

Ninyerola, M. 2000. Modelització climàtica mitjançant tècniques SIG i la seva aplicació a l'anàlisi quantitativa de la distribució d'espècies vegetals a l'Espanya peninsular. Tesi doctoral (capítol 3). Direcció: Drs. Xavier Pons i Joan M. Roure. Universitat Autònoma de Barcelona.

3. Modelització climàtica a Catalunya

El model climàtic ha estat desenvolupat, també, per a l'àmbit geogràfic de Catalunya. El motiu principal ha estat el de revisar i millorar amb les noves dades climàtiques el model presentat inicialment a Ninyerola (1997). A més, s'han introduït algunes metodologies noves respecte aquell treball previ. El que exposem en aquest capítol es pot trobar a Ninyerola *et al.* (2000). És important tenir en compte dos fets. Aquest model millorat de Catalunya és cronològicament anterior als models peninsulars i, per tant, alguns aspectes introduïts en aquests últims encara no s'han aplicat a Catalunya. La discussió de la present memòria, però, està centrada en l'Espanya peninsular (per ser la part més innovadora i important del treball) i, per tant, invertim l'ordre cronològic en l'exposició. Pel cas de Catalunya, a causa que la metodologia és molt similar, ens limitarem a citar les particularitats quan s'escaigui i a presentar els resultats obtinguts.

3.1. Àrea d'estudi

L'àmbit geogràfic (figura 3-1) està definit per les següents coordenades UTM projectades al fus 31N: 258840 (UTM x mínima), 528840 (UTM x màxima), 4485960 (UTM y mínima) i 4759920 (UTM y màxima). Amb aquest àmbit abastem, a més de Catalunya, tota la Franja de Ponent, un tros de la província d'Osca (aproximadament fins al Mont Perdut), l'est de la província de Saragossa (la zona de la Depressió de l'Ebre corresponent als Monegros), una faixa estreta dels Pirineus francesos, el sud de la Catalunya Nord (incloent la major part del Massís del Canigó), tot l'estat d'Andorra i minúsculs trossos de les províncies de Castelló i Terol. És interessant de treballar sempre que sigui possible amb un àmbit geogràfic més ampli que el que es vol estudiar. És important de tenir una vora exterior a la zona estudiada per evitar els efectes de

marge. En el cas de la radiació solar, l'ombregat de cel·les veïnes pot ser especialment important.

Pel que fa a les dades de les estacions meteorològiques emprades hem treballat amb estacions situades dins de Catalunya en el cas de les temperatures i la precipitació (ja que només disposàvem d'aquestes dades), mentre que per la radiació solar hem usat, a més de les estacions situades dins del país, estacions del sud de França (Carcassona, Montpeller, Perpinyà, Pau, etc.), Aragó (Saragossa, Górriz i Monte Júlia), La Rioja (Logronyo), Les Balears (Maó i Palma de Mallorca) i del País Valencià (València).

La resolució emprada és de 180 m, un xic millor que la utilitzada per els models peninsulars. Aquesta diferència ve condicionada pel MDE utilitzat en cada cas. Si considerem la superfície de Catalunya (32090 km²) veiem que hem treballat amb 9.9* 10⁵ cel·les.

3.1.1. Aspectes climàtics rellevants de Catalunya

Catalunya es troba situada a la costa mediterrània del NE peninsular. És un país de elevada variabilitat i forts contrastos climàtics a causa del seu relleu (Bolòs, 1983) i la seva situació geogràfica, ja que rep influències mediterrànies, atlàntiques - tot i que atenuades pel Sistema Ibèric i els Pirineus llevat dels vessants septentrionals (Martín Vide, 1987) - i saharianes. Podem caracteritzar el clima de Catalunya com a típicament Mediterrani, tal i com és descrit per l'índex pluviotèrmic d'Emberger (Emberger, 1952). Algunes zones, però, poden considerar-se semiàrides, subhúmedes i humides (Debazac, 1983 i Piñol *et al.*, 1991). Informació més detallada de la climatologia de Catalunya pot ser trobada a Vila *et al.* (1983) i a Clavero *et al.* (1996), on hi ha una síntesi de les tendències fonamentals del clima de Catalunya tant a nivell de temperatures mitjanes com de precipitacions.

