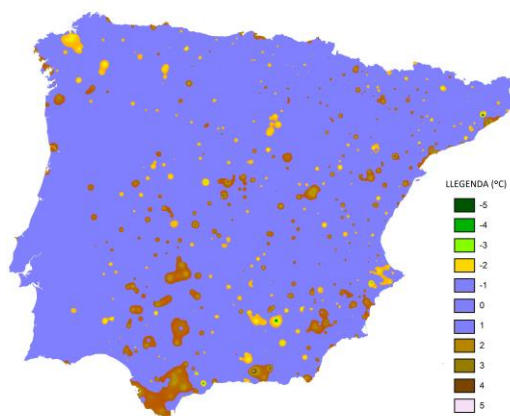


Figura 5. Diferència de graus entre el model general i el model de l'experiment 1.1 (radiació) per a les temperatures mínimes del mes de juny. Diferències de 1°C entre els dos models en blau.

Amb el tipus de mostreig utilitzat no ens ha estat possible capturar l'efecte que la radiació té sobre la temperatura. La radiació solar no ha tingut pes tampoc en les regressions dels experiments proposats. L'experiment 1.2, que pretenia detectar nivells de radiació mínims i màxims de zones d'obaga i solana i comprendre millor el paper de la radiació sobre la temperatura no ha suposat una millora en els models.

MITJANES JUNY

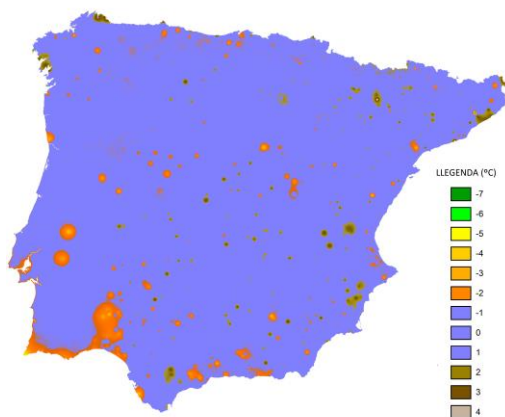


Figura 6. Diferència de graus entre el model general i el model de l'experiment 1.1 (radiació) per a les temperatures mitjanes del mes de juny. Diferències de 1°C entre els dos models en blau. En el model experimental no ha entrat la radiació en la regressió.

4.1.2. Experiment en l'àmbit de Catalunya i els Pirineus

La radiació solar, tot i ser una variable que entra poc en els models de temperatura per les estacions situades a Catalunya, sembla tenir una major influència, tal i com demostren els resultats obtinguts amb l'experiment 1.2. Si ens fixem en les temperatures mitjanes, es pot veure clarament la separació dels nivells de radiació entre les dos estacions orientades al nord i les orientades al sud tant pel que fa a la radiació com pel que fa a la temperatura amb valors més baixos en les estacions del nord (Annex 2). Tot i això s'esperava que hi hagués una distribució dels punts més lineal.

En aquest cas no s'han arribat a generar els models de regressió ja que dins el conjunt d'estacions per l'àmbit català, només 10 estacions complien els requisits d'estar situades al nord o al sud.

Els resultats de l'experiment 1.2 sobre l'àmbit dels Pirineus sí que mostren millores clares pel que fa al R^2 . Tot i que els resultats amb el conjunt de 164 estacions tenen uns R^2 alts, els models de l'experiment 1.2 generats amb les 37 estacions presenten uns R^2 en molts casos superiors (Annex 3).

Els millors resultats s'han obtingut en les temperatures mitjanes i mínimes, on la radiació ha entrat quasi sempre i amb més pes que en el model amb totes les estacions. També ha presentat millores significatives quant a R^2 (Figura 7)

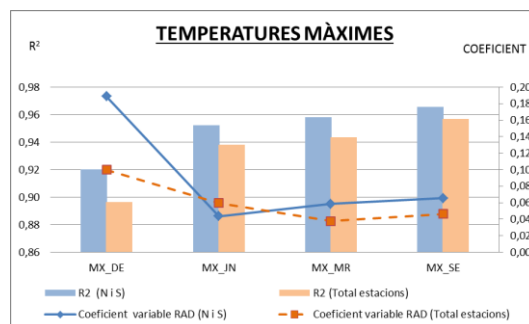
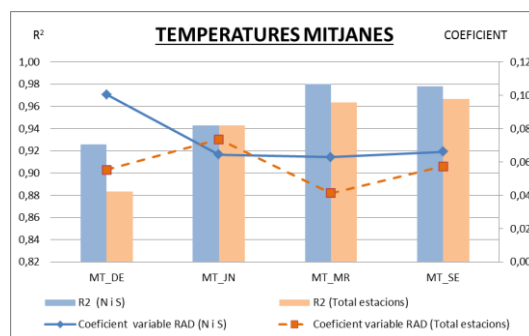


Figura 7. R^2 i coeficients d'ajust de les temperatures mitjanes i màximes per a l'experiment 1.2 en l'àmbit dels Pirineus.

Així doncs, Amb aquets resultats s'ha vist que l'àmbit dels Pirineus presenta millores en modelar la temperatura utilitzant estacions representatives dels mínims i màxims de radiació.

4.3 Experiment 2: El rol de les cobertes del sòl

S'han distingit els dos tipus de models segons el conjunt de dades a partir del qual han estat elaborats: el conjunt d'estacions amb variables independents originals (ALT, LAT, RAD, CONT) s'ha anomenat model general, i el mateix conjunt d'estacions amb la variable índex de vegetació NDVI, a més a més, com a variable independent s'ha anomenat experiment 2. S'han analitzat en cada cas els coeficients de l'ajust per la variable cobertes del sòl, els coeficients de determinació (R^2) i els RMS obtinguts.

En els models de precipitació, en la majoria de casos sembla que la incorporació de l'índex de vegetació NDVI com a *proxy* del tipus de cobertes del sòl ajuda a millorar els models creats en aquest experiment.

La variable índex NDVI entra en la majoria dels casos en la regressió seleccionada amb un percentatge positiu sempre superior a 0,09. Aquesta relació per tant indica que la variable introduïda en l'experiment es comporta com s'esperava, seguint la relació lineal positiva que hi ha entre la vegetació i la precipitació.

Es pot veure com a l'experiment 2, en models de precipitació, els valors de R^2 sovint són superiors als del model general. En el mes de març els valors oscil·len entre el 0,09 i el 0,37, fet que dona un important pes a la vegetació a l'hora de modelar la precipitació (Figura 8).

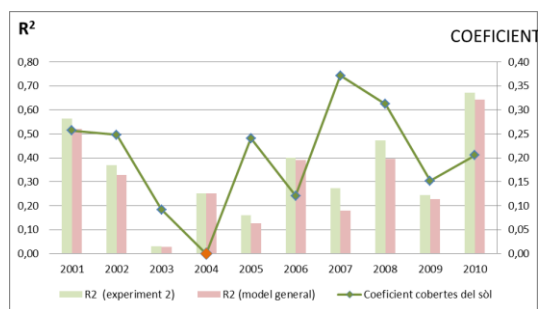


Figura 8. Gràfic dels resultats del R^2 entre el model general i l'experiment 2 a Catalunya per a les precipitacions del mes de març. El quadrat taronja mostra els anys on la variable no ha entrat en la regressió.

Quant als errors quadràtics mitjans, en cas que la variable introduïda hagi entrat en el model, l'experiment 2 presenta valors més baixos respecte el model general.

En els models històrics de precipitació, els resultats de millora s'obtenen en tres dels quatre mesos, els quals són mesos complicats de modelar, com setembre i desembre. (Figura 9).

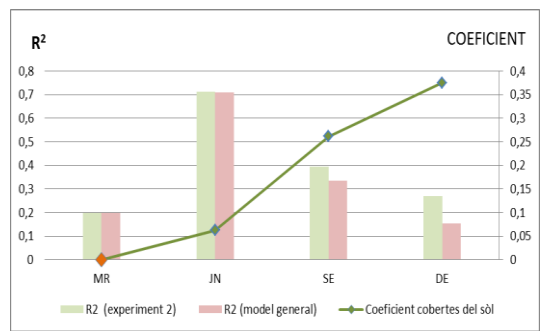


Figura 9. Gràfic dels resultats del R^2 entre el model general i l'experiment 2 a Catalunya per a les precipitacions històriques. El quadrat taronja mostra els anys on la variable no ha entrat en la regressió.

En els models de temperatura, els resultats presenten millora en els models mensuals any a any. El coeficient d'ajust de la regressió seleccionada per a la variable de les cobertes del sòl, entra negativament en l'ajust en aquests casos.

Les temperatures mitjanes han presentat els millors resultats (Figura 11), en aquests models s'ha comprovat, que quan la variable aconsegueix entrar en la regressió amb un valor inferior a -0,07 milloren el seu R^2 respecte al model general.(Figura 12). Els mesos de març, juny i setembre (Annex 6) presenten millors resultats que desembre, en el qual la variable vegetació ha entrat pocs cops en el model i en els casos en que ha aconseguit entrar ho ha fet amb uns coeficients d'ajust baixos com per a considerar-se significatius.

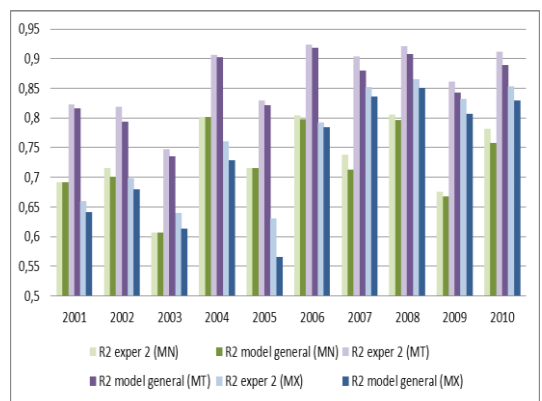


Figura 11. Gràfic dels resultats del R^2 entre el model general i el model de l'experiment amb l'índex NDVI com a variable independent a Catalunya per al mes de març per a temperatures MN, MT i MX.