També cal destacar que l'orografia de Catalunya és molt complexa i fragmentada cosa que provoca l'existència de moltes unitats de relleu (Bolòs, 1983), tal i com es pot veure en el MDE utilitzat (figura 3-1). L'existència de molts microclimes repercuteix en el fet que la climatologia sigui difícil de modelitzar. A més, les situacions sinòptiques a

Catalunya són molt variables, com més endavant veurem, i, per tant, encara costa més efectuar bones caracteritzacions i prediccions.

És cert que Catalunya rep més influència mediterrània que atlàntica, però tampoc cal oblidar que la influència mediterrània no és total ja que les obertures cap aquesta mar són escasses, i només podem citar la Depressió de l'Empordà i el Camp de Tarragona (Martín Vide, 1987) com a corredors importants. Tanmateix, la direcció predominant dels vents (oest vers est) també atenua aquesta penetració d'influències marines cap a l'interior. També cal considerar el paper que juga la Serralada Transversal, tot impeding-ne el pas a una part del territori. D'altra banda, però, les baixes altituds de les Serralades Litoral i Prelitoral (excepte en algun punt com per exemple el massís del Montseny), com també la gran proximitat del mar, provoquen que les influències de la Mediterrània penetrin cap a l'interior de Catalunya amb major o menor intensitat segons l'indret.

3.2. Material i mètodes

3.2.1. Elecció del mètode d'interpolació espacial

Hem utilitzat, al igual que pel cas de la Península Ibèrica, un model de regressió múltiple combinat amb invers de la distància al quadrat i *kriging* com a interpoladors principals.

3.2.2. Elements climàtics o variables dependents

3.2.2.1. Descripció i processament de les dades originals de les estacions meteorològiques

Les dades de les estacions meteorològiques van ser adquirides al INM en dos moments diferents. Les sèries de la primera adquisició corresponen al període de 1951-1991 i les de la segona al període 1991-1999.

Aquestes dades s'han reprojectat al sistema de projecció UTM i concretament al sistema de referència UTM-31N ja que tota Catalunya és dins aquest fus. Les dades dels dos períodes han estat fusionades i les mitjanes mensuals recalculades de nou per obtenir sèries més llargues.

3.2.2.2. Elecció de les variables dependents

Hem interpolat les mateixes variables que en el cas de la Península Ibèrica: temperatura de l'aire mitjana de les mínimes, temperatura de l'aire mitjana, temperatura de l'aire mitjana de les màximes i precipitació total.

3.2.2.3. Filtratge de les dades

Hem filtrat les estacions de temperatura a 15 o més anys complets i les de precipitació a 20 o més anys complets. Els problemes de la distribució espacial de les estacions són similars als explicats pel cas de la Península Ibèrica. La densitat de les estacions de què disposem, una vegada filtrades, és la següent:

- estacions meteorològiques amb mesures de temperatura: considerant tot el territori estudiat (àrea = 32090 km²) tenim una estació per a cada 200 km².

- estacions meteorològiques amb mesures de precipitació: si considerem tot el territori, tenim una estació per a cada 125 km² .

La disposició geogràfica de les estacions meteorològiques de temperatura i precipitació les podeu consultar a la figura 3-2.

3.2.2.4. Descripció de les dades processades

El procés és essencialment el mateix que l'explicat a l'apartat 2.2.2. L'única diferència és que, en el cas dels models de temperatura i precipitació, no hem utilitzat addicionalment estacions meteorològiques exteriors a l'àmbit geogràfic estudiat. No hem aplicat un *buffer* com l'utilitzat en el model fraccionat per conques hidrogràfiques de l'Espanya peninsular. En el cas dels models de radiació solar si que hem utilitzat estacions exteriors a Catalunya tal i com hem comentat a l'apartat 3.1.

3.2.3. Factors climàtics o variables independents

3.2.3.1. Elecció de les variables independents

Pel cas de les temperatures hem seleccionat l'orografia, la latitud, la continentalitat i la radiació solar real i, pel cas de la precipitació, l'orografia, la latitud, la continentalitat i la nuvolositat. Aquesta última és, en realitat, un factor d'absència de núvols obtingut a partir de la relació existent entre els valors de radiació solar potencial i de radiació solar observada en les estacions meteorològiques. Aquest factor també s'ha utilitzat per a corregir el model de radiació potencial (que pressuposa unes condicions atmosfèriques invariables) per acabar obtenint el model de radiació solar real. Tot seguit explicarem el procés que hem seguit amb més detall. Recordem que la nuvolositat i la radiació solar real no han estat utilitzades per a la Península Ibèrica a causa de la manca de dades per modelitzar-les.

3.2.3.2. Obtenció de les variables independents

3.2.3.2.1 Altitud i latitud

L'altitud i la latitud s'han obtingut de la mateixa manera que l'exposada a l'apartat homònim del capítol 2.

3.2.3.2.2 Continentalitat

Només hem utilitzat la distància a la mar Mediterrània tot i que la utilització de la distància a l'oceà Atlàntic potser podria aportar millores a la zona de la Vall d'Aran.

3.2.3.2.3 Radiació solar real i nuvolositat

Una vegada obtinguts els mapes de radiació potencial per a Catalunya, amb la mateixa metodologia explicada a Pons (1996), ens hem proposat d'introduir la variabilitat que generen les condicions atmosfèriques, fonamentalment la nuvolositat.

Per introduir el factor de nuvolositat el que farem serà comparar els valors del model de radiació solar potencial amb les dades de radiació observades a les estacions meteorològiques. La comparació d'aquests valors ens donarà uns correctors (vegeu més endavant) que seran interpolats per a tot el territori utilitzant el mètode de l'invers de la distància al quadrat. Aquesta interpolació dels correctors no té en compte el relleu, però com que posteriorment s'aplicaran per corregir el model de radiació potencial, el relleu quedarà inclòs en el model. Anomenarem radiació solar real (utilitzant la mateixa analogia que en els models de temperatura i precipitació) per referir-nos a la radiació solar calibrada amb dades empíriques.

Els correctors de radiació

L'obtenció dels correctors de radiació es fonamenta en la comparació entre la radiació potencial del nostre model simulant una superfície plana i les dades de les estacions per a cada estació i dins de cada estació per a cada mes (equació 3-1). En el cas de la

radiació potencial, el valor que hem assignat dins d'un mateix mes és idèntic per a totes les estacions ja que, com hem dit abans, la forma esfèrica dels piranòmetres utilitzats per mesurar la radiació real fa que la radiació captada sigui igual a una radiació mesurada sobre superfície plana. En el nostre MDE el mar està codificat amb cel·les d'igual valor i per tant la radiació solar calculada en aquests cel·les és l'equivalent, amb tota seguretat, a la d'una zona plana.

El més interessant de la metodologia utilitzada és que si bé la interpolació dels correctors no té en compte el relleu, en creuar aquest mapa d'anomalies amb el de radiació potencial obtenim un mapa de radiació real que sí que té en compte l'efecte del relleu en tots els punts del territori. D'aquesta manera evitem fer una interpolació de valors de radiació real que poden ser molt modificats pel relleu i obtenim un mapa molt més realista que els convencionals.

$$R_r = R_p \times \frac{R_{rh}}{R_{ph}}$$

Equació 3-1. Expressió final per a obtenir la radiació solar real a partir d'un corrector on R_{ph} representa la radiació potencial sobre superfície horitzontal i R_{rh} la radiació real també

Processament de les dades de radiació solar

El primer pas, doncs, ha consistit a reunir la màxima quantitat de dades climàtiques. En el cas de la radiació solar són un bé molt apreciat i escàs ja que les estacions no fa gaire temps que realitzen aquestes mesures. Les estacions utilitzades, així com la seva posició geogràfica i l'entitat que les ha subministrat estan llistades a l'apèndix C. La figura 3-3 ens mostra el plotejat de les estacions meteorològiques de radiació solar sobre el territori estudiat.