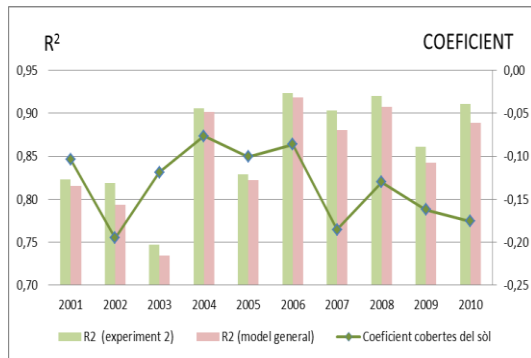


Figura 12. Gràfic dels resultats del R² entre el model general i el model de l'experiment amb l'índex NDVI com a variable independent a Catalunya per al mes de març.

En el cas de les temperatures mitjanes mínimes, la millora dels models s'ha aconseguit, però no de manera tan clara com en les temperatures mitjanes. Les cobertes del sòl han entrat en menys models dins la regressió seleccionada i amb uns coeficients baixos respecte a les temperatures mitjanes, entre -0,08 i -0,19. L'entrada de la variable en els models aconsegueix millorar el coeficient de determinació d'aquests però de manera ínfima.

Quant a les temperatures mitjanes màximes, presenten els resultats menys significatius doncs és en elles on menys cops ha entrat en l'ajust la variable de les cobertes del sòl. Aquests coeficients han estat més baixos que els obtinguts en les temperatures mitjanes i mitjanes mínimes, amb valors compresos entre -0,02 i -0,14.

Els models històrics de 10 anys, on presenten millors resultats és també en les temperatures mitjanes (Figures 13 i 14). En el cas de les mitjanes mínimes i mitjanes màximes han entrat pocs cops en la regressió seleccionada.

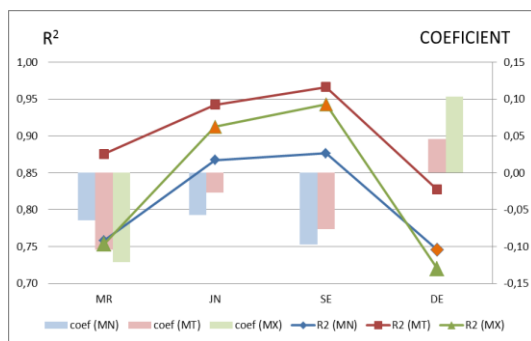


Figura 13. Gràfic dels resultats del R² per als models generats amb variable vegetació per a les temperatures mínimes, mitjanes i màximes històriques enfront els coeficients d'ajust de la variable vegetació en les regressions. El quadrat taronja mostra els anys on la variable no ha entrat en la regressió.

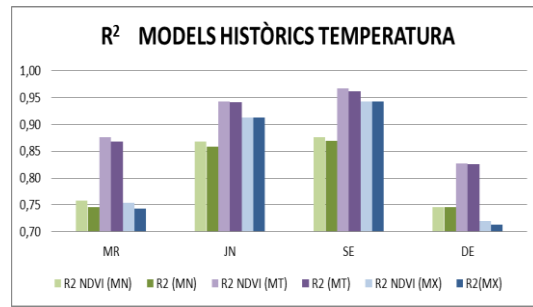


Figura 14. Gràfic dels resultats del R² per als models generats històrics amb NDVI enfront els models sense NDVI per a cada mes i variable.

Els resultats d'enriquir les estacions amb la influència que reben dels usos del sòl sobre on estan situades, ens mostra el següent mapa de distribució d'aquestes (Figura 15), en el qual es pot veure la poca variabilitat de les zones on estan situades, ja que l'amplia majoria estan sobre camps de conreu i zones amb importants masses de vegetació, com són els boscos, queden poc representades.

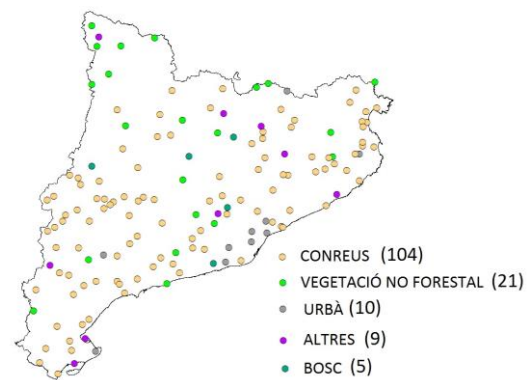


Figura 15. Situació, nombre d'estacions i influència rebuda a les estacions per diferents classes d'usos del sol.

Així doncs, el resultat de l'estudi específic, amb i sense cobertes del sòl com a variable independent, mostra en termes generals que els models de precipitació mensuals any a any milloren amb aquestes, i que les dades mitjanes mensuals presenten resultats més bons enfront les dades mínimes i màximes pel que fa a temperatura. En els annex 4 i 5 es mostren alguns dels models generats.

5. CONCLUSIONS

5.1 Experiment 1: El rol de la radiació solar

Partint dels resultats de l'experiment 1.1, enfocat en el rol de la radiació, la hipòtesis inicial de crear un mostreig equitatiu en quant a la variable radiació per detectar quin és el paper que juga en la regressió, que intuïtivament semblava que hauria

d'influir fortament en els models, no millora els models en l'àmbit de la Península Ibèrica.

El fet de tenir una gran quantitat d'estacions meteorològiques situades a zones de radiació similar entre elles, feia intuir que el paper de la radiació quedava "eclipsat", però amb aquest experiment s'ha vist que, tot i la divisió prèvia de la població d'estudi en classes homogènies per eliminar el pes de la gran quantitat d'estacions sobre valors semblants de radiació, el que s'esperava que havia de tenir una forta influència no la té.

Així doncs, amb el tipus de mostreig utilitzat no ha estat possible capturar l'efecte que té la radiació sobre la temperatura, ja que la radiació solar no ha tingut pes en les regressions de l'experiment proposat.

El que s'ha pogut comprovar és que estratificar les estacions segons la radiació rebuda en elles, dona com a resultat uns R^2 més constants entre valors alts i en molts casos superiors als R^2 dels models generals amb totes les estacions.

L'experiment 1.2, que pretenia separar de la resta aquelles estacions amb valors de radiació solar més extrems, en funció de si les estacions estan orientades cap al nord o cap al sud, no ha suposat una millora en els models, excepte en terrenys molt muntanyosos.

En els Pirineus el fet d'utilitzar les estacions situades en zones d'obaga i solana ha millorat considerablement els models i el paper de la radiació ha tingut més pes a l'hora de modelar la temperatura.

Com a autor d'aquest treball he de dir que el criteri de seleccionar les estacions orientades al nord i al sud és bastant ambigu ja que la possible mala georeferenciació de les estacions podria fer trontollar el criteri de selecció. Petits errors en les coordenades de les estacions, sobretot en zones d'orografia complexa, poden desplaçar una estació ubicada en una vessant sud sobre el terreny, a una vessant nord sobre el SIG. No obstant, la radiació rebuda per aquestes estacions tant a Catalunya, com en els Pirineus, complien els pronòstics esperats.

Un increment de la variabilitat de la localització geogràfica de les estacions meteorològiques, que fossin realment representatives de la climatologia del territori, ajudaria a incrementar la predicció del model i obriria noves possibilitats d'estudis. El fet de trobar una relació numèrica entre la temperatura i la radiació que es pogués aplicar de manera general a tot el model ajudaria en l'estudi, però es requereix un nombre més alt d'estacions.

5.2 Experiment 2: El rol de les cobertes del sòl

Amb l'experiment 2, els resultats han mostrat per a la precipitació, que els models mensuals any a any milloren significativament quan la variable cobertes del sòl entra en la regressió. Aquesta millora en el R^2 incrementa en funció del coeficient d'ajust amb el qual la vegetació ha entrat a la regressió.

Pel que fa als models històrics de precipitació, aquests també milloren seguint el mateix criteri que els models mensuals any a any, presentant millores en mesos complicats de modelar.

En els models de temperatura mensuals any a any, els models amb vegetació milloren sobretot per a les temperatures mitjanes. Els mesos que presenten millors resultats són aquells on l'activitat fenològica de la vegetació és més alta, sent març el més representatiu. Quant als models de temperatures mitjanes mínimes i mitjanes màximes, aquests també milloren tot i entrar menys cops la variable en la regressió.

Així doncs, l'índex de vegetació NDVI i per tant la coberta sobre la qual està situada l'estació, ajuda a millorar els models de precipitació i temperatura quan la considerem mensualment any a any, sempre que aquesta variable abans d'introduir-la hagi estat prèviament tractada i no presenti molts valors NO DATA, doncs els models enriquits amb aquesta variable més completa, amb pocs valors NO DATA, són els que realment han presentat més bons resultats.

La conclusió és doncs, que abans d'executar l'anàlisi, és imprescindible fer un estudi previ de les estacions i la seva localització si volem que la variable cobertes del sòl millori els models. Com s'ha vist en el mapa de situació i usos del sòl que afecten les estacions, aquestes presenten poca variabilitat ja que la majoria estan situades sobre conreus i no representen altres entorns que podrien tenir força en els models.

AGRAÏMENTS

Als meus tutors Miquel Ninyerola i Txell Batalla, per l'oportunitat d'aprendre en aquest camp, el coneixement transmès, la paciència i els consells donats per a poder dur a terme aquest treball.

Al professorat del màster de teledetecció i SIG del CREAF, per tots els coneixements que he pogut adquirir i que de ben segur no oblidaré.

Als meus companys de màster, per tot el que hem patit i compartit. A la meua família per brindar-me l'oportunitat de seguir-me formant i animar-me en tot moment.

Finalment a la Laia Closa per les seves qualitats com a persona i la seva mà sempre estesa per ajudar en tot.

BIBLIOGRAFIA

BATALLA, M. ESTEBAN, P. INYEROLA, M. 2012.

L'Atlas climàtic digital d'Andorra (ACDA). CENMA-UAB.

CRISTÓBAL, J. NINYEROLA, M. PONS, X. 2008.