Exposarem a continuació el processament i modificacions de les dades que vàrem realitzar. Fonamentalment vam obtenir informació a partir de 3 fonts:

1) *Atlas de radiació solar a Catalunya*

Aquesta ha estat la font de dades principal (vegeu Baldasano *et al.*, 1994) tot i que posteriorment hem anat obtenint noves dades tant amb la intenció d'incrementar la longitud de les sèries com per obtenir una millor cobertura espacial. Tal com es pot veure a l'apèndix C, en aquest treball és on trobem més varietat de dades ja que hi ha recopilades mesures fetes per estacions que pertanyen a diversos organismes, administracions i entitats (DARP, DMA, CNRS, INM, etc.). Les dades vénen donades en $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ i amb una freqüència mensual tot i que basada en una mitjana en base diària. El terme diària fa referència a la integració de tota la radiació solar que arriba durant un dia sencer.

Sobre les dades obtingudes a partir de l'*Atlas de radiació solar a Catalunya* no hem hagut de fer pràcticament cap filtratge ja que en l'esmentat treball ja va ser realitzat aquest procés. Per a més informació sobre el filtratge d'errors i el control de qualitat de les dades vegeu l'esmentat Atlas, com també l'*Atlas de radiación solar en Aragón* (Turégano *et al.*, 1995). El primer proposa un mètode de coherència temporal (comparació amb una corba teòrica) i espacial (comparació amb estacions properes). En el segon treball es proposa l'anàlisi de Fourier per a detectar els anys no representatius del règim de radiació solar.

Hem fet alguna correcció a nivell de la ubicació d'alguna estació, amb coordenades clarament errònies, com és el cas de l'estació de Malgrat amb unes UTM que la posicionaven sobre el mar. També hem ajustat, tot i que no és tracta d'un error tant important com l'anterior, les coordenades d'Odeïll ja que mirant les fonts cartogràfiques (full 36-10 de les sèries 1:50000 del SGE) hem vist que existeix un forn solar un xic més al nord d'on estava ubicada l'estació. A causa que en aquest indret els valors eren molt elevats hem suposat que aquesta estació estaria ubicada al mateix indret que el forn solar.

També hem eliminat M_Veciana en lloc de Veciana, ja que ambdues estacions estan ubicades al mateix lloc, però amb sèries un xic distintes. A més, aquestes sèries es solapen en el temps, és a dir, una no és continuació de l'altre. Veciana és l'estació que té la sèrie més llarga, 7 anys per ni tan sols 2 anys de M_Veciana.

També hem trobat conflicte entre les estacions de Girona i Sarrià de Ter i entre les de Lleida i EMECA, amb valors aparentment força distints malgrat de la seva proximitat (2.2 km i 2.1 km respectivament). Tot i així, en el primer cas, aquests valors distints podrien donar-se a causa que Girona queda més enclotada que Sarrià i per tant podria tenir més acumulació de núvols i un ocultament topogràfic major. En el segon cas, en tractar-se de la plana de Lleida podem observar a la cartografia general que no hi ha cap accident orogràfic que pugui explicar la diferència. En ambdós casos, en decidir el filtratge de 4 anys, ha quedat eliminada l'estació de pitjor sèrie.

Tot i que inicialment hauríem exclòs les estacions que quedaven fora de l'àmbit del nostre MDE (vegeu apartat 3.1.) finalment optarem per incloure aquestes estacions ja que el mòdul INTERPNT de MiraMon té en compte, a l'hora de construir el ràster resultant de la interpolació, els valors dels vectors exteriors a l'àrea delimitada per l'usuari.