Modelin air temperature through a combination of remote sensing and GIS data. *J. Of Geophysical R. – Atmosphere*. 113: D13106.

DE CASTRO, M. 2014.

Elaboració de la nova edició de l'atles digital de la Península Ibèrica 2.0 i preparació per a la seva publicació a internet. Projecte final 13è màster de Teledetecció i SIG. Bellaterra.

EVANO, P. 2011.

Elaboración de mapas climatológicos de la Península Ibérica para integrar en un visor. Projecte final 13è màster de Teledetecció i SIG. Bellaterra.

HERNÁNDEZ, L. MÁYER, P. ROMERO, L. 2001.

Elaboración de modelos digitales de precipitación para la isla de Gran Canaria. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

IBÁÑEZ, J.J. i BURRIEL, J.A. 2010.

Mapa de cubiertas del suelo de Cataluña: características de la tercera edición y relación con SIOSE. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 179-198. ISBN: 978-84-472-1294-1

KALNAY, E. MING, C. 2003.

Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature* 423: 528-531.

NINYEROLA, M. PONS, X. ROURE, JM. 2000
A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *Int. J. Of Climatology*. 20: 1823-1841.

NINYEROLA, M. PONS, X. ROURE, JM. 2005.
Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. ISBN 932860-8-7. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.

NINYEROLA, M. PONS, X. ROURE, JM. 2006.
Monthly precipitation mapping of the Iberian Peninsula using spatial interpolation tools implemented in a Geographic Information System. *Theor. Appl. Climatol.* 000, 1–15 (2006)
DOI 10.1007/s00704-006-0264-2

NINYEROLA, M. PONS, X. ROURE, JM. 2007.
Objective air temperature mapping for the Iberian Peninsula using spatial interpolation and GIS. *International Journal of Climatology* 27: 1231-1242
DOI: 10.1002/joc.1462.

PONS X. 1996.

Estimación de la radiación solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica.

Departament de Geografia i Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals
Universitat Autònoma de Barcelona
08193 Bellaterra

PONS X. 2002.

MiraMon. Geographical Information System and Remote Sensing Software.
Version 4.4. *Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, CREA*. ISBN: 84-931323-4-9.

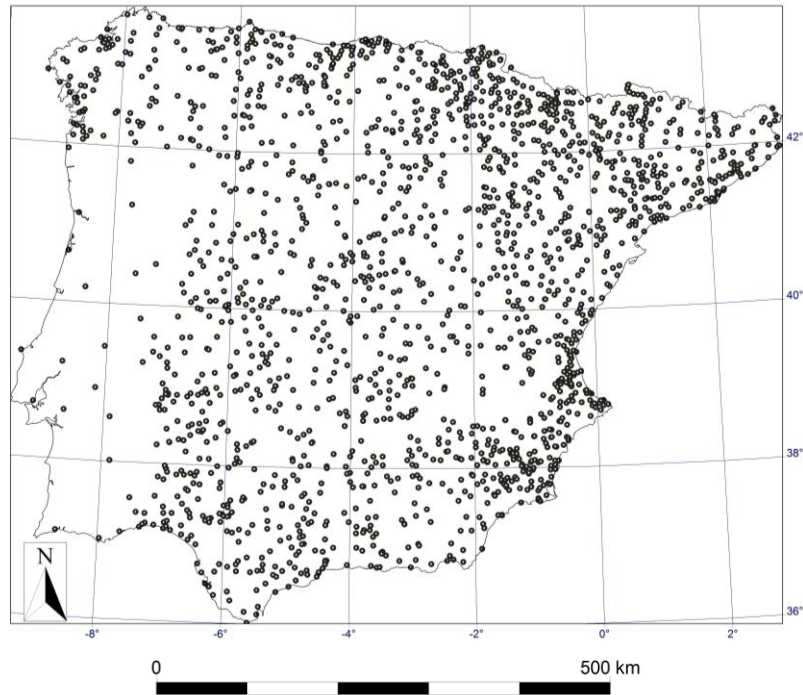
PONS X. 2008.

Mapping a topographic global solar radiation model implemented in a GIS and refined with ground data.
Int. J. Climatol. 28: 1821 – 1834 (2008)

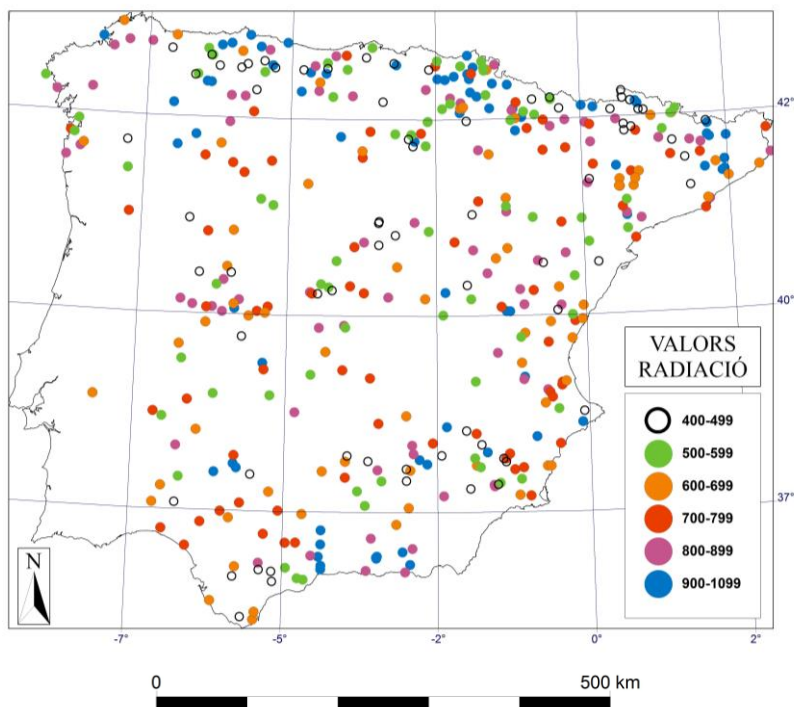
ANNEX 1

Distribució de les estacions per el model general, l'experiment 1.1 (el rol de la radiació solar) i l'experiment 1.2 (el rol de l'orientació).

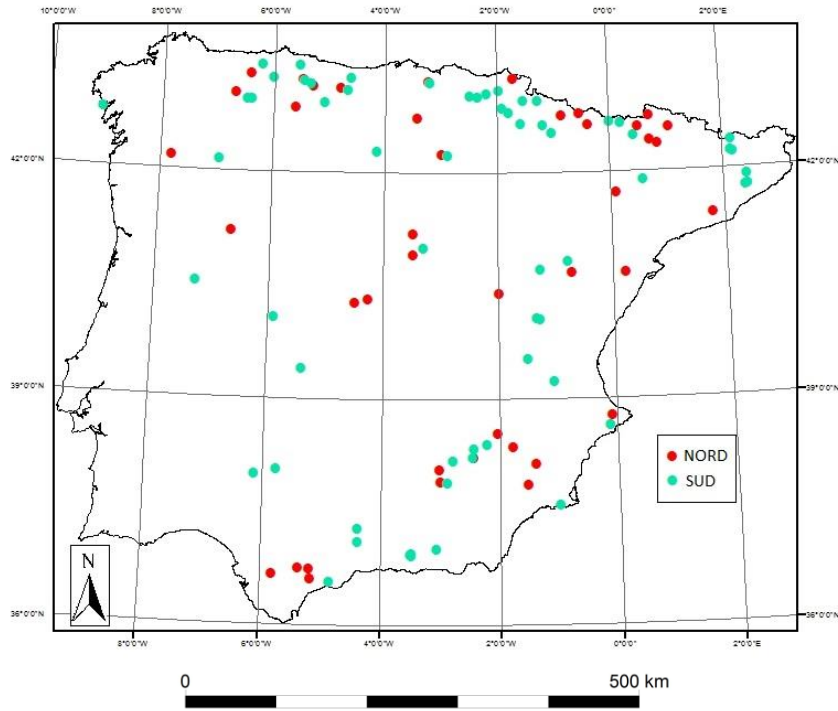
MODEL GENERAL EXPERIMENT 1



EXPERIMENT 1.1 – EL ROL DE LA RADIACIÓ SOLAR



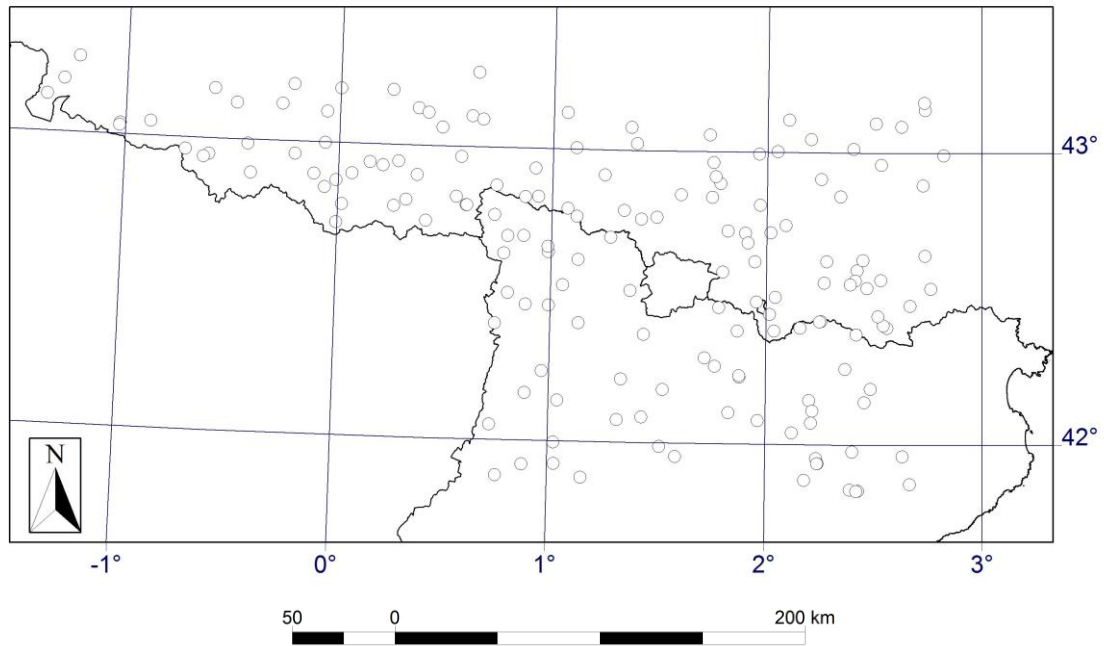
EXPERIMENT 1.2 – EL ROL DE L'ORIENTACIÓ – PENÍNSULA IBÈRICA



EXPERIMENT 1.2 – EL ROL DE L'ORIENTACIÓ – CATALUNYA



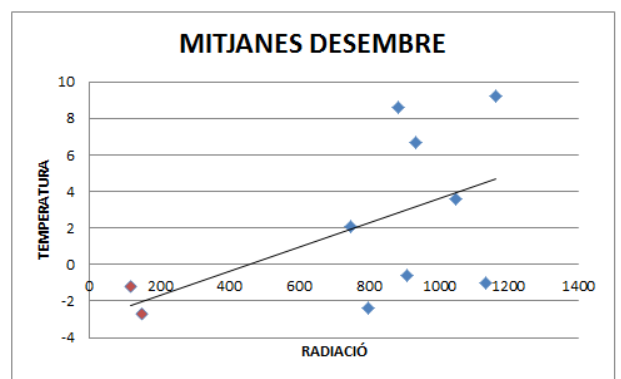
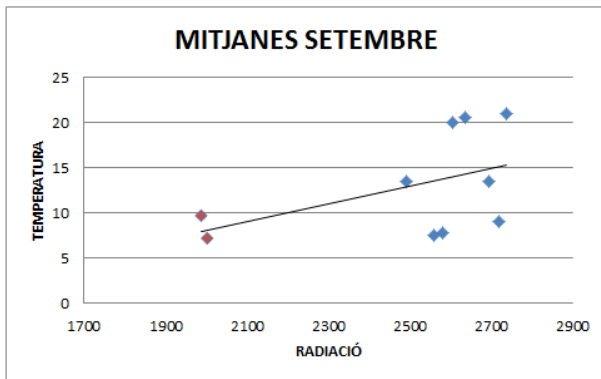
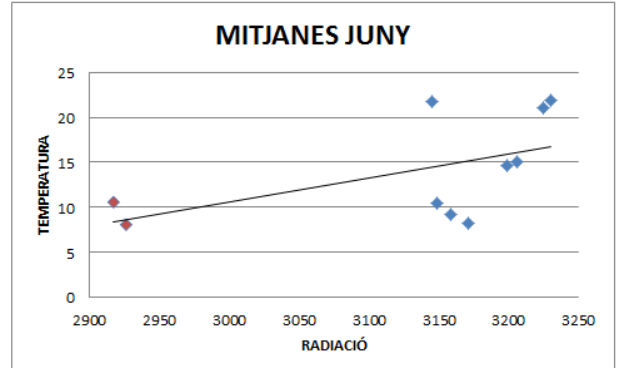
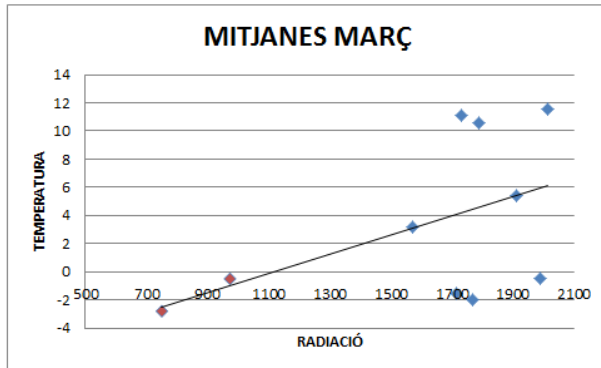
EXPERIMENT 1.2 – EL ROL DE L'ORIENTACIÓ – PIRINEU FRANCÉS I CATALÀ



ANNEX 2

Gràfics de temperatura enfront radiació de les estacions orientades al nord i sud dins l'àmbit de Catalunya. Valors de radiació en $10 \text{ kJ} / (\text{m}^2 \cdot \text{dia} \cdot \text{micròmetre})$. Valors de temperatura en $^{\circ}\text{C}$. (Experiment 1.2)

MITJANES



◆ NORD ◆ SUD

ANNEX 3

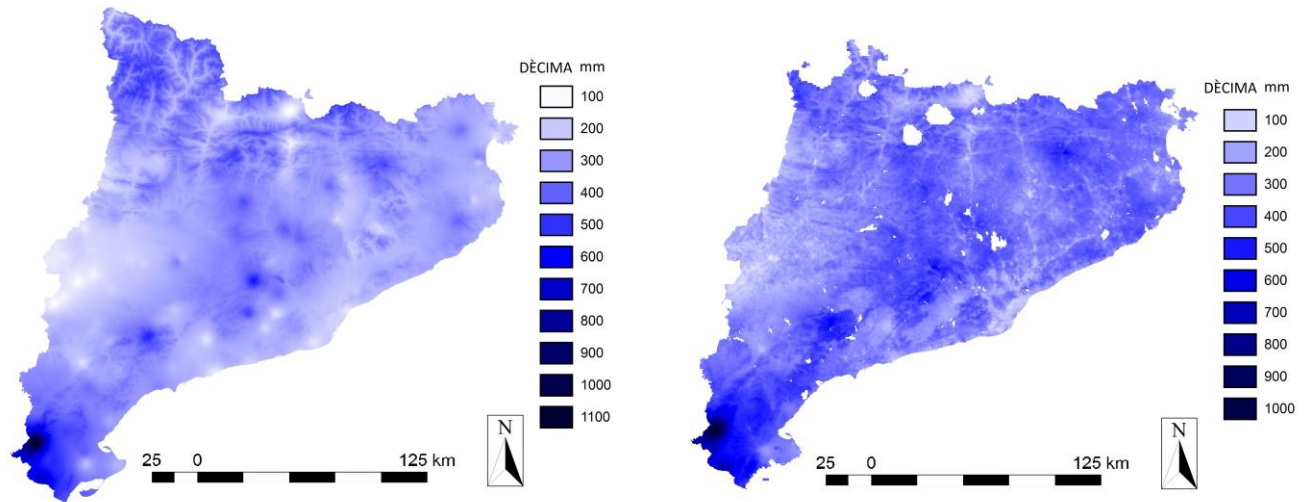
Paràmetres de les regressions en els models de l'experiment 1.2 (Rol de l'orientació) en l'àmbit dels Pirineus.

PIRINEUS				
PARAMETRES REGRESSIÓ SELECCIONADA	EXPERIMENT 1.2-ESTACIONS NORD I SUD			
MÍNIMES	MN_DE	MN_JN	MN_MR	MN_SE
Coeficient variable RAD	no entra	0,08	0,06	-0,93
R ²	0,88	0,83	0,94	0,88
RMS	10,47	13,73	9,39	9,90
MITJANES	MT_DE	MT_JN	MT_MR	MT_SE
Coeficient variable RAD	0,10	0,06	0,06	0,07
R ²	0,93	0,94	0,98	0,98
RMS	11,12	10,79	6,99	6,52
MÀXIMES	MX_DE	MX_JN	MX_MR	MX_SE
Coeficient variable RAD	0,19	0,04	0,06	0,07
R ²	0,92	0,95	0,96	0,97
RMS	13,17	12,70	12,16	10,81

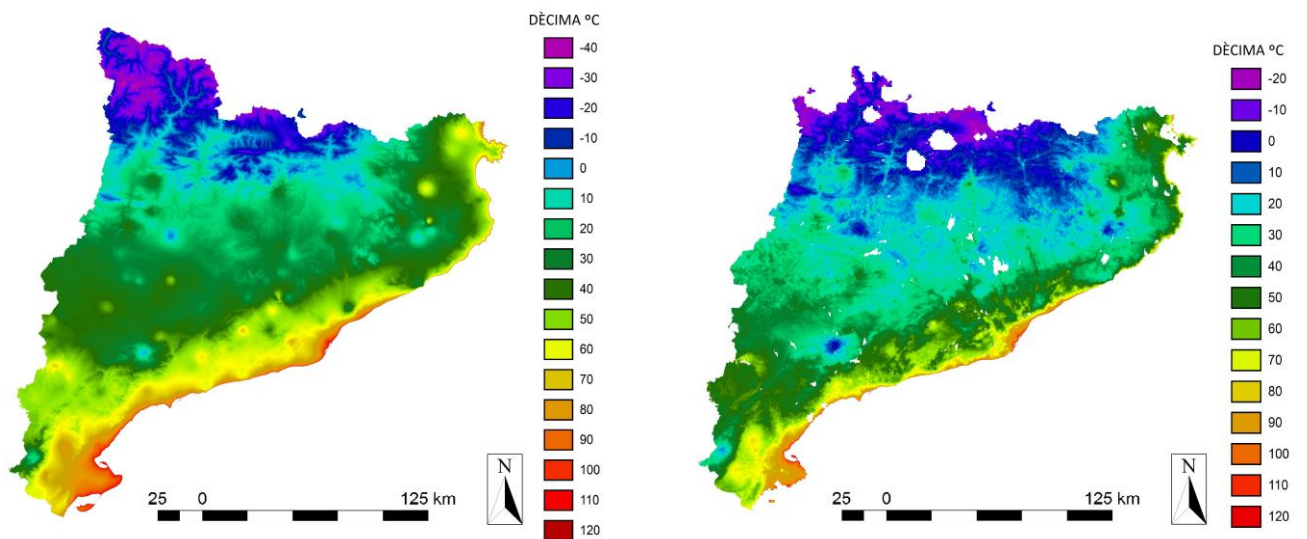
PIRINEUS				
PARAMETRES REGRESSIÓ SELECCIONADA	TOTAL D'ESTACIONS			
MÍNIMES	MN_DE	MN_JN	MN_MR	MN_SE
Coeficient variable RAD	no entra	0,09	0,04	0,06
R ²	0,77	0,85	0,88	0,84
RMS	12,37	11,51	10,53	10,38
MITJANES	MT_DE	MT_JN	MT_MR	MT_SE
Coeficient variable RAD	0,06	0,07	0,04	0,06
R ²	0,88	0,94	0,96	0,97
RMS	9,57	8,86	7,37	5,89
MÀXIMES	MX_DE	MX_JN	MX_MR	MX_SE
Coeficient variable RAD	0,10	0,06	0,04	0,05
R ²	0,90	0,94	0,94	0,96
RMS	10,24	11,83	11,19	8,97

ANNEX 4

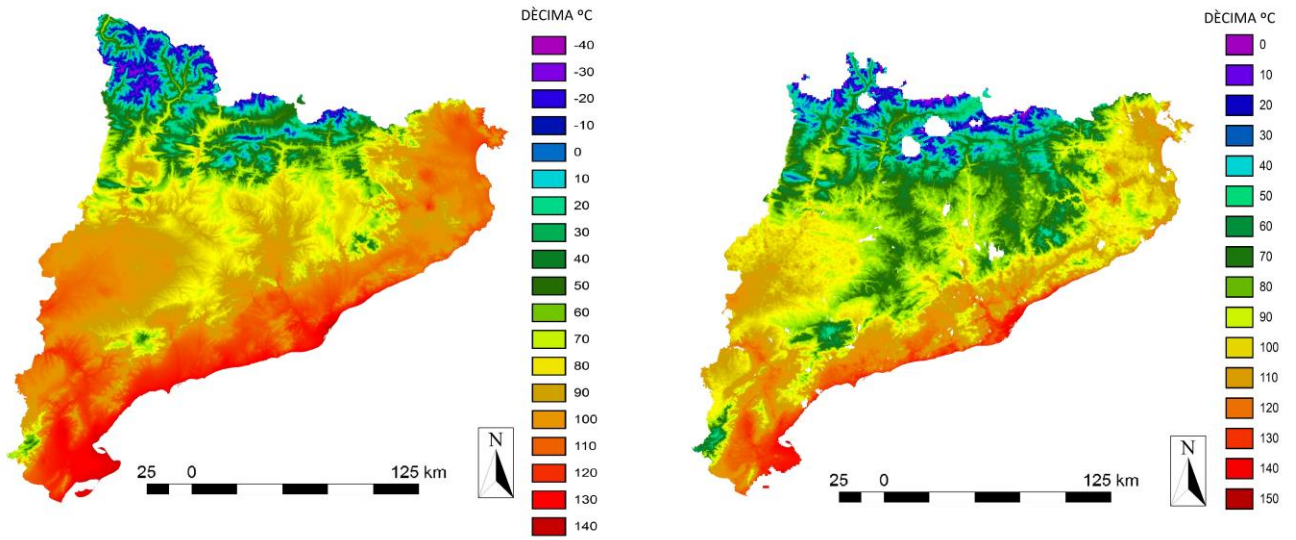
Models de precipitació del març del 2007. El primer correspon al model general de l'experiment 2, és a dir, sense cobertes del sòl com a variable independent, i el segon correspon el model generat amb cobertes del sòl com a variable independent.



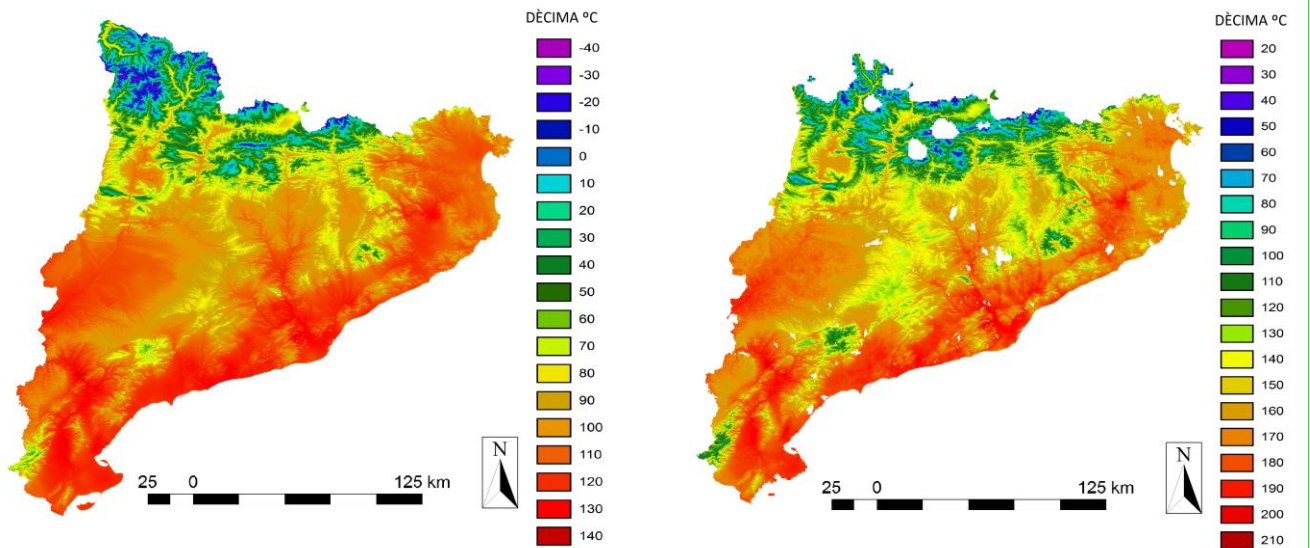
Models de temperatures mínimes del març del 2007. El primer correspon al model general, sense cobertes del sòl, enfront el model de l'experiment 2, amb cobertes del sòl.



Models de temperatures mitjanes del març del 2007. El primer correspon al model general, sense cobertes del sòl, enfront el model de l'experiment 2, amb cobertes del sòl.

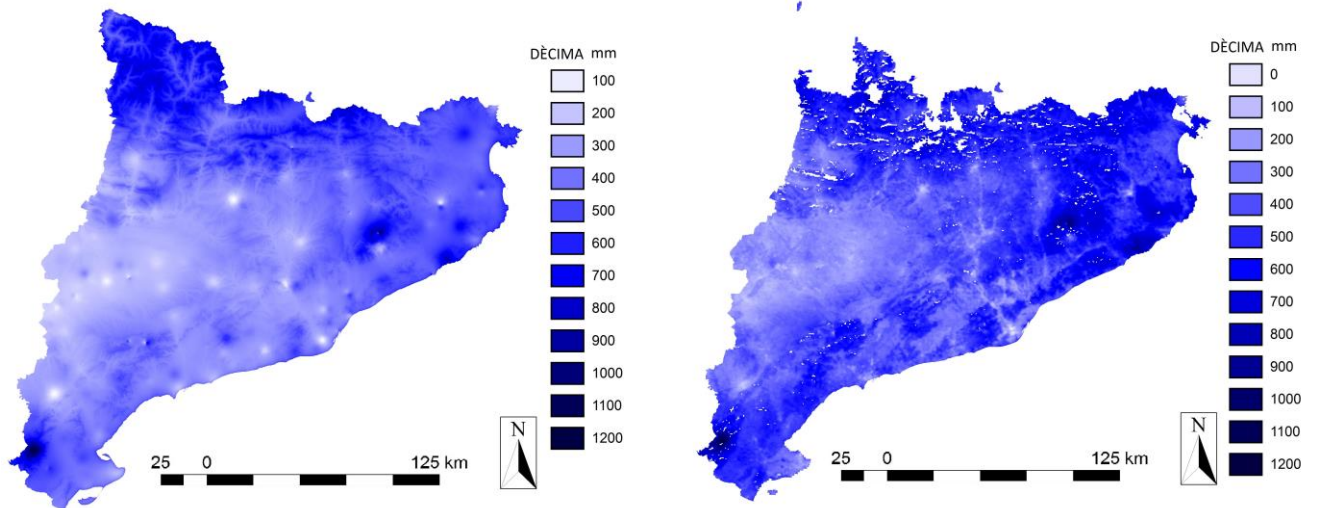


Models de temperatures màximes del març del 2007. El primer correspon al model general, sense cobertes del sòl, enfront el model de l'experiment 2, amb cobertes del sòl.