2) Estacions automàtiques del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat (DARP)

Les dades de les estacions automàtiques del DARP (facilitades pel Dr. Josep Pinyol de la Unitat d'Ecologia de la UAB) també vénen expressades en $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$. Aquestes dades, a diferència del cas anterior, les hem tractat ja que les mesures eren diàries i nosaltres hem treballat amb mitjanes mensuals en base diària. Hem comptabilitzat únicament els mesos que tenen més de 15 dies de dades i finalment hem fet la mitjana entre els mesos homònims. Les estacions del DARP que són presents també a l'Atlas de radiació han estat treballades a partir de les noves dades ja que les sèries són més llargues.

3) Departament de Medi Ambient de la Generalitat (DMA)

Les dades del DMA vénen donades amb una freqüència de mitja hora. Una vegada obtingudes les mitjanes diàries hem seguit el mateix criteri per fer el filtratge que en el cas de les estacions del DARP. Hem eliminat l'estació de Manresa perquè, tot i tenir una bona sèrie temporal, els valors eren molt distints dels de l'estació de Manresa de l'ICAEN i, a més, aquests últims eren més coherents amb els valors pròxims.

Qualitat de les dades

En general, podem dir que les estacions que actualment hi ha a Catalunya i las seus voltants estan ubicades d'una manera poc adequada per a realitzar un estudi global com el nostre, ja que estan més orientades a estudis puntuals com la ubicació de forns solars, qüestions relacionades amb l'agricultura, etc. Com és pot veure a la figura 3-3 hi ha zones importants sense cap estació com per exemple gairebé tot el Prepirineu o l'extrem oriental dels Pirineus. Les estacions estan clarament localitzades a les zones costaneres i a la depressió central probablement per raons d'interès agrícola. Més endavant, quan exposem els resultats de la modelització de la temperatura (apartat 3.3.1), veurem com ens afecta la disposició de les estacions. L'ocultament topogràfic és un altre problema espacial (en aquest cas de tipus local) que pot ser font d'error i ja ha estat comentat abans.

Un altre punt que cal tenir en compte és que hi ha força dispersió temporal en les dades (vegeu el llistat de les característiques de les estacions meteorològiques a l'apèndix C). Tenim dades fins l'any 1996, però les estacions inicien les seves mesures en distints moments. Ara bé, en prendre 4 anys com a longitud mínima de les sèries reduïm els comportaments anòmals que es poden haver donat durant els distints períodes.

3.2.4. Elecció del model de regressió

Hem aplicat un model lineal tal i com es pot veure a l'equació 3-2.

$$Y = b_0 + b_1(ALT) + b_2(COSLAT) + b_3(DMED) + b_4(DATL) + b_5(RAD \text{ o } ABSNUV)$$

Equació 3-2. Y és un element climàtic, b_0 és la intercepció i b_n són els coeficients de regressió múltiple no estandarditzats, ajustats per a cada mes, conca i variable dependent a partir de les dades de les estacions meteorològiques. ALT és l'altitud en metres, COSLAT és el cosinus de la latitud en graus, DMED és la distància lineal al Mediterrani en km. En el cas de les temperatures tenim que RAD és la radiació solar real en paquets de $10 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ però en el cas de la precipitació utilitzem en lloc de aquesta variable l'absència de nuvolositat (ABSNUV).

3.3. Resultats i discussió

3.3.1. Temperatura mitjana de l'aire

A la taula 3-1 podem veure que tots els coeficients de determinació del model no corregit (R^2_{nc}) estan entre 0.75 i 0.95 amb una mitjana de 0.84. En el model corregit, els coeficients (R^2_c) són lleugerament millors (entre 0.83 i 0.97 i una mitjana de 0.86). Així, el model millora quan es corregeix amb les dades meteorològiques però, com que els ajustos en el model no corregit són ja força bons (són predictius), aquesta millora no és molt important, i fins i tot en quatre mesos són lleugerament pitjors.

En tots els casos, el R^2_c utilitzant l'invers de la distància al quadrat com a tècnica d'interpolació per als correctors és sempre millor que el *kriging* (el R^2_c mitjà per a tots els mesos en el primer cas és 0.85, mentre que en l'últim cas és de 0.83). Per tant, els mapes reals amb totes les estacions s'han generat sempre amb correctors interpolats amb l'invers de la distància al quadrat.

Finalment, dir que tots els mesos tenen predictors similars excepte les dades anuals que són, de llarg, les més ben predites, com és lògic degut al fet que presenten valors menys variables.

La figura 3-4 mostra la significació estadística de les variables independents al llarg de l'any. L'altitud és significativa per a tots els mesos i sempre té coeficients de regressió múltiple negatius (b). Això significa que la temperatura mitjana de l'aire disminueix en augmentar l'altitud. La continentalitat és menys important en els mesos de primavera,

probablement a causa que el gradient de temperatura de l'aire entre les terres de l'interior i de la costa és menor. Té 'b' negatives durant l'hivern (quan les terres de l'interior estan més fredes) i 'b' positives durant l'estiu (quan les terres de l'interior estan més calentes). La radiació solar no és mai significativa, probablement a causa de la manca d'estacions meteorològiques en les àrees de més pendent. El cosinus de la latitud té 'b' positives durant tot l'any, excepte als mesos d'hivern. Això significa que la temperatura de l'aire mitjana en general disminueix en augmentar la latitud.

A la làmina 3-1 es mostra el mapa digital de la temperatura de l'aire anual mitjana. La taula 3-2 mostra els estadístics descriptius per a aquest mapa. Els mesos extrems són el gener ($T=4.6^{\circ}\text{C}$) i el juliol ($T=21.3^{\circ}\text{C}$). Aquests valors s'han calculat, com per a les altres variables dependents que discutirem més tard, a partir del total de cel·les 180×180 de Catalunya (990375) i no a partir de les estacions meteorològiques. Com s'explica a la introducció, els mapes s'han generat per a cada mes. Finalment, la figura 3-5 mostra l'histograma de freqüències per a la temperatura de l'aire anual mitjana.

3.3.2. Temperatura mitjana de les mínimes i temperatura mitjana de les màximes

Els paràmetres estadístics de les anàlisis de regressió múltiple es mostren a les taules 3-3 i 3-4, i els estadístics descriptius a les taules 3-5 i 3-6. Representem la significació estadística de les variables independents al llarg de l'any a les figures 3-6 i 3-7, els mapes anuals a la làmina 3-1 i l'histograma de freqüències a les figures 3-8 i 3-9.

En el cas de la temperatura mitjana de les màximes, els mesos extrems són el gener ($T=9.1^{\circ}\text{C}$) i el juliol ($T=27.9^{\circ}\text{C}$) i, en el cas de la temperatura mitjana de les mínimes trobem també el gener ($T=0.1^{\circ}\text{C}$) com el mes més fred i l'agost ($T=15^{\circ}\text{C}$) com el més calorós.

Respecte a la importància estadística de les variables independents, Chuvieco i Salas (1996) troben resultats similars en el cas de la temperatura mitjana de les màximes durant l'estiu al centre d'Espanya.

És important destacar que els resultats estadístics que es mostren a les taules 3-3 i 3-4, tot i que força bons, són quasi sempre menors que els que s'obtenen en el cas de la temperatura mitjana. Aquest és un resultat esperable ja que els valors extrems són més difícils de predir que els valors mitjans. L'excepció són els mesos de juliol i agost, on la temperatura mitjana de les mínimes es prediu millor que la temperatura mitjana. Així, R^2_{nc} està entre 0.61 i 0.87 en el cas de la temperatura mitjana de les màximes (amb una mitjana de 0.73) i entre 0.68 i 0.84 en el cas de la temperatura mitjana de les mínimes (amb una mitjana de 0.78), mentre que per a la temperatura mitjana els valors estaven entre 0.75 i 0.95. Tot i així, aquestes diferències són més petites quan corregim el model utilitzant les estacions meteorològiques (R^2_c), fet que ens porta a valors entre 0.70 i 0.89 per a la temperatura mitjana de les màximes (amb una mitjana de 0.77) i entre 0.79 i 0.86 per a la temperatura mitjana de les mínimes (amb una mitjana de 0.83). La temperatura mitjana de les mínimes es prediu millor que la de les màximes excepte pels valors anuals.