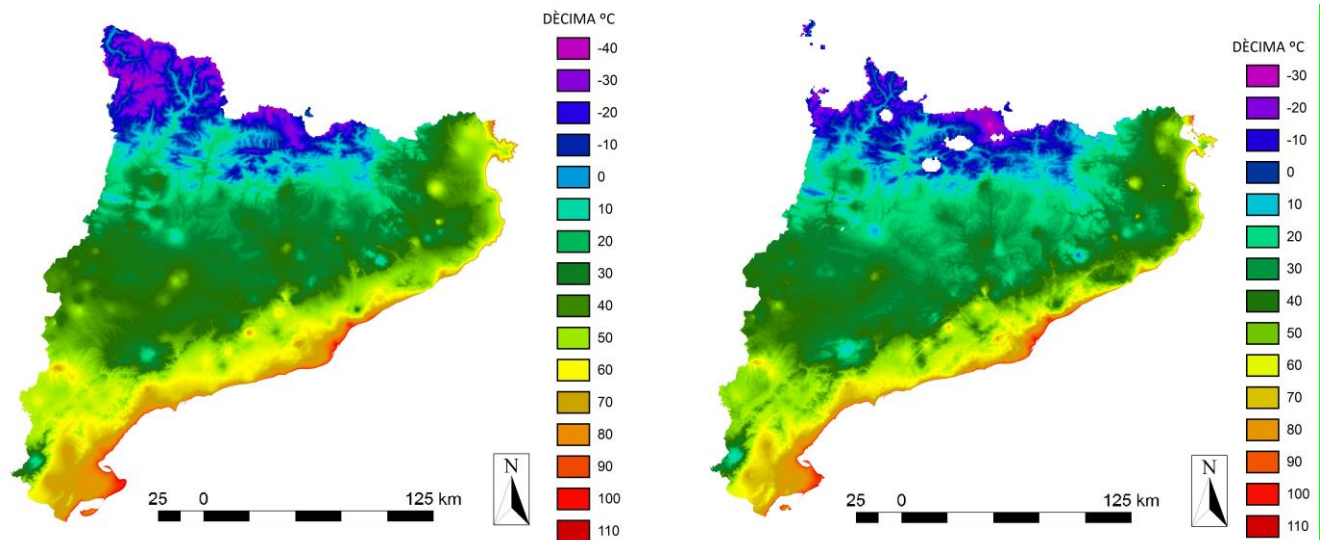


ANNEX 5

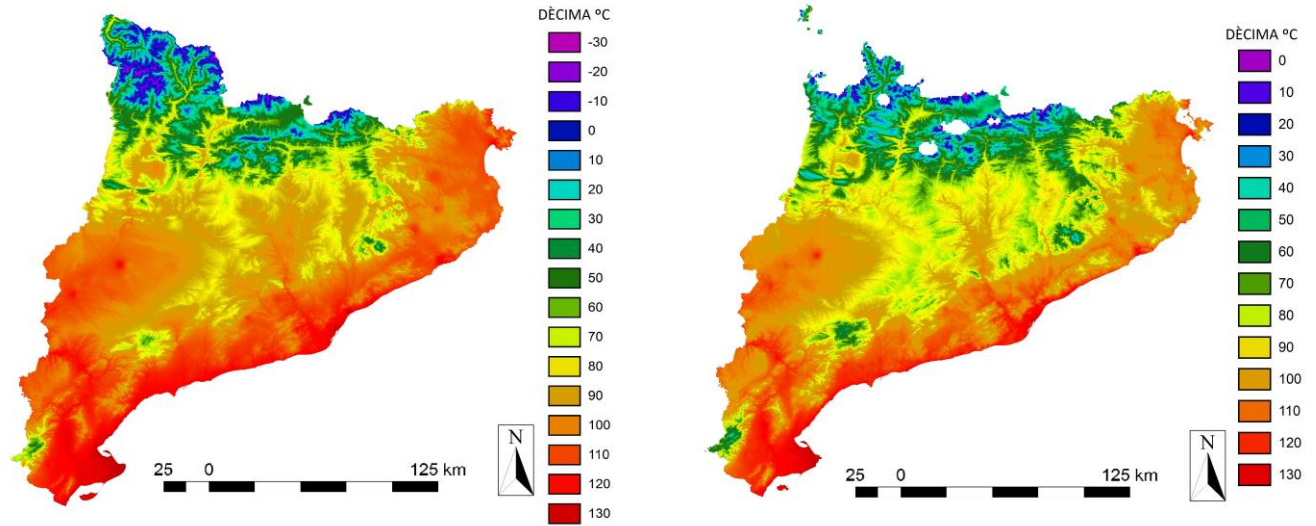
Models de precipitació històric de 10 anys (2001,2010) del mes de desembre. El primer correspon al model general de l'experiment 2, és a dir, sense les cobertes del sòl com a variable independent, i el segon correspon el model generat amb vegetació com a variable independent.



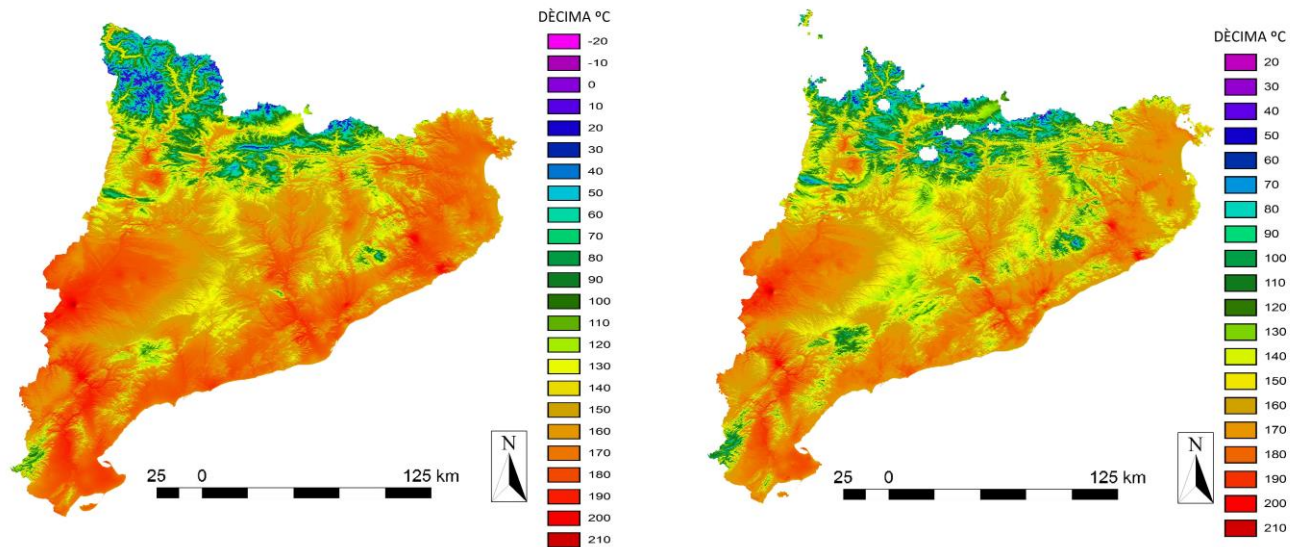
Models de temperatures mínimes històric de 10 anys (2001, 2010) del març. El primer correspon al model general, sense cobertes del sòl, enfront el model de l'experiment 2, amb cobertes del sòl.



Models de temperatures mitjanes històric de 10 anys (2001, 2010) del març. El primer correspon al model general, sense cobertes del sòl, enfront el model de l'experiment 2, amb cobertes del sòl.



Models de temperatures màximes històric de 10 anys (2001, 2010) del març. El primer correspon al model general, sense cobertes del sòl, enfront el model de l'experiment 2, amb cobertes del sòl.



ANNEX 6

Paràmetres de les regressions en el model general de validació de l'experiment 2, sense cobertes del sòl com a variable independent, i l'experiment 2, amb cobertes del sòl com a variable dependent.

TEMPERATURES MITJANES

TEMPERATURES MITJANES MARÇ					
	EXPERIMENT 2 – COBERTES DEL SÒL			NO COBERTES	
ANY	Coeficient variable	R2	RMS	R2	RMS
2001	-0,10	0,82	8,29	0,82	8,32
2002	-0,20	0,82	7,79	0,79	7,98
2003	-0,12	0,75	7,87	0,73	7,95
2004	-0,08	0,91	5,63	0,90	5,58
2005	-0,10	0,83	6,98	0,82	7,00
2006	-0,09	0,92	5,39	0,92	5,46
2007	-0,19	0,90	6,84	0,88	7,19
2008	-0,13	0,92	5,87	0,91	6,01
2009	-0,16	0,86	5,97	0,84	6,20
2010	-0,18	0,91	4,88	0,89	5,23

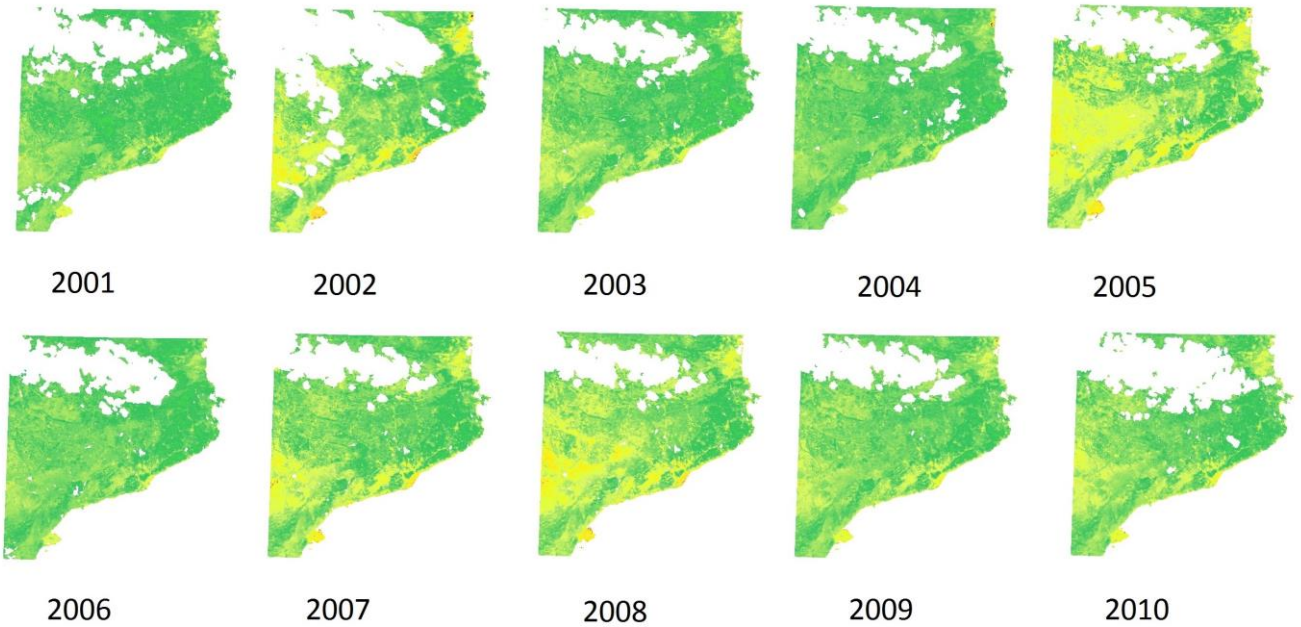
TEMPERATURES MITJANES JUNY					
	EXPERIMENT 2 – COBERTES DEL SÒL			NO COBERTES	
ANY	Coeficient variable	R2	RMS	R2	RMS
2001	-0,37	0,64	9,74	0,56	10,61
2002	-0,27	0,70	10,33	0,65	10,59
2003	-0,25	0,76	9,18	0,72	9,33
2004	-0,19	0,81	6,64	0,79	6,69
2005	-0,26	0,83	7,89	0,79	8,16
2006	-0,29	0,80	7,40	0,75	7,79
2007	-0,20	0,89	6,04	0,86	6,36
2008	-0,16	0,91	5,03	0,89	5,35
2009	-0,03	0,94	6,65	0,94	6,61
2010	-0,04	0,96	5,42	0,96	5,37

TEMPERATURES MITJANES SETEMBRE					
	EXPERIMENT 2 – COBERTES DEL SÒL			NO COBERTES	
ANY	Coeficient variable	R2	RMS	R2	RMS
2001	-0,15	0,88	8,01	0,87	8,43
2002	-0,17	0,91	6,92	0,89	7,65
2003	-0,14	0,87	7,30	0,86	7,43
2004	-0,14	0,89	6,51	0,88	6,67
2005	-0,19	0,88	7,58	0,85	7,99
2006	-0,18	0,91	6,23	0,88	6,82
2007	-0,20	0,91	5,66	0,88	6,24
2008	-0,06	0,97	5,26	0,97	5,43
2009	-0,05	0,97	5,71	0,97	5,78
2010	-0,08	0,98	5,03	0,97	5,33

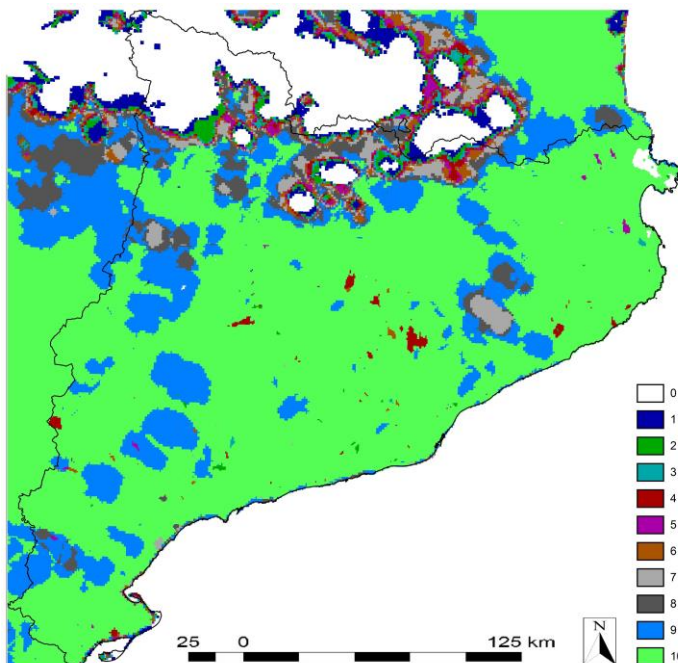
ANNEX 7

Mapes dels diferents NDVI del mateix mes utilitzats per a cada any. Ràster divisor per a crear el ràster històric de la sèrie de 10 anys els valors del qual fan referència als cops que durant els 10 arxius, aquell píxel té valors diferents de NO DATA. Arxiu ràster NDVI històric.

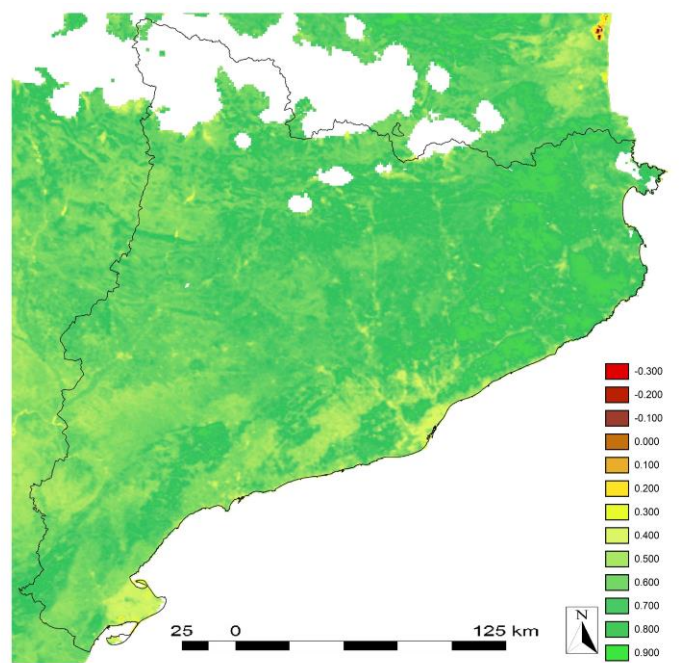
SÈRIE NDVI MARÇ



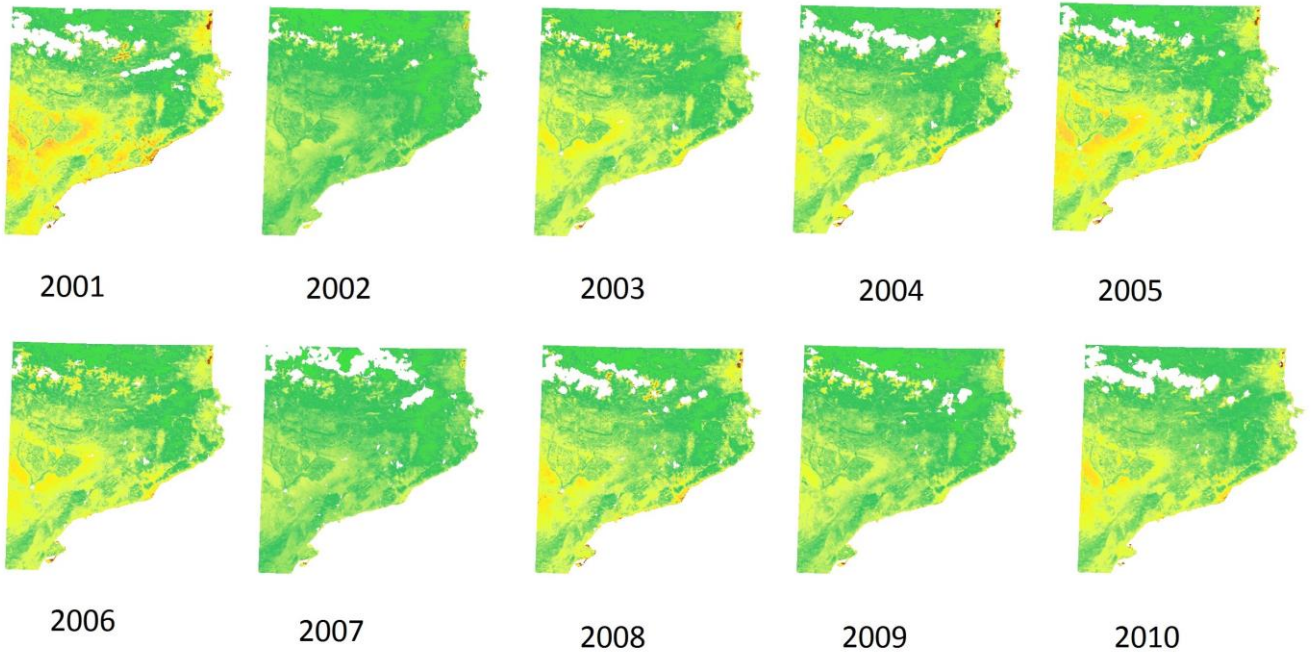
RÀSTER DIVISOR MARÇ



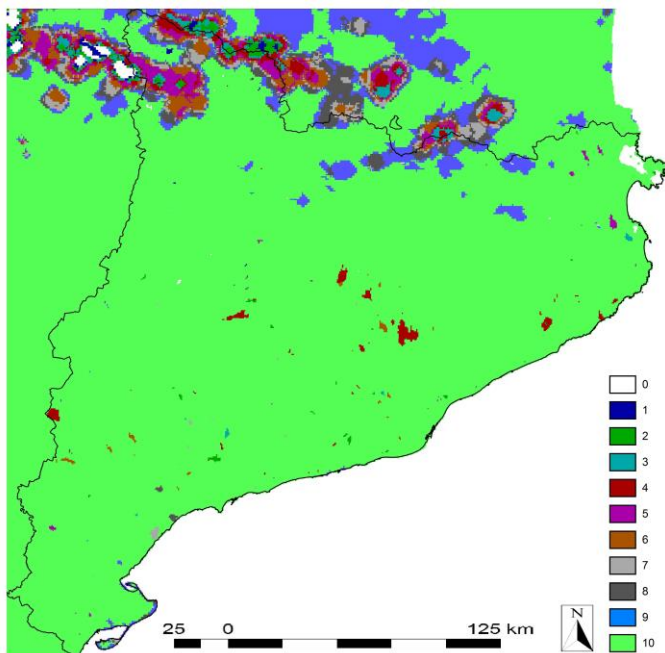
NDVI HISTÒRIC MARÇ



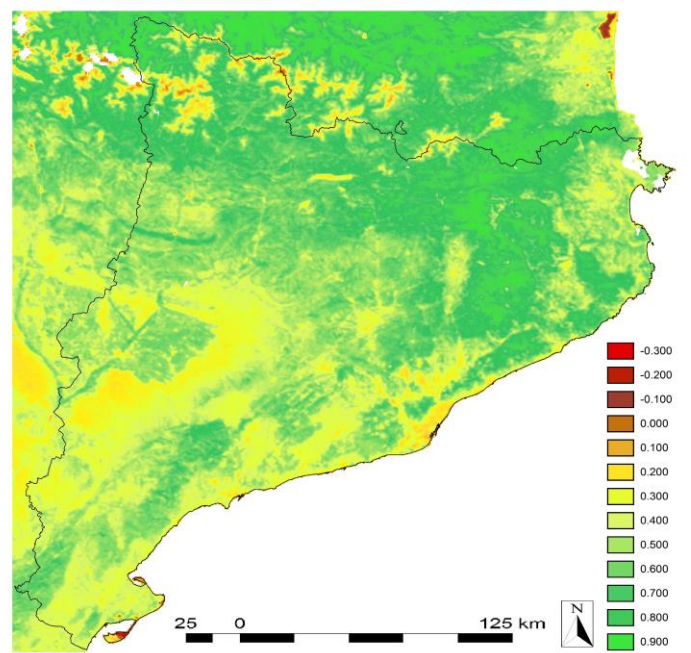
SÈRIE NDVI JUNY



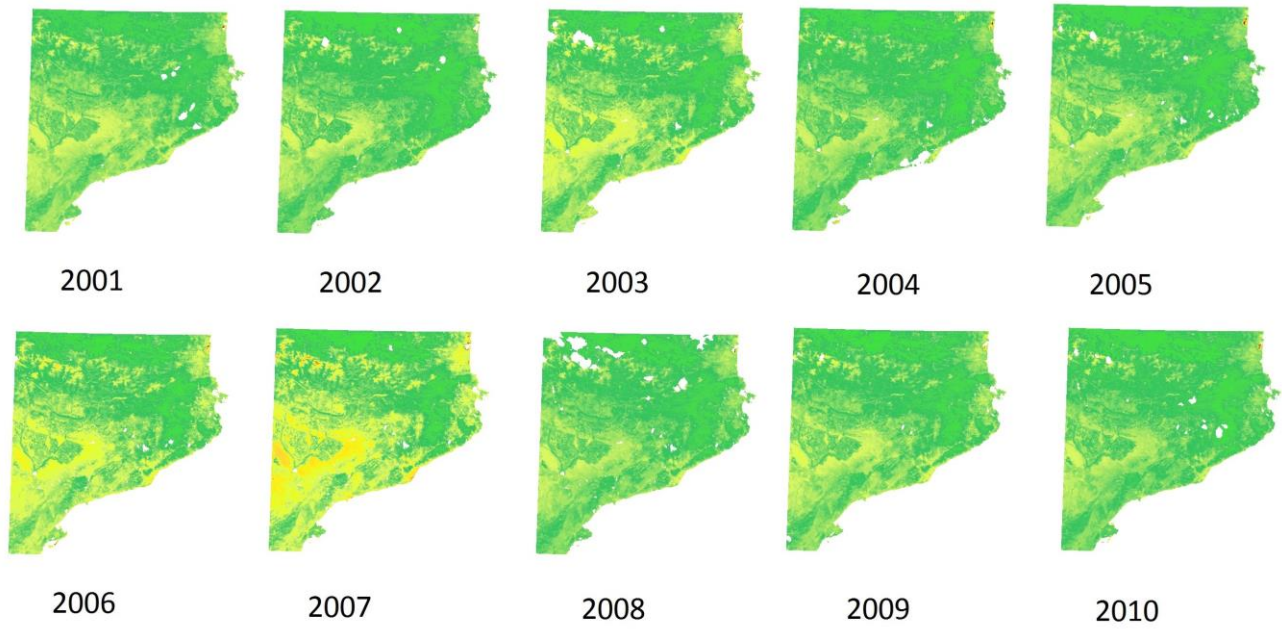
RÀSTER DIVISOR JUNY



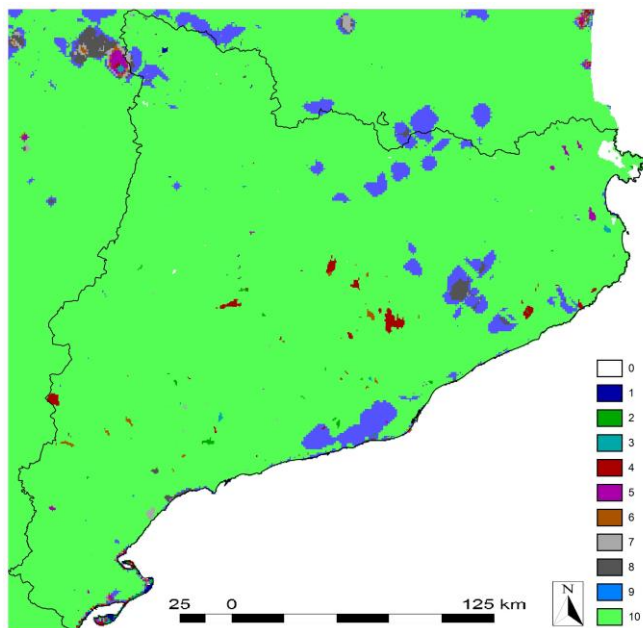
NDVI HISTÒRIC JUNY



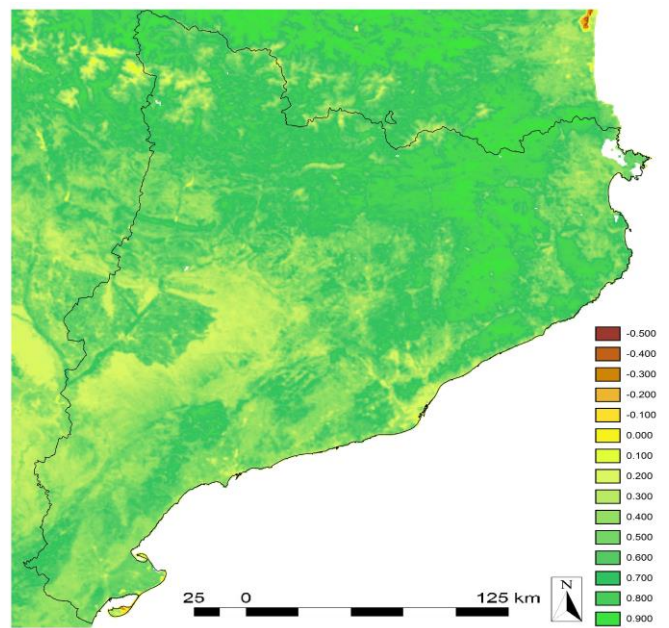
SÈRIE NDVI SETEMBRE



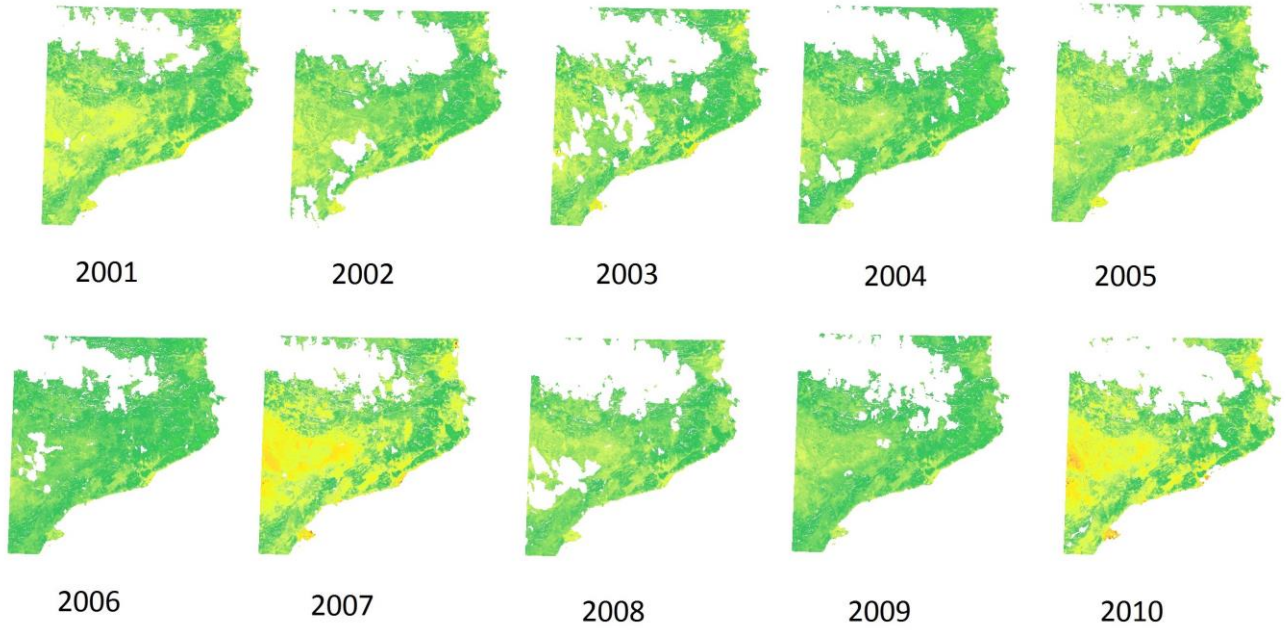
RÀSTER DIVISOR SETEMBRE



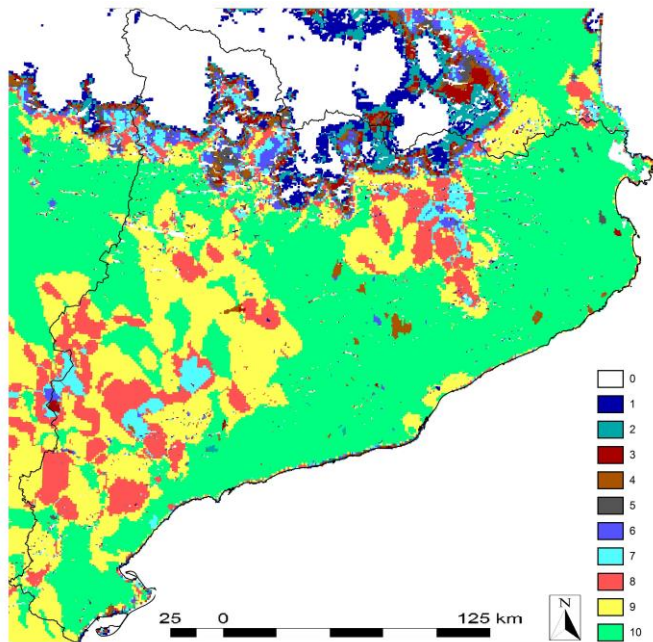
NDVI HISTÒRIC SETEMBRE



SÈRIE NDVI DESEMBRE



RÀSTER DIVISOR DESEMBRE



NDVI HISTÒRIC DESEMBRE