Com en el cas de la temperatura mitjana, en tots els casos el R^2_c obtingut usant l'invers de la distància al quadrat com a tècnica d'interpolació per als correctors és sempre millor que el *kriging* (en el primer cas, la mitjana de R^2_c per a tots els mesos és de 0.77 per a les màximes i 0.83 per a les mínimes, mentre que en l'últim cas són 0.74 i 0.81 respectivament), per tant els mapes reals amb totes les estacions s'han generat sempre amb els correctors interpolats amb l'invers de la distància al quadrat.

Les figures 3-7 i 3-8 mostren que la significació estadística de les variables al llarg de l'any és similar, en termes generals, a l'observada en els cas de la temperatura mitjana. L'altitud té sempre influència negativa en la temperatura, la latitud sempre té influència positiva excepte en els mesos d'hivern, que no és significativa, i la radiació solar no és mai significativa. El patró de continentalitat canvia en el cas de la temperatura mitjana de les mínimes on, té influència negativa durant tot l'any en comptes del patró hivern-estiu.

3.3.3. Precipitació

La taula 3-7 mostra que els coeficients de determinació són menors que els observats en el cas de la temperatura, com era d'esperar, perquè és més difícil modelitzar la precipitació que la temperatura quan s'usa només dades geogràfiques. El mes més imprevisible és setembre ($R^2_{nc} = 0.32$), mentre que octubre ($R^2_{nc} = 0.46$) també és dels que presenten pitjors ajustos. Això pot ser causat pel tipus de pertorbacions que tenen lloc durant aquests mesos en la costa mediterrània (Clavero *et al.*, 1996). Els mesos d'hivern són també molt imprevisibles ($R^2_{nc} = 0.44$ per al gener). Els mesos d'estiu són els que tenen millors predictors ($R^2_{nc} = 0.75$ per al juliol). La mitjana dels coeficients de determinació dels models no corregits és de 0.56. Al contrari del cas de la temperatura mitjana, podem veure que els coeficients del model corregit (R^2_c) són sensiblement més grans que els coeficients del model no corregit, amb valors per a R^2_c entre 0.60 (març) i 0.91 (juny, juliol i agost) i una mitjana de 0.77. Per tant, aquest model es pot millorar molt quan és corregit amb dades de les estacions meteorològiques seguint la metodologia proposada.

Al contrari del cas de la temperatura, l'aplicació del *kriging* com interpolador dels correctors dona millors resultats que els que s'obtenen amb l'interpolador de l'invers de la distància al quadrat en més casos (el R^2_c mitjà per a tots els mesos és 0.76 en el primer cas i 0.74 en l'últim). Sigui quina sigui la tècnica d'interpolació aplicada als correctors, el model corregit és sempre millor que el no corregit.

La figura 3-10 mostra, com en el cas de la temperatura de l'aire, la importància estadística de les variables utilitzades. En aquest cas, tant l'altitud com la nuvolositat són significatives al llarg de tot l'any. La continentalitat és significativa durant la tardor perquè les estacions situades a prop del mar reben més precipitacions durant les pertorbacions mediterrànies. La latitud és significativa durant la primavera i l'estiu, probablement a causa de la presència dels Pirineus al nord de l'àrea, on la pluja d'estiu és elevada. Podem veure que el model està molt influenciat pel factor altitud, tal i com s'ha constatat en altres treballs (Hutchinson, 1995 i Bigg, 1991). Aquesta informació pot ajudar a complementar o millorar les conclusions d'altres publicacions, tal com ho fa el

treball de Berndtsson (1989) que discuteix la variabilitat entre diferents mesos i la influència de la topografia i la distància al mar.

La làmina 3-2 mostra els mapes digitals de la precipitació anual per a tres mesos representatius i la taula 3-8 mostra els estadístics dels descriptors per a aquest mapa. Els mesos amb menor precipitació són febrer (38.6 mm) i juliol (41.7 mm) mentre que els mesos amb una precipitació més elevada són maig (78.8 mm) i octubre (80.2 mm). També cal destacar les mitjanes, relativament elevades, d'alguns mesos estivals causades per les abundants precipitacions als Pirineus. Aquest màxim estival de precipitació als Pirineus coincideix amb l'exposat per Martín Vide (1985). Finalment, la figura 3-11 mostra l'histograma de freqüències per la precipitació anual.

BIBLIOGRAFIA

- Baldasano, J.M., Calbó, J., Moreno, J. 1994. *Atlas de Radiació Solar a Catalunya (Dades del període 1964-1993)*. Institut de Tecnologia i Modelització Ambiental (ITEMA). Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa.
- Berndtsson, R. 1989. "Topographical and coastal influence on spatial precipitation patterns in Tunisia", *International Journal of Climatology*, **9**, 357-369.
- Bigg, G.R. 1991. "Kriging and intraregional rainfall variability in England", *International Journal of Climatology*, **11**, 663-675.
- Bolòs, M. 1983. A: Vila, J., Albentosa, L.M., Gómez, A., Sola, M., Bolós, O., Bolós, M. (direcció), Vidal, T. *Gran geografia comarcal de Catalunya. Geografia general*, Vol.17. Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona.
- Chuvieco, E. i Salas, J. 1996. "Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS", *International Journal of Geographical Information Systems*, **10**, 333-345.
- Clavero, P., Martín Vide, J. i Raso Nadal, J.M. 1996. *Atles climàtic de Catalunya. Termopluiometria*. Generalitat de Catalunya (Departament de Política Territorial i Obres Públiques), Institut Cartogràfic de Catalunya i Departament de Medi Ambient, Barcelona.
- Debazac, E. F. 1983. "Temperate broad-leaved evergreen forest of the mediterranean region and middle east". A: *Temperate Broad-Leaved Evergreen Forest: Ecosystem of the World*. 10. Ovington, J.D (ed.) Elsevier, Amsterdam.
- Emberger, L. 1952. *Sur le quotient pluviothermique*, 2508-2510. C.R. Acad. Sci., París.
- Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient. *SIG. Sistemes d'Informació Geogràfica. Bases disponibles*. <http://www.gencat.es/mediamb/sig/bases.htm> [visitada el 07-09-2000].
- Hutchinson, M.F. 1995. "Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines", *International Journal of Geographical Information Systems*, **9**, 385-403.

Bibliografia

Martín Vide, J. 1985. "Estacionalidad de la precipitación y mediterraneidad en el Pirineo catalán." *Notes de Geografia Física*, **13-14**, 57-65.

Martín Vide, J. 1987. *Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica*. Tesi Doctoral. Institut Cartogràfic de Catalunya, Generalitat de Catalunya, Barcelona.

Ninyerola, M. 1997. "Modelització climatològica de la radiació solar, la temperatura i la precipitació a través d'un sistema d'informació geogràfica". Treball de recerca. Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Ciències, Bellaterra.

Ninyerola, M., Pons, X., Roure, J.M. 2000. "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques", *International Journal of Climatology*, **20**, 1823-1841.

Piñol, J., Lledó, M.J. i Escarré, A. 1991. "Hydrological balance of two Mediterranean forested catchments (Prades, northeast Spain)", *Journal des Sciences Hydrologiques*, **36**, 95-107.

Pons, X. 1996. "Estimación de la Radiación Solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica". A: VII Coloquio de Geografía Cuantitativa, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Juaristi, J. i Moro, I. (eds.) Vitoria-Gasteiz.

Turégano, J., Bernal, L., Campos, C. i Monné, C. 1995. *Atlas de Radiación Solar en Aragón*. Gobierno de Aragón, Departamento de Industria, Comercio, Energía y Minas y Universidad de Zaragoza, Diputación General de Aragón, Saragossa.

Vila, J., Albentosa, L.M., Gómez, A., Sola, M., Bolós, O., Bolós, M. (direcció), Vidal, T. 1983. *Gran geografia comarcal de Catalunya. Geografia general*, Vol.17. Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona.