

CAPÍTOL 2

MODELITZACIÓ CLIMÀTICA A L'ESPANYA PENINSULAR

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

2.1. Àrea d'estudi

Tot i que existeixen una gran quantitat de models locals (Ho_evar, 1970; Azevedo *et al.*, 1998; Blennow i Persson, 1998; etc.) molt interessants per predir la variabilitat climàtica a nivell d'una microscala, el nostre objectiu és desenvolupar un model més general sobre una àrea relativament gran. L'escala del nostre model climàtic, d'una banda és mesoclimàtica, com es pot deduir de la resolució emprada de 200 metres (la mida de cada cel·la és de 4 hectàrees), però d'altra banda, si fem referència a l'àrea d'estudi la podem considerar macroclimàtica o regional. Cal pensar que aquesta resolució és molt alta sobretot tenint en compte la superfície de l'àrea estudiada: 493720 km² per a l'Espanya peninsular i 583564 km² per a la Península Ibèrica. Si fem un càlcul aproximat de la quantitat de cel·les interpolades veiem que hem treballat amb $12.3 \cdot 10^6$ i $14.6 \cdot 10^6$ cel·les respectivament. En altres treballs, citats a la introducció, trobem resolucions de 5 km per la Gran Bretanya (ca. 225000 cel·les), 25 km per a Nord Amèrica (ca. 15800 cel·les) i d'1 km per a l'estat espanyol (ca. 505000 cel·les). White i Smith (1982) van treballar a Gran Bretanya amb una resolució de 10 km (ca. 56250 cel·les). Si considerem l'any de publicació d'aquests últims mapes podem entendre que en aquell moment treballar a majors resolucions devia ser molt complicat.

Hem treballat amb un àmbit geogràfic (vegeu la figura 2-1) que ve definit per les següents coordenades UTM reprojectades al fus 30N: -74000 (UTM X mínima), 1034000 (UTM X màxima), 3980000 (UTM Y mínima) i 4865000 (UTM Y màxima).

Veiem, doncs, que gran part del nostre estudi se centra en la Península Ibèrica tot i que, com hem comentat a la introducció, les escasses dades climàtiques de Portugal (obtingudes bàsicament de Tormo Molina *et al.*, 1992) s'han utilitzat més aviat per aportar informació als nostres models que per obtenir una cartografia de qualitat d'aquest país. Hem inclòs, però, aquesta porció de la Península Ibèrica per obtenir informació del gradient climàtic existent entre la costa atlàntica portuguesa i les

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

conques veïnes a l'estat portuguès (conca del Nord, conca del Duero, conca del Tajo i conca del Guadiana) però caldrà esperar a l'obtenció de millors dades per poder mostrar una cartografia en bones condicions d'aquest país.

Les illes Balears i Canàries s'han deixat de banda, no per manca d'informació sinó per qüestions de volum d'informació i temps. Hem preferit centrar-nos en el territori peninsular i deixar els territoris insulars per a posteriors treballs, ja que aquests últims poden ser tractats de forma totalment independent i els seu caràcter insular pot necessitar un tractament diferenciat.

Per al càlcul del model de radiació solar hem introduït informació provinent de la franja pirinenca francesa per tal d'evitar els efectes de marge. En aquesta zona de contacte amb França és molt important tenir informació de l'àrea veïna a la zona d'estudi. Aquest *buffer* ens permet tenir en compte l'efecte de les ombres causades per cel·les del territori francès però que es projecten sobre el territori espanyol. El fet de no tenir en compte aquest efecte pot donar lloc a diferències substancials en els valors de radiació solar de les cel·les properes al marge fronterer. Òbviament, aquest efecte no es produeix en la resta del territori peninsular perquè ja només trobem límits confrontants amb la mar Mediterrània o l'oceà Atlàntic i per tant no poden existir efectes indesitjables d'ombrejat.

Si bé l'àmbit geogràfic és el peninsular, hem dividit aquest territori seguint les principals conques hidrogràfiques existents en un intent de cercar zones climàticament més homogènies. Les primeres provatures amb dades preliminars conjuntament amb el fet que arribés a les nostres mans el treball de Sánchez Palomares *et al.* (1999) ens portà a pensar en aquesta divisió del territori. La primera idea era aplicar de moment aquesta divisió en conques i revisar, en treballs posteriors, aquest fraccionament del territori per tal de cercar àrees dins de les conques amb una climatologia encara més homogènia. Una de les noves possibilitats, per exemple, seria el fraccionament de la conca de l'Ebre en dues parts a causa del comportament climàtic tant diferenciat que existeix entre els dos vessants del Sistema Ibèric. Un altre indret interessant de subdividir seria la conca del Nord ja que en ser una franja de territori molt àmplia longitudinalment parlant, hi trobem influències molt distintes i, per tant, força heterogeneïtat. També hi ha moltes

diferències climàtiques dins la conca del Duero ja que hi ha zones força continentals i zones força atlàntiques. Aquesta aproximació, però, no semblaria ser l'adequada a la llum dels resultats obtinguts en aquest treball (si més no per la majoria de conques) ja que pot succeir que els conjunts d'estacions meteorològiques que millor ajustos donin en els models de regressió, abastin diverses conques (vegeu apartat 2.3.1). De totes maneres, creiem que existeix una alternativa seriosa a aquesta aproximació basada en conques hidrogràfiques. En realitat el que es cerca a l'hora d'establir el conjunt d'estacions meteorològiques a estudiar és obtenir el millor ajust possible. Probablement és un compromís entre una certa homogeneïtat (perquè el model de regressió no hagi d'ajustar gradients en sentits oposats) i una certa heterogeneïtat (ja que una excessiva homogeneïtat pot provocar que el model de regressió no detecti diferències entre els punts estudiats). Si bé la primera aproximació natural és la de dividir el territori en conques i subconques, pensem que seria més adequat implementar un sistema basat en el desplaçament continu per tot el territori d'un envolupant que anés seleccionant distints conjunts d'estacions fins a trobar les agrupacions que millors ajustos donessin en el model de regressió múltiple. D'aquesta manera, a més, podríem aprofundir en l'estudi de com afecten la quantitat d'estacions i la seva agregació (*clustering*) als resultats finals.

El model climàtic ha estat desenvolupat per a cadascuna de les 10 conques hidrogràfiques en què hem dividit la Península Ibèrica. A la figura 2-1 podem veure els límits geogràfics i a la taula 2-1 la seva superfície i perímetre com també el nombre de cel·les que hem considerat. Una descripció detallada d'aquestes conques, els seus límits orogràfics i els rius que contenen pot trobar-se a Sánchez Palomares *et al.* (1999) i SMN (1968). Aquest és el llistat de conques classificades en funció del mar en què desguassen.

Conques atlàntiques

- **conca del Nord:** compren els vessants septentrionals que desguassen tant a l'oceà Atlàntic com al mar Cantàbric.
- **conca del Duero:** compren les vessants que drenen al riu Duero.

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

- **conca del Tajo:** compren les vessants que drenen al riu Tajo.
- **conca del Guadiana:** compren les vessants que drenen al riu Guadiana.
- **conca del Guadalquivir:** compren les vessants que drenen al riu Guadalquivir.

Conques mediterrànies

- **conca del Pirineu oriental:** compren les vessants que desguassen al sector nordoriental mediterrani.
- **conca de l'Ebre:** compren les vessants que drenen al riu Ebre.
- **conca de Llevant:** compren les vessants que desguassen al sector centroriental mediterrani.
- **conca del Segura:** compren les vessants que drenen el riu Segura i les que desguassen al sector sudoriental mediterrani.
- **conca del Sud o Meridional:** compren les vessants que desguassen al sector sud mediterrani.

També, com ja hem apuntat abans, s'han realitzat tímids càlculs (els que les dades ens han permès) a la zona abastada per Portugal. No hem esmerçat temps amb la delimitació de la continuació natural de les conques hidrogràfiques en territori portuguès perquè, com ja hem dit abans, el seu cartografiat és més aviat anecdòtic. Hem desenvolupat, però, un model que pren com a unitat de referència els límits administratius de tot el país.

Finalment, tots aquests models desenvolupats i cartografiats a nivell de cada una de les conques hidrogràfiques s'han mosaïcat per acabar produint un mapa sencer a nivell peninsular. L'avantatge de tenir aquests mapes mosaïcats descansa en la possibilitat de poder consultar i editar el model climàtic a nivell de tota la península.

El model climàtic també s'ha desenvolupat paral·lelament per a **tota l'Espanya peninsular** sense aplicar la divisió en conques. Aquest fet permetrà comparar el

comportament del model en funció de distints conjunts d'estacions meteorològiques. A l'apartat 2.3.1 figuren els resultats d'aquesta comparativa.

Pel que fa a la literatura consultada, i centrant-nos en la cartografia objectiva implementada en SIG només trobem el model de Sánchez Palomares *et al.* (1999) per a tota l'Espanya peninsular, tot i que amb una resolució inferior a la nostra. Aquest treball ens mostra mapes de la temperatura mitjana i de precipitació total. Lennon i Turner (1995) a nivell de Gran Bretanya ho fan per la temperatura mitjana diària, Hargy (1997) a nivell d'Irlanda obté mapes de temperatura acumulada i Thompson *et al.* (1998) a nivell de Nord i Centre Amèrica desenvolupen mapes de temperatura mitjana, temperatura acumulada i precipitació total. És important destacar que en cap d'aquests treballs es modelitzen les temperatures mitjanes de les mínimes ni les màximes.

2.1.1. Aspectes climàtics rellevants de la Península Ibèrica

La localització geogràfica de la Península Ibèrica provoca que rebi influències molt diverses que conformen una climatologia força complexa, si més no, comparant amb altres regions del planeta de climes no tan variables. Òbviament, des d'un punt de vista d'un model predictiu aquesta particular ubicació geogràfica no fa res més que complicar les coses, tot i que d'altra banda, fa més atractiu i potser necessari un estudi d'interpolació espacial com aquest. Situada dins la zona temperada, la Península Ibèrica és en una cruïlla d'influències. L'anticicló africà envia masses d'aire subtropical marítim i continental (influències saharianes) mentre que la circulació zonal Oest-Est aporta masses d'aire d'origen atlàntic (influències atlàntiques) segons Capel (1981). No són negligibles, tampoc, les influències de temperació que aporta la proximitat a la mar Mediterrània (influències mediterrànies). La línia divisòria entre la circulació polar i la subtropical està situada aproximadament al paral·lel 40° N, i segons García de Pedraza i Reija (1994) fa que la influència dels anticiclons subtropicals contribueixin a disminuir la freqüència i la intensitat de les penetracions de masses d'aire fredes. Podem afirmar, doncs, que ens trobem al límit meridional de la circulació zonal polar. El fet que estiguem en una zona de contacte aerològic provoca que el clima (sobretot la precipitació) sigui difícil de modelitzar perquè existeixen forts contrastos. Aquest

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

contacte esdevé entre les masses d'aire fred septentrionals (tot i que no són molt freqüents) i les masses d'aire càlid subtropical. Aquests efectes d'inestabilitat atmosfèrica són agreujats per l'escalfament estival de la Mediterrània a les zones de contacte amb aquest mar (2050 km de línia de costa mediterrània a escala 1:200000).

Ara bé, no només la posició geogràfica de la Península Ibèrica és la determinant de la seva complexa climatologia, sinó que l'orografia també hi juga un paper molt important. La Península Ibèrica presenta un relleu força accidentat amb una altitud mitjana de 640 metres (obtinguda a partir del MDE que hem generat). Els altiplans interiors fan que les influències marítimes no arribin al centre de la península i les principals grans serralades permeten la circulació zonal ja que estan disposades en el mateix sentit en què es produeix aquesta circulació atmosfèrica. Una excepció però, és la del Sistema Ibèric, que provoca un sobtat canvi de clima entre els seus vessants i que sovint es pren com a referència de divisió entre el món atlàntic i el mediterrani. Aquestes serralades provoquen, a més, l'obstrucció de les influències de caire continental del N o NE. A més, cal no oblidar l'existència de marcats gradients al llarg del territori provocats per l'efecte Föhn. Les influències atlàntiques molt importants en la meitat oest peninsular en tot cas arriben sempre molt transformades a la meitat est a causa del seu llarg recorregut a través del territori (distàncies que oscil·len aproximadament entre els 900-1050 km al terç nord, passant per 750-800 km al centre i baixant fins a distàncies inferiors a 700 en el terç meridional).

Segons Capel (1981), es poden definir dos grans tipus de clima a la Península Ibèrica: el mediterrani (temperat-càlid o subtropical) definit per una forta sequera estival, i el temperat-fred, en què podem diferenciar el subtipus oceànic (amb precipitacions estivals abundants) i el subtipus continental (amb amplitud tèrmica anual molt elevada).

Per a una descripció de la climatologia del territori és interessant consultar obres de caràcter general com les de Linés (1970) o Capel (1981), com també els atlas climàtics citats a la introducció.

2.2. Material i mètodes

2.2.1. Elecció del mètode d'interpolació espacial

El desenvolupament d'aquest model climàtic mitjançant tècniques estadístiques d'anàlisi multivariant (anàlisi de regressió múltiple) té interès per sí mateix, perquè d'una banda aprofundeix en les relacions entre els elements climàtics i els factors climàtics i, d'altra banda, pot ser vist com un mètode d'interpolació espacial. A més, aquest model ens servirà també d'informació de base per desenvolupar un model quantitatiu de distribució potencial de la vegetació, gràcies a la implementació de tècniques SIG que permeten la seva cartografia,.

Al capítol 1 hem fet referència dels principals tipus d'interpoladors existents i de les seves aplicacions en climatologia. D'aquests mètodes ens hem decantat per utilitzar un mètode global d'interpolació (Burrough i McDonnell, 1998) com és el de regressió múltiple ja que permet introduir informació geogràfica en el sistema. Això permet, a més d'aprofundir sobre les relacions existents entre les variables, que el model pugui ser millorat per l'entrada de noves variables o modificació de les utilitzades. Aquesta informació, que es troba a faltar en altres mètodes d'interpolació, es basa en dades relativament fàcils d'aconseguir. D'una banda necessitem un MDE (més endavant explicarem com ha estat obtingut) i, d'altra banda, necessitem dades de les estacions meteorològiques. A més de la capacitat predictora que es pot obtenir per a qualsevol mètode d'interpolació, aquest mètode dóna informació de la qualitat de l'ajust.

El mètode de regressió múltiple com a interpolador espacial ha estat molt criticat a la Gran Bretanya per Gregory (1982) sense l'existència de clares evidències tal i com expliquen Lennon i Turner (1995). D'altra banda, segons els mateixos autors, hi ha hagut una utilització potser excessivament entusiasta de les *splines* com a mètode d'interpolació.

Tal i com es pot veure a l'apartat 2.2.11.2., s'ha realitzat una comparació del mètode de regressió múltiple amb altres mètodes d'interpolació: linear ponderat per l'invers de la

distància i *kriging*, però hem deixat de banda de moment un quart mètode interessant com són les *splines*. Les superfícies de tendència i els polígons de Thiessen són mètodes limitats que no aporten els resultats desitjats. Tal i com es desprèn de Burrough i McDonnell (1998), les superfícies de tendència són més interessants per ser utilitzades com a funcions suavitzadores que com a veritables interpoladors. Òbviament, sofisticacions d'aquestes tècniques o mètodes mixtes com la combinació de *splines* i regressió múltiple utilitzada per Lennon i Turner (1995) poden ser desenvolupats, validats i comparats en futurs treballs.

2.2.2. Elements climàtics o variables dependents

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

Les dades de les estacions meteorològiques han estat adquirides al Instituto Nacional de Meteorología (INM). Les sèries utilitzades corresponen al període 1950-1999. Tot seguit descriurem les característiques de les dades meteorològiques originals i el tractament a què han estat sotmeses. Aquesta descripció serà realitzada de forma conjunta per a totes les variables utilitzades ja que, metodològicament han estat tractades de forma molt similar. Aquestes dades (a nivell mensual) han estat subministrades pel INM en fitxers de format ASCII de registre fix. Mitjançant un programa desenvolupat expressament per processar aquest format s'ha transformat el format de les dades climàtiques. D'una banda, s'han convertit a un format compatible per a ser importat a un full de càlcul o un gestor de base de dades (en el nostre cas hem utilitzat el programa MIRADADES, *software* totalment compatible amb els formats actuals més populars). D'altra banda, s'han realitzat mitjanes dels valors mensuals de les dades originals dels diferents anys per acabar obtenint un únic valor per a cada mes en cada estació meteorològica. En el cas de les mitjanes anuals aquests càlculs s'han realitzat tenint en compte el nombre d'anys complets. Per tal d'obtenir el màxim rendiment possible de les dades, hem considerat com a any complet un període de 12 mesos encara

que no es correspongui amb l'any civil. El que no hem fet és la mitjana de tots els mesos per evitar desviacions en una mateixa direcció que puguin esbiaixar les mitjanes anuals. Un exemple d'aquest cas seria una estació que no disposés de dades durant el període estival i que això es repetís al llarg dels anys. Així doncs, per a cada estació meteorològica la llargada de la sèrie variarà segons el mes considerat. Els valors anuals, lògicament, estan basats en menys dades per haver-se de complir la norma abans esmentada).

La preparació prèvia per a realitzar l'anàlisi estadística, tal i com veurem més endavant, ens ha resultat força còmode pel fet de disposar de la informació en format de base de dades i gràcies a les prestacions del *software* MiraMon (Pons, 1998).

A més dels valors numèrics de les variables climàtiques, el INM també proporciona les següents dades fixes de cada estació meteorològica:

- coordenades geogràfiques (latitud i longitud expressades en graus, minuts i segons), l'altitud, el topònim de l'estació i el codi de l'estació (format per un primer dígit que fa referència a la conca hidrogràfica i 4 caràcters alfanumèrics per codificar de forma inequívoca cada una de les estacions).

Les coordenades són vitals per incorporar aquestes dades a un SIG ja que el que necessitem és poder ubicar geogràficament amb precisió aquesta informació climàtica. Aquestes dades s'han reprojectat al sistema de projecció UTM i concretament al sistema de referència UTM-30N per ser un sistema àmpliament utilitzat en la cartografia estatal ja que permet treballar sobre un eix de referència cartesià i per tant basat en distàncies pràcticament lineals. A causa que la Península Ibèrica comprèn 3 fusos UTM 29, 30 i 31, és convenient treballar amb una projecció UTM referida al fus central. L'error derivat d'aquesta projecció comuna és prou petit a l'escala de treball i aporta la comoditat de poder treballar amb un únic sistema de referència.

Les dades d'altitud i del codi de la conca hidrogràfica també són molt interessants per al nostre estudi, tot i que no són tan vitals com les coordenades. L'altitud es podria obtenir mitjançant un MDE i seguint la mateixa tècnica que hem utilitzat per obtenir els valors de continentalitat i radiació solar de cada una de les estacions (vegeu l'apartat 2.2.3.2).

La pertinença a una determinada conca hidrogràfica s'hauria pogut obtenir utilitzant una capa vectorial digitalitzada del perfil de les conques (la qual ha estat generada igualment per a altres finalitats) i realitzant una operació de combinació de capes per acabar assignant a cada estació la conca hidrogràfica adient. El fet de que vinguin associades a les dades climàtiques ha estalviat feina i ens ha permès treballar amb l'altitud nominal que, en principi, sempre serà més precisa que l'obtinguda per altres mitjans a la nostra escala de treball.

A l'apèndix C hi ha un llistat exhaustiu de totes les estacions meteorològiques utilitzades en aquest treball.

2.2.2.2. Elecció de les variables dependents

Tenint en compte treballs anteriors (Ninyerola *et al.*, en premsa), la disponibilitat actual de les dades meteorològiques a la xarxa de l'INM i el nostre interès per estudiar la vegetació, hem decidit treballar amb les següents variables: temperatura mitjana de les mínimes, temperatura mitjana, temperatura mitjana de les màximes i precipitació, totes elles tant a nivell mensual com anual. En el cas de la temperatura, ens referim a la temperatura de l'aire i en el cas de la precipitació a la precipitació total (líquida i sòlida). La temperatura és una bona expressió de factors físics com són el balanç energètic, els canvis de les masses d'aire i el flux de calor procedent de la condensació i evaporació i, per tant, és molt útil per a realitzar síntesis climàtiques (IGN, 1991a). La precipitació, per la seva banda, és una bona expressió dels cicles hidrològics. A més, totes les variables escollides són rellevants de cara a modelitzar la vegetació (vegeu l'apartat 4.2.3.1). Tornem a destacar, en aquest punt, l'elecció de la temperatura mitjana de les mínimes i de les màximes pel fet de constituir unes variables que poden tenir molta importància a l'hora de modelar la distribució de la vegetació.

Òbviament altres elements climàtics podrien tenir interès per a l'estudi de la vegetació però, actualment, o bé se'n tenen poques dades, o bé han estat inaccessibles per a nosaltres. Seria, però, molt interessant, en un futur poder obtenir dades referents al nombre de dies de glaçades, ja que és un factor molt important des del punt de vista de

la distribució de la vegetació (Woodward, 1987) tot i que probablement força difícil de modelitzar a nivell espacial. El mateix que per les glaçades és aplicable al vent però, si més no actualment, creiem que és pràcticament impossible d'obtenir un model realista d'aquesta variable a partir de les dades de les estacions meteorològiques. En aquest treball hem obviat els dies de precipitació a causa dels resultats poc convincents ens van donar estudis previs que vam dur a terme. Cal esmentar també l'evapotranspiració com a possible variable interessant (vegeu l'apartat 4.2.3.1.), que no ha estat modelitzada de moment.

A nivell temporal ens ha semblat idoni treballar amb dades mensuals. D'una banda, períodes inferiors augmentarien molt el volum de les dades i el seu cost. Per tant, aquest increment de resolució temporal suposaria una complicació a tots nivells, sense aportar, creiem, excessiva informació per aquest tipus d'estudi a nivell regional. Existeixen, però, variables influents en la vegetació que fan referència a la relació entre la temperatura i el temps. Els graus-dia per exemple, expressen la quantitat de graus que cal acumular per sobre d'un llindar per tal que un determinat esdeveniment fisiològic es pugui produir (Begon *et al.*, 1988). En aquest cas seria interessant poder gaudir d'informació intramensual, tot i que els models finals no es cartografiessin a aquesta resolució temporal.

2.2.2.3. Filtratge de les dades

Hem donat un format de base de dades (DBF) al fitxer resultant del primer processament de les dades originals i, posteriorment, hem convertit les dades a un format vectorial de tipus punt amb estructura topològica. Aquest vector estructurat conté totes les estacions disponibles, independentment de la longitud de les sèries. D'aquesta manera, el procés de filtratge pot ser realitzat, segons els propis interessos, per a qualsevol persona amb un mínim de coneixement del *software* adequat, ja que totes les estacions estan a la disposició de l'usuari. Una consulta per atributs adequada ens permet generar un nou subconjunt d'estacions amb els requisits desitjats. Tot seguit explicarem quines consideracions s'han fet a l'hora d'obtenir aquests subconjunts d'estacions meteorològiques.

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

Per filtrar les estacions meteorològiques s'ha considerat dos aspectes: el temporal (longitud de les sèries) i l'espacial (distribució territorial) tot intentant arribar a un compromís entre ambdós factors. Segons Martín Vide (1987), cal que les sèries siguin suficientment llargues perquè els paràmetres poblacionals siguin estables, però no tan llargues com perquè la mostra pugui pertànyer a dues poblacions distintes. Observant les nostres dades, en tot cas hem de témer el primer punt. La World Meteorological Organization (WMO) recomana períodes de 30 o més anys (per a la majoria d'aplicacions) perquè les sèries climàtiques puguin considerar-se estadísticament estables en absorbir les desviacions provocades per anomalies puntuals (WMO, 1967). Existeixen, però, matisos d'aquesta regla general en funció de l'element climàtic i la ubicació geogràfica. Ambdós matisos en realitat fan referència a la variabilitat dels valors mesurats. Segons Peinado (1985), Landsberg i Jacobs proposen una metodologia per determinar quina és la longitud de la sèrie òptima tenint en compte la ubicació geogràfica.

Ara bé, si agafem les 328 estacions de temperatura i les 1213 de precipitació que, per al nostre territori, superen els 30 anys complets, veiem que moltes zones del territori no queden cobertes. També existeix la situació inversa a tenir àrees sense registres ja que en determinats nuclis (sovint capitals de província) trobem una elevada agregació d'estacions meteorològiques a vegades amb valors substancialment diferents. Cal trobar, doncs, un compromís entre la longitud de les sèries i la seva distribució espacial, ja que l'objectiu del nostre treball és realitzar una interpolació espacial i per tant és interessant recollir la màxima informació possible de la variabilitat espacial sempre i quan aquesta no sigui de mala qualitat. Aquest últim fet perjudicaria l'ajust del model més que contribuir-hi positivament. Existeixen treballs que aprofundeixen en aquesta problemàtica com per exemple els de Hubbard (1994) i Ashraf *et al.* (1997) que utilitzen el *kriging* per estudiar la distribució idònia de la xarxa d'estacions.

Parlem de temperatures en general perquè les tres variables de temperatura (mínimes, mitjanes i màximes) tenen, pràcticament en tots els casos, sèries amb la mateixa longitud a cadascuna de les estacions. Existeixen tres categories distintes d'estacions meteorològiques: estacions pluviomètriques (que només mesuren la precipitació), estacions termopluiomètriques (només mesuren les temperatures i la precipitació) i les

estacions completes (que mesuren altres paràmetres addicionals). Tant en les estacions termopluiomètriques com en les completes els registres de temperatura mitjana sempre van acompanyats dels registres de les mitjanes de les mínimes i les màximes i, per tant, tenim el mateix nombre d'estacions per cada una d'aquestes tres variables. Òbviament, pel cas de la precipitació tenim més estacions ja que existeixen, a més, les estacions pluviomètriques.

Realitzant tests estadístics (vegeu l'apartat 2.2.5 per a l'explicació del mètode de validació i l'apartat 2.3.1 pels resultats) i, basant-nos en els bons resultats de treballs anteriors (Ninyerola *et al.*, en premsa), s'han filtrat les estacions de temperatura a 15 o més anys complets, i les de precipitació a 20 o més anys complets. El fet que existeixin més estacions que mesurin la precipitació compensa espacialment el fet que el filtratge temporal sigui més sever. Altres treballs de predicció estadística (Egido *et al.*, 1985) utilitzen 8 i 20 anys respectivament per modelitzar la precipitació.

Igual que succeeix a Catalunya (Clavero *et al.*, 1996), malgrat la bona densitat mitjana d'estacions a Espanya, hi ha poques estacions a les zones muntanyoses i moltes a les zones planes. A més, les estacions de zones muntanyoses acostumen a estar situades en fons de valls, i només molt rarament a mig vessant. Aquest fet (perjudicial si més no per als nostres interessos) es pot veure fàcilment mitjançant el plotejat de les estacions sobre el MDE (figura 2-2). A la taula 2-2 presentem diversos estadístics dels pendents de les estacions calculats per nosaltres on es desprèn que la ubicació en pendents plans és general a tot el territori. Aquesta disposició espacial sembla ser que sovint segueix patrons d'interès agrícola en cas de la temperatura i d'interès hidroelèctric en el cas de la precipitació. En la representació espacial de les estacions meteorològiques també s'observa que la distribució de les estacions meteorològiques no segueix un patró regular o aleatori que seria més interessant des de l'òptica dels estudis d'anàlisi espacial.

La densitat de les estacions de què disposem és la següent, tot i que com ja hem comentat aquesta distribució no és regular:

- estacions meteorològiques amb dades de temperatura: considerant l'Espanya peninsular, la densitat és d'una estació per a cada 140 km² sense filtrar les estacions i

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

una per cada 367 km² una vegada filtrades. Pel cas de tota la Península Ibèrica tenim uns valors de 164 km² i 419 km² respectivament.

- estacions meteorològiques amb dades de precipitació: si considerem el territori espanyol, tenim una estació per a cada 67 km² abans de filtrar les dades i una per cada 196 km² després de filtrar. Si considerem tota la Península Ibèrica tenim 79 km² i 227 km² respectivament.

El nombre d'estacions (sense filtrar i filtrades) i les densitats per a cada una de les conques hidrogràfiques estudiades són a la taula 2-3.

Aquests valors estan dins les recomanacions de la WMO (1967), si més no per a les zones planes, ja que en aquest cas la WMO estableix com acceptable fins una densitat d'una estació cada 600 km².

Una vegada assolit un compromís entre la longitud de les sèries i la distribució espacial, hem seleccionat les estacions seguint diversos criteris. Com ja hem comentat a l'apartat 2.1, el model climàtic ha estat construït tant per a cada una de les conques hidrogràfiques per separat com per a tota l'Espanya peninsular sencera. La decisió de desenvolupar les dues aproximacions (model fraccionat i model global) s'ha pres en observar els resultats del model de regressió utilitzant totes les estacions meteorològiques (apartat 2.3.1). Si bé inicialment vam pensar a utilitzar zones climàticament més uniformes, els resultats semblen apuntar en un altra direcció. Ha estat necessari doncs, desenvolupar els dos models fins al final per veure si les tendències observades es mantenen o s'invertien un cop aplicats els correctors (apartat 2.2.8). El fet que el codi del INM consti en el seu primer dígit de l'indicatiu que referència cada una de les principals conques hidrogràfiques ha facilitat molt la feina de selecció dels subconjunts d'estacions meteorològiques. En cas contrari hauria calgut obtenir aquest atribut de l'encreuament de les estacions (punts) amb les conques hidrogràfiques (polígons). A la figura 2-3 podem observar el plotejat de les estacions finalment escollides per elaborar els models tant pel cas de les temperatures com pel de la precipitació.

Finalment, les estacions també s'han dividit en dos grups per tal de generar i validar els models (vegeu apartat 2.2.5). Així doncs, per a cada una de les conques i per a cada mes de l'any tindrem un determinat subconjunt d'estacions per ajustar el model i un altre subconjunt d'estacions per validar-lo. La taula 2-3 ens mostra la quantitat d'estacions finalment utilitzades per cada model.

2.2.2.4. La qualitat de les dades

No hem aprofundit excessivament en les tècniques de detecció de valors i sèries anòmales que tradicionalment s'han desenvolupat en climatologia (Peinado, 1985) i hem passat filtres simples (valors mínims i màxims, mitjanes, etc.) per detectar si més no valors clarament erronis.

D'altra banda, gràcies a la capacitat del SIG utilitzat, hem pogut detectar amb facilitat les estacions que tenien coordenades errònies. La representació espacial de les estacions meteorològiques combinades amb distintes capes vectorials (les administratives a nivell provincial, els límits de les conques hidrogràfiques i la línia de costa de la Península Ibèrica) ens ha permès localitzar les estacions problemàtiques. S'han reposicionat o eliminat estacions que quedaven ubicades fora de la seva província, conca hidrogràfica o més enllà del límit costaner. Dins d'aquestes estacions amb coordenades errònies podem separar tres casos. El primer cas comprèn les estacions que presenten unes coordenades clarament errònies per part del INM (estacions excessivament desplaçades del que el seu indicatiu expressa). El segon cas és el que comprèn les estacions amb coordenades lleugerament errònies respecte les capes vectorials abans esmentades. En aquest cas, el desplaçament podria ser causat per problemes menors com, per exemple, la precisió de les capes vectorials (problemes d'escala) i, em molt menor grau, la manipulació de les dades (projecció en fus UTM-30N). El tercer cas inclou les estacions amb coordenades lleugerament errònies respecte les capes ràster utilitzades. En aquest cas, el problema (habitual en un context de SIG) esdevé en el pas d'un sistema vectorial a un de ràster. Com s'assenyala a la bibliografia general de SIG (Gutiérrez Puebla i Gould, 1994), la geometria vectorial acostuma a ser més precisa que la geometria

basada en cel·les d'una matriu ràster i més tenint en compte la mida de cel·la usada en el nostre cas (200 m).

En els dos últims casos, aquestes estacions haurien heretat valors erronis de les capes ràster i, per tant, en molts casos s'han reposicionat utilitzant informació cartogràfica existent, fonamentalment mapes de les sèries 1:50000 i 1:200000 del Servicio Geográfico del Ejército (SGE). En cas de no veure's clara la ubicació de la estació, s'ha procedit a la seva eliminació.

Com es pot despendre de l'explicat anteriorment, només s'han detectat errors importants en el posicionament de les estacions en situacions frontereres (línia de costa o entre conques). En canvi, desplaçaments dins d'aquests límits no s'han detectat. Tot i així, és de pressuposar que les coordenades en general són correctes donat el petit nombre d'estacions meteorològiques modificades pels criteris anteriors. Cal tenir en compte que petits errors de posicionament afectaran poc, el nostre model. El factor més sensible seria l'altitud, que podria ser afectada de forma important en àrees de gran pendent, però com hem utilitzat l'altitud nominal de les estacions per ajustar el model, aquest problema es pot obviar. En tot cas, aquesta variabilitat quedarà recollida en els residus del model de regressió que utilitzarem per corregir el model tal i com s'explica a l'apartat 2.2.9.

2.2.2.5. Descripció de les dades processades

Les dades del INM, una vegada processades, contenen tant la informació climàtica com la informació afegida per nosaltres relativa a les variables independents, més altres camps necessaris per efectuar les seleccions dels subconjunts de les estacions amb comoditat. Tot seguit descriurem aquest últim punt i deixarem per al següent apartat el procediment usat per enriquir la base de dades a partir dels ràsters de les variables independents.

Utilitzant el primer dígit de l'indicatiu de les estacions podem saber la conca hidrogràfica a què pertany. Un sistema més flexible, però, és el d'obtenir informació de la distància lineal de les estacions als límits de les conques veïnes. Per construir aquest

camp de la base de dades hem utilitzat el mòdul BUFDIST (vegeu també l'apartat 2.2.3.2.) prenent com a objectiu (*target*) cada un de les límits geogràfics de les conques hidrogràfiques. Posteriorment, s'ha enriquit la base de dades, mitjançant el mòdul XY_DBF. Amb aquest procediment, les estacions quedaran codificades, d'una banda, amb valor zero (distància nul·la respecte la conca a la qual pertanyen) i, d'altra banda, amb valors equivalents a les distàncies respecte de totes les altres conques. Gràcies a aquest camp podem decidir quin és el *buffer* que volem aplicar al voltant de cada una de les conques. En altres paraules, el que fem és agafar les estacions de cada una de les conques (distància zero) més les estacions d'altres conques que estan a una determinada distància d'aquesta. A la figura 2-4 podem veure un exemple gràfic. Existeixen dos motius per aplicar aquest *buffer*. D'una banda, tenim el mosaicat final del model fraccionat per conques. El fet de que apliquem un *buffer* a cada conca farà que el mosaicat final no presenti salts bruscs en els valors interpolats. D'altra banda existeix la possibilitat que aquest *buffer* pugui millorar els ajustos dels models. A l'apartat 2.3.1 és podrà veure en quins casos ha estat beneficiós o no aquest *buffer* des d'aquest últim punt de vista. Hem aplicat un *buffer* de 30 km pel cas de les temperatures i de 20 km pel cas de la precipitació. Aquest *buffer* ha estat escollit visualment, mitjançant el plotejat de diverses situacions, amb l'objectiu de tenir una franja més o menys homogènia d'estacions al voltant de cada conca hidrogràfica. En el cas de les temperatures, el *buffer* és major simplement perquè hi ha menys estacions meteorològiques que mesurin aquestes variables. És evident que l'elecció del *buffer* hauria de ser realitzada de forma empírica en validar diferents models de regressió. Això implicaria, però, una quantitat molt elevada de proves i per tant la implementació d'un sistema que automatitzés més aquesta part del procés. Aquesta qüestió és discutida amb més detall a l'apartat 6.1.

Un altre camp de la base de dades utilitzat per realitzar seleccions ha estat construït a partir de la codificació diferencial del 60% i el 40% de les estacions meteorològiques. Aquest camp ha estat generat amb la funció RANDOM del full de càlcul Microsoft Excel 97. El primer subconjunt d'estacions servirà per ajustar el model i el 40% restant per a validar-lo (vegeu l'apartat 2.2.5). Els mapes finals però, com es veurà més endavant, han estat elaborat amb el 100% de les estacions.

2.2.3. Factors climàtics o variables independents

2.2.3.1. Elecció de les variables independents

Per a poder realitzar l'anàlisi de regressió múltiple ens caldrà escollir les variables independents i, posteriorment, enriquir la base de dades amb els valors d'aquestes variables per a cada estació meteorològica tal i com s'ha explicat.

Les variables independents han estat escollides en base als factors geoclimàtics més citats a la literatura (Lacoste i Salanon, 1973) i dels quals podíem obtenir dades. Tant pel cas de les temperatures com de la precipitació hem seleccionat l'orografia, la latitud, la continentalitat i la radiació solar. En el model de precipitació de Catalunya, en treballs previs, havíem utilitzat un factor de nuvolositat calculat a partir de la comparació entre la radiació solar potencial i la radiació solar obtinguda de les estacions meteorològiques. Ara bé, no ha estat possible obtenir les dades de radiació solar de les estacions meteorològiques per a l'Espanya peninsular. Hi ha molt poques estacions amb sèries mínimament utilitzables i, per tant, tot i els bons resultats obtinguts utilitzant aquesta variable (vegeu apartat 3.3.3.) ens hem vist obligats a prescindir-ne pels models peninsulars. Tot i així, hem optat per introduir la radiació solar en el model de precipitació ja que aquesta variable porta implícita informació topogràfica (vegeu l'apartat 2.2.3.2.) que pot influir en la formació de nuvolositat i per tant en la precipitació.

L'orografia és molt utilitzada en els treballs citats al llarg de la introducció, als quals podem afegir el de Schermerhorn (1967). L'inrevés succeeix en el cas de la radiació solar i la nuvolositat, mentre que la latitud i la continentalitat són utilitzades amb una certa freqüència. Font Tullot (1983a) fa referència al gradient latitudinal de precipitació i a les diferències existents entre sobrevent i sotavent pel que fa al regim de precipitació mentre que la variació latitudinal de la temperatura és un fenomen sobradament conegut. Sovint, però, la latitud i la continentalitat són substituïdes pel posicionament en X i Y (Thompson *et al.*, 1998 i Sánchez Palomares *et al.*, 1999). La longitud (X), però, no aporta gaire informació tenint en compte que hem utilitzat la distància al mar com a

factor de continentalitat. Creiem que la distància al mar ja inclou la variable longitud i a més té l'atractiu de tenir un sentit físic clar. El posicionament en X és en realitat una excessiva simplificació de la realitat. Aquest posicionament està basat en la distància a un meridià quan és obvi que aquests semicercles terrestres no tenen cap implicació climàtica a diferència del que succeeix amb els paral·lels. Ben diferent és el cas de l'elecció de la latitud com a variable independent, basada en el coneixement existent de la variació zonal del clima en faixes latitudinals (Walter, 1979). Cal destacar que introduïm la latitud independentment de la radiació solar perquè aquest model pren la latitud del punt central de la imatge (Península Ibèrica) com a referència per a efectuar els càlculs de radiació i, per tant, no inclou aquest factor latitudinal.

Lògicament, existeixen altres variables susceptibles de ser utilitzades com a factors causants de la variabilitat climàtica. Egido *et al.* (1985) i Hernández *et al.* (1975) utilitzen dues variables que poden ser interessants. D'una banda, en els seus models de precipitació inclouen la segona derivada (operador laplacià) de l'altitud per a determinar si un punt del territori està en una situació de convexitat o concavitat (orografia local). D'altra banda, els primers autors utilitzen, en els mateixos models, les distàncies als principals fronts de circulació atmosfèrica. Això en el fons seria una sofisticació de la latitud ja que els fronts més importants circulen d'oest a est i és la latitud el que ens informa de si un determinat punt del territori és a prop o lluny del front de circulació. Aquesta idea es corrobora per Lorente (1946) que, a més, afegeix els corrents marins. Bellot (1978) cita la morfologia de la costa i els corrents marins com a factors importants. Un efecte clar el podem trobar al País Basc, on el corrent marí càlida del golf de Mèxic provoca que les temperatures siguin més elevades del que esperaríem per la seva ubicació geogràfica (García de Pedraza i Reija, 1994).

Altres autors (per exemple Vogt, 1997) utilitzen l'ús del sòl per a modular la climatologia, però el problema en aquest cas és establir una bona relació quantitativa entre els distints usos del sòl i els seus pesos. Caldria desenvolupar possiblement un procés *a posteriori* per a ajustar el model climàtic a partir d'aquesta informació.

Hem deixat algunes variables i sofisticacions de les variables usades (esmentades en el següents apartats) per ser explorades en futurs treballs, tot i que preferim mantenir la

màxima simplicitat possible sempre i quan, òbviament, no s'obtinguin millores apreciables. Creiem que és interessant l'obtenció de bons models predictius amb el menor nombre possible de variables.

Finalment, citar algunes variables que no hem inclòs per distints motius. L'orientació de les estacions respecte del nord està implícita en el model de radiació solar com es veurà al següent apartat. Tanmateix, hem realitzat algunes proves introduint l'orientació als models, amb l'idea d'utilitzar aquesta variable per intentar recollir la implicació de l'orientació i els fenòmens eòlics. En cap cas, però, aquesta variable ha resultat estadísticament significativa i, per tant, aquests resultats coincideixen amb les obtinguts per Hutchinson (1995). El pendent del terreny tampoc no ha estat inclòs ja que també és una variable que queda recollida dins el model de radiació solar. Altres variables importants com els vents són molt difícils de modelitzar com ja s'ha comentat.

2.2.3.2. Obtenció de les variables independents

Dins aquest apartat cal distingir dos conceptes. D'una banda, l'obtenció de les variables independents per poder realitzar l'anàlisi de regressió múltiple mitjançant la captura dels valors d'aquestes variables en els punts del territori en què hi ha estacions meteorològiques. D'altra banda, l'elaboració de les matrius ràster que posteriorment s'utilitzaran per cartografiar el model numèric i, per tant, l'obtenció dels valors d'aquestes variables per a tots els punts del territori. Per a la cartografia del model s'han desenvolupat les matrius ràster de totes les variables independents i per a l'anàlisi estadística s'ha enriquit la base de dades inicial mitjançant el mòdul XY_DBF, que simplement el que fa és capturar els valors dels píxels de la matriu ràster coincidents amb un conjunt de punts donats (en el nostre cas, les estacions meteorològiques). Només s'han utilitzat les dades extretes a partir de les matrius ràster en els casos en què les dades fixes de les estacions meteorològiques del INM no donaven informació de la variable.

2.2.3.2.1. Orografia

En el cas de l'orografia, s'ha utilitzat l'altitud nominal de les estacions com a variable independent per al model de regressió. Com hem comentat abans, hauríem pogut obtenir aquesta informació a partir d'un MDE, però l'altitud és subministrada amb les dades fixes de les estacions meteorològiques. Hem preferit doncs, utilitzar aquesta altitud nominal per ser probablement un valor més exacte. La variabilitat que es produirà en utilitzar els valors d'altitud del MDE en el cartografiat del model en comptes dels valors nominals quedarà recollida en els residus del model de regressió (vegeu l'apartat 2.2.9).

Existeixen sofisticacions diverses d'aquest factor climàtic. Thompson *et al.* (1998) utilitzen l'altitud suavitzada. En una línia similar, Lennon i Turner (1995) utilitzen diversos paràmetres basats en la orografia com a variables independents. Fan servir l'altitud a diverses resolucions que a més els permet obtenir diversos estadístics descriptius per a ser utilitzats com a variables (altitud màxima, mitjana i desviació estàndard). En el nostre cas hem utilitzat l'altitud central de les cel·les de 200 m de resolució.

Per construir el MDE, prèviament ha estat necessària la digitalització de les corbes a partir de la sèrie 1:200000 de la cartografia del SGE per a tot el territori de l'estat espanyol (81 fulls). Aquesta àrdua feina no es conceptualment difícil de dur a terme i només cal anar amb compte en aquells fulls on hi conviuen dos fusos UTM per a reprojectar-los adequadament.

Inicialment, la interpolació de les corbes de nivell es realitzà mitjançant el mòdul INTERCON del *software* Idrisi32 (Eastman, 1999). Aquest interpolador, però, té algunes mancances en el seu algoritme que provoquen artefactes importants. Des d'un punt de vista altimètric, aquests artefactes no són molt importants ja que l'error màxim que es pot produir no supera mai el valor d'equidistància entre corbes. Ara bé, en aplicacions derivades dels MDE com són els models hidrològics, els models digitals de pendents i orientacions o la radiació solar, els resultats poden ser, en determinades situacions, força allunyats de la realitat. Una dissertació sobre els errors i la seva detecció tant en els MDE com en els models derivats pot ser trobada a Felicísimo (1994).

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

En el nostre cas ens interessava molt, a més del MDE en sí mateix, poder obtenir un bon model de radiació solar per ser utilitzat posteriorment tant en el model climàtic com en el de vegetació. Així doncs, finalment vam poder utilitzar el mòdul ISOMDE de MiraMon, recentment programat. Tot i que ambdós programes estan basats en la mateixa tècnica del traçat de perfils, aquest mòdul té moltíssims avantatges respecte el mòdul d'Idrisi32 abans esmentat. A causa que el MDE és una part fonamental del treball, per ser la base on es sustenta el model climàtic, creiem interessant que el lector pugui fer-se una idea de la seva qualitat. Tot seguit enumerarem les millores més destacables aportades pel mòdul ISOMDE:

a) La interpolació de les corbes de nivell es realitza directament sobre la capa vectorial en comptes de fer-ho sobre els vectors rasteritzats. D'aquesta manera els càlculs són geomètricament més precisos.

b) Es tracen 8 perfils en comptes dels 4 perfils tradicionals (en negreta): **0°**, 22.5°, **45°**, 67.5°, **90°**, 112.5°, **135°** i 157.5°. Aquest increment dels perfils per amytjanar la funció d'interpolació es tradueix en uns resultats més suavitzats (i, per tant, amb menys salts bruscs). En tenir en compte més perfils, també es redueixen els artefactes d'estrella produïts per un canvi bruscat de criteri quan un perfil intercepta un petit turó.

c) S'han implementat un seguit de regles empíriques que permeten sortejar algunes situacions topogràfiques altrament molt difícils de modelitzar. El cas típic és el d'una zona plana amb petits turons disseminats que provoca l'artefacte d'estrella abans esmentat. En els casos en què aquests artefactes d'estrella tampoc han estat eliminats amb els paràmetres introduïts en l'interpolador, s'ha optat per eliminar les corbes problemàtiques de la base inicial i rasteritzar-les a posteriori. Tot i així, només ha calgut realitzar aquesta operació per a 15 micropolígons, la majoria ubicats en les grans depressions de l'Ebre i del Guadalquivir. Aquestes zones, en presentar grans extensions molt planes i només alguns turons aïllats, són difícils de modelitzar per la manca d'informació (corbes de nivell) de les dades originals.

d) Possibilitat d'introduir al sistema distints pesos en funció de la distància entre les corbes i el punt interpolat. El programa suporta qualsevol factor exponencial (enter o real) per determinar aquest pes. Realitzant diferents proves hem vist que l'exponent que

semblava donar uns resultats més òptims es troba entre 1 i 2 (invers de la distància lineal i invers de la distància al quadrat respectivament). Per decidir quin és el pes òptim hem realitzat un seguit de validacions que consisteixen a comparar el model obtingut amb diferents pesos vers informació altimètrica de 45 m de resolució. Aquests tests ens mostren (taula 2-4) que la mínima variància existent entre el model interpolat i la informació que actua com a veritat - terreny es produeix quan aquest pes és de 1.375.

El resultat de la interpolació hagués estat encara millor introduint en el sistema una capa vectorial dels rius. L'interpolador és capaç de tenir en compte aquesta informació, la qual esdevé important, sobre tot, en les grans extensions planes on hi ha poques corbes de nivell. Malauradament, però, no vam poder aconseguir informació digital de qualitat dels rius i tàlvegs de l'estat espanyol.

Per a la zona de Portugal, no s'ha realitzat l'esforç de digitalitzar les corbes de nivell perquè com ja s'ha comentat hi ha poca informació d'aquest país i per tant no ens ha semblat necessari esmerçar esforços per obtenir un MDE molt fi quan la resta d'informació és molt escassa. En comptes de la interpolació de corbes de nivell s'ha utilitzat una finestra del MDE mundial GTOP30 proporcionat pel USGS (1996). Aquest MDE té una resolució d'aproximadament 1 km (30") i, per tant, ha estat necessari realitzar una densificació fins a 200 m. També ha calgut reprojectar-lo a fus UTM-30N perquè la informació original estava referenciada en coordenades longitud/latitud (projecció equirectangular). Finalment, s'ha realitzat un mosaic entre la porció peninsular interpolada i aquest MDE amb un resultat suficientment bo per als nostres objectius.

2.2.3.2.2. Latitud

A l'igual que pel cas de l'altitud, s'ha utilitzat la latitud nominal de les estacions també subministrada pel INM. A causa de la curvatura de la terra, hem utilitzat el cosinus de la latitud en graus. Tot i que els resultats, en realitat, no varien gaire, té més sentit usar aquesta mesura que el valor latitudinal directe. La latitud ens recollirà la variabilitat provocada per la circulació zonal atmosfèrica (d'oest a est) i també, d'alguna manera, la distància a la costa atlàntica del nord peninsular.

L'elaboració de la matriu ràster de latitud ha estat un procés molt més simple que en el cas de l'altitud. Utilitzant el mòdul BUFDIST de MiraMon hem calculat la distància geodèsica al punt inferior de la matriu ràster. D'aquesta manera, obtenim una imatge on cada fila de píxels té la mateixa distància a l'extrem inferior d'aquesta. Tot i que la curvatura de la terra, en el nostre àmbit geogràfic, és molt petita, cal tenir en compte que la distància calculada no és euclidiana sinó que està basada en càlculs geodèsics i, per tant, sobre la superfície terrestre i no sobre un pla bidimensional. Hem sumat una constant (valor de la UTM_y mínima de la finestra que defineix l'àmbit geogràfic) a totes les cel·les del ràster. Finalment, s'han convertit els resultats UTM_y a cosinus de la latitud i realitzant la conversió de metres a graus atenent-nos a la relació existent entre els 360 graus de l'esfera terrestre i el perímetre d'aquesta. L'error causat pel fet que la Terra no és perfectament esfèrica és negligible per a les nostres finalitats.

2.2.3.2.3. Continentalitat

A diferència dels casos anteriors, aquesta variable no és subministrada pel INM en les dades fixes de les estacions. Per tant, primerament hem hagut de modelitzar aquesta variable per després enriquir la base de dades de les estacions meteorològiques. Tot i que s'han realitzat proves amb models no lineals (model sigmoïdal), finalment hem modelitzat la continentalitat com la distància lineal al mar utilitzant el mòdul BUFDIST a l'igual que per la latitud.

Inicialment vam partir de la hipòtesi que la influència marítima podria seguir un model sigmoïdal a causa del relleu proper a la costa. En aquesta aproximació, la distància al mar va ser mesurada com el mínim esforç necessari per moure's sobre una superfície de fricció (mòdul COST d'Idrisi32), tenint en compte la influència de fortes diferències en el relleu, especialment en les primeres altituds després del mar. En realitat, el que intentava recollir aquest model és l'efecte que tenen les serralades muntanyoses del litoral com a barrera per a l'entrada d'influència d'aire marítim temperador cap a l'interior del territori. De totes maneres, el millor resultat es va obtenir amb el model lineal, és a dir, quan els paràmetres que defineixen la funció sigmoïdal la converteixen en una recta. Aquest fet probablement és conseqüència de la distribució de les estacions

meteorològiques respecte el relleu, ja que hi ha poques estacions orientades directament a mar i, per tant, el model no recull la variabilitat necessària.

El relleu també pot actuar en un altra direcció ja que cal no oblidar els problemes que poden generar les valls molt tancades dels grans sistemes muntanyosos. Aquest indrets poden tenir unes característiques molt continentals sense estar necessàriament molt allunyats de la costa.

També s'han realitzat proves seguint l'exemple d'estudis com el de Hargy (1997) en el qual s'utilitza la distància logarítmica al mar. D'aquesta manera, dos punts propers al mar tenen valors més diferents que dos punts allunyats del mar. Intentarem millorar l'estudi d'aquest fenomen en un futur, tot i que tal i com Driscoll i Yee Fong (1992) diuen, sembla una variable difícil de modelitzar.

A causa que la Península Ibèrica està pràcticament envoltada d'aigua ens ha semblat interessant d'introduir com a variables independents les distàncies a diversos trams de la costa ibèrica en lloc d'una única distància al mar. Així doncs, hem calculat les distàncies a la mar Mediterrània (tram comprès entre la frontera francesa a la zona de Catalunya i l'estret de Gibraltar), a l'oceà Atlàntic (tram entre l'estret de Gibraltar i l'estaca de Bares a Galícia) i al mar Cantàbric (tram comprès entre l'estaca de Bares i la frontera francesa a la zona del País Basc). Hem digitalitzat un tros extra de costa francesa (tant per la zona de Catalunya com del País Basc) ja que es pot donar el cas que existeixin punts ubicats dins el territori espanyol però amb una distància menor a la costa francesa que a la costa espanyola. Gràcies al tros extra de costa francesa, ens assegurem que cada punt tindrà el valor de distància respecte al punt de la costa que li sigui més proper. La figura 2-5 ens mostra aquesta divisió de la costa ibèrica.

Les anàlisis prèvies amb una única distància al mar han donat pitjors resultats que els obtinguts desglossant aquest factor, ja que el model no recull la informació provinent de les distintes influències de les masses d'aire atlàntiques i mediterrànies.

La distància al mar Cantàbric ha estat introduïda pensant en millorar la modelització de la conca hidrogràfica del Nord. Aquesta conca abasta una estreta franja, d'uns 25 - 50 km aproximadament, entre els Pirineus occidentals i Galícia. Inclou, per tant, tota el

vessant cantàbric, Astúries, el País Basc i Galícia. Algunes de les estacions meteorològiques reben fortes influències de l'oceà Atlàntic mentre que d'altres es comporten de forma molt diferent. La possibilitat de dividir aquesta conca en distintes subconques l'hem deixat de banda pels motius argumentats a l'apartat 2.1 i, per tant, una bona solució ha estat la de segmentar la costa atlàntica i introduir la distància al Cantàbric per intentar recollir aquestes diferents influències. A més, aquesta variable de distància al Cantàbric té un sentit físic ja que es coneix bé el distint comportament climàtic existent entre la costa galaico-portuguesa en front la septentrional (Bellot, 1978).

2.2.3.2.4. Radiació solar potencial

La radiació solar juga un doble paper en aquest treball. D'una banda, és una de les variables que han estat utilitzades com a factors climàtics i, d'altra banda, és una de les variables usades directament en els models de distribució potencial de la vegetació. Dels tractats generals de climatologia i biogeografia esmentats al llarg del treball es desprèn la influència d'aquesta variable en ambdós casos. A l'igual que la continentalitat, aquesta variable s'ha de modelitzar primer per poder enriquir posteriorment la base de dades de les estacions meteorològiques.

Aquesta variable s'ha obtingut a partir del model de radiació potencial proposat per Pons (1996b) i implementat en el *software* MiraMon. El model és totalment computacional, basat en un MDE i té en compte la constant solar, la distància Terra-Sol, la geometria solar (azimut i altura solar), els angles d'incidència dels raigs solars a cada una de les cel·les (pendent i orientació), l'ombrejat (tant el directe com el provocat per àrees veïnes) i la relació entre la radiació difusa i la directa. No té en compte, però, la radiació reflectida a causa de la seva difícil modelització, ni la nuvolositat. Precisament, utilitzem el terme de radiació solar potencial per fer referència a la radiació que arribaria sobre una superfície determinada en condicions atmosfèriques clares i sense nuvolositat, segons el estàndards utilitzats.

En realitat, el model de radiació solar s'assembla als models climàtics en què és un interpolador espacial que usa informació geogràfica. Ara bé, el model és totalment computacional i només utilitza un MDE com a base. Existeix informació d'altres models

topogràfics de radiació solar a Dozier *et al.*(1981), Dubayah *et al.* (1989), Dubayah i Rich (1995), Kumar *et al.* (1997), Duguay (1993) i Hetrick *et al.* (1993).

Abans d'entrar en matèria, però, val la pena fer un incís i aclarir algunes qüestions de nomenclatura i d'unitats de les dades essencials per comprendre el model desenvolupat.

Nomenclatura

Els termes radiació solar i irradiància tenen significats similars, però el primer fa referència a la radiació emesa i el segon fa referència a la intensitat o flux que arriba sobre una determinada superfície. El concepte de radiació solar pren com a referència l'emissor i el d'irradiància el receptor. En aquest treball, per simplificar, utilitzarem en tots els casos un únic terme: radiació. El concepte d'insolació, en canvi, sí que cal diferenciar-lo clarament del de radiació. Podem definir insolació com el nombre d'hores de Sol que rep un determinat indret. La utilització de la insolació, i més en el cas d'un model potencial (sense nuvolositat), creiem que no és tan interessant ja que és una variable que no té en compte la intensitat de la insolació (energia incident) ni els efectes topogràfics a diferència del que succeeix amb la radiació solar.

Per extreure informació de la radiació solar no només cal saber quines són les unitats emprades sinó també quin tipus de radiació ha estat mesurada. Els principals matisos que cal distingir són:

- Radiació directa: energia rebuda durant un determinat període de temps que prové del Sol únicament i exclusiva. Això fa que les longituds d'ona curta predominin sobre les d'ona llarga. Pot ésser nul·la en distintes situacions com, per exemple, quan el punt és a l'ombra a causa d'un ocultament topogràfic, quan la coberta de núvols és total o durant la nit.
- Radiació global: a diferència del cas anterior, l'energia rebuda prové tant directament com indirectament del Sol. Només és nul·la a la nit, ja que, quan el cel està totalment tapat, la radiació directa no arriba a la superfície terrestre però, en canvi, hi arriba radiació difusa. La radiació global és equivalent a la suma de la radiació directa, la difusa i la reflectida.

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

- Radiació difusa: a diferència dels dos casos anteriors és l'energia rebuda que mai prové directament del Sol sinó de l'atmosfera (tot i que indirectament del Sol). Hi ha un predomini de l'energia amb longitud d'ona llarga. Només és nul·la durant el període nocturn.

- Radiació reflectida: per comparació amb la radiació difusa podem dir que l'origen de la radiació reflectida no és atmosfèric, sinó que prové dels objectes més o menys pròxims al punt avaluat, que reflecteixen la radiació rebuda. És la menys important a nivell quantitatiu.

- Radiació solar exoatmosfèrica: és la radiació que arriba a una superfície perfectament orientada al Sol i situada fora de l'atmosfera.

Unitats

Les unitats per mesurar la radiació solar que segueixen l'escala establerta per la World Radiometric Reference (INM, 1986) són els $10 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ o bé els $10 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$. En el primer cas, els micròmetres indiquen que ens estem referint a la radiació d'una regió espectral determinada i no de tot l'espectre. En el segon cas, en canvi, ens referim a tot l'espectre de radiació. En el present estudi hem treballat amb tot l'espectre de radiació, tant pel cas del model climàtic com pel de vegetació.

Un altre aspecte important és el de conèixer la inclinació de la superfície sobre la qual ha estat mesurada la radiació solar. Els valors poden variar molt en funció que la superfície sigui horitzontal, inclinada o perfectament orientada al Sol. Si bé els piranòmetres, a causa de la seva natura esfèrica, simulen una superfície horitzontal en quantificar la radiació solar (vegeu Baldasano *et al.*, 1994 per a més informació), en el nostre cas, la inclinació de la superfície ve determinada per informació orogràfica derivada del MDE emprat.

Un dels aspectes més atractius d'aquest model és que té en compte els factors físics de la superfície terrestre com són el grau d'exposició topogràfica i l'ocultament topogràfic a través d'un MDE. Es tracta doncs, d'un model de radiació solar topogràfic, ja que modelitza la radiació considerant l'orografia. Altres aproximacions fetes fins al moment

(Baldasano *et al.*, 1994; Turégano *et al.*, 1995) es basen en dades puntuals que són extrapolades al llarg del territori mitjançant tècniques d'interpolació numèriques que només tenen en compte la distància entre els punts. És a dir, dos punts propers tindran uns valors similars tot i que estiguin situats en vessants oposats d'una serralada.

A nivell temporal les dades han estat calculades sobre una mitjana diària en base mensual tal i com es veure més endavant.

Tot seguit explicarem de forma sintètica els punts més importants del model. Per a més informació consulteu Pons (1996b).

El càlcul de la radiació solar s'ha desenvolupat en realitat mitjançant dos mòduls del *software* MiraMon. El primer d'ells, el mòdul OMBRA calcula l'ombregat topogràfic. Hem calculat una imatge d'ombres per a cada 10 graus de desplaçament azimutal del Sol. El segon mòdul, INSOLDIA, calcula els angles d'incidència dels raigs solars a cada cel·la de la matriu. Aquest procés s'efectua per a tot un dia mitjançant desplaçaments azimutals d'1 hora. També es tenen en compte les imatges d'ombregat, generades prèviament, que són més similars en funció de l'azimut i l'altura solar. A partir d'informació astronòmica i de les coordenades geogràfiques del punt central del MDE es pot calcular matemàticament l'azimut solar per a qualsevol dia i hora de l'any. Això fa que puguem obtenir, com tot seguit veurem, la radiació potencial incident per qualsevol data de l'any que ens interressi. En aquest treball, però, els càlculs estan basats en l'elecció del dia més representatiu de cada mes per qüestions d'economia de càlculs i volum d'informació. Això és a causa que la constant solar mitjana mensual en base diària és més semblant a la d'un determinat dia del mes (consulteu Coronas *et al.*, 1982 i Mitjà i Batalla, 1982) que a la del dia 15. Durant els dies escollits s'integra tota l'energia que arriba des de mitja hora abans de l'alba fins la posta amb intervals d'una hora. Per a cada hora es calcula la nova posició solar, que conjuntament amb el vector ortogonal al pla format per les altituds de 8 cel·les veïnes, permet definir el vector solar. L'algorisme utilitzat comprova si una cel·la rep radiació directa o difusa. En el primer cas es calcula el cosinus de l'angle d'incidència (format per la normal a la superfície i el vector solar) que servirà per modificar l'energia que arriba segons l'expressió d'atenuació de Lambert-Beer. En el segon cas podem trobar-nos amb dues situacions:

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

- L'ombra és provocada per l'ocultament topogràfic. Aquest factor és molt important quan el Sol és baix o el relleu abrupte.
- L'ombra és provocada perquè el cosinus de l'angle d'incidència esdevé negatiu (quan l'angle és superior a 90°).

En tots dos casos, però, el valor de radiació aplicat a les cel·les de la matriu ràster és el de la radiació difusa adequada per aquell moment (vegeu més endavant el subapartat de *radiació difusa*).

Un cop modificada l'expressió de la llei de Lambert-Beer, en afegir el cosinus de l'angle d'incidència com a factor multiplicatiu, tenim una expressió que segueix una funció exponencial negativa (vegeu l'equació 2-1).

$$E = \mu_s \times S_0 \times e^{-\tau_0 / \mu_0}$$

Equació 2-1. Esmorteïment de la radiació solar que arriba a la superfície terrestre on μ_s és el cosinus de l'angle d'incidència (format entre el vector solar i la normal a la superfície del relleu), μ_0 és el cosinus de l'angle d'incidència respecte a una superfície horitzontal, τ_0 és la densitat òptica atmosfèrica, S_0 la constant solar exoatmosfèrica i E la radiació solar que arriba a la superfície terrestre.

Analitzem breument els components de l'equació d'esmoreïment:

La constant solar exoatmosfèrica (S_0)

Els càlculs estan realitzats prenent aquesta constant com $S_0 = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (valor recomanat per la WMO i la International Association of Meteorology and Atmospheric Physics al 1982 segons London i Frohlich, 1982). El valor utilitzat en aquest treball és el que s'obté per a tot l'espectre i, per tant, és essencialment comparable amb els valors de les estacions meteorològiques. Aquesta constant, malgrat tot, pot tenir lleus oscil·lacions, aproximadament d'una unitat, en funció de l'activitat solar de l'any, l'aparell de mesura, etc. La constant solar exoatmosfèrica està calculada per una

distància Terra-Sol d'1 UA (Unitat Astronòmica). A l'equació 2-2 es mostra la correcció realitzada per tenir en compte la variació d'aquesta distància. No s'han modelitzat les taques ni les pertorbacions solars a causa de la dificultat que això comportaria.

$$S'_0 = S_0 / d^2$$

Equació 2-2. Variació de la constant exoatmosfèrica en funció de la distància Terra-Sol on S'_0 és la constant solar exoatmosfèrica corregida, S_0 és la constant sense corregir i d és la distància Terra-Sol (expressada en UA).

El cosinus de l'angle d'incidència sobre una superfície horitzontal (μ_0)

En realitat aquest valor és el cosinus de l'angle format pel vector solar i la normal a la superfície horitzontal. Ens dona informació del gruix d'atmosfera que ha de travessar el feix d'energia solar fins arribar a la superfície terrestre (llei de Bouguer). Lògicament com més proper a zero sigui l'angle, en fer el seu cosinus, obtindrem valors propers a la unitat i, per tant, de mínima extinció ja que el raig travessarà el mínim gruix atmosfèric possible. En les àrees dels tròpics la radiació solar és força perpendicular a la curvatura terrestre i per tant tenim el cas de mínima pèrdua energètica. Aquesta pèrdua incrementarà a mesura que augmentem la latitud.

La densitat òptica (τ)

Hem escollit per a aquest treball un valor de $\tau = 0.288$ d'acord amb valors proposats per Rothermel per a una atmosfera clara forestal mitjana. Un seguit de valors d'esmoreïment vers distintes situacions atmosfèriques, tant per a tot l'espectre com per a distintes longituds d'ona, poden ser trobats a Rothermel *et al.* (1986) o Dozier (1989). Tractem aquest valor de forma constant tant a nivell espacial com temporal. Així doncs, només podem comparar valors de radiació potencial de llocs propers que tinguin uns valors similars de τ . La incorporació de la nuvolositat comportaria, a nivell atmosfèric, una diversitat espacial i temporal no contemplada en el model de radiació potencial i

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

ens acostaria als valors reals però, com ja s'ha dit, haurem d'esperar a poder disposar d'aquestes dades a nivell peninsular.

El cosinus de l'angle d'incidència sobre el relleu (μ_s)

Aquest paràmetre és el cosinus de l'angle format entre el vector solar i la normal a la superfície del terreny. El relleu provoca que l'energia solar que arriba a la superfície terrestre es reparteixi al llarg d'una major o menor àrea. En cas que el relleu estigui ben encarat amb el vector solar (cosinus de μ_s prop de la unitat) tindrem els casos de mínima pèrdua. En cas contrari (cosinus de μ_s molt inferior a la unitat) tindrem una disminució de l'energia incident.

Per acabar, sintetitzarem quins aspectes contempla el model i quins no, cosa que ajudarà al lector a veure quines són les seves possibilitats. El model no té en compte els següents factors:

- variació de la latitud: a causa de la relativament poca variació latitudinal del territori estudiat, els càlculs es realitzen sobre les coordenades geogràfiques del centre del MDE.
- radiació reflectida: resultaria molt complex modelitzar-la i probablement seria una font de soroll considerable. Tot i així, hi ha autors que han intentat fer aquest procés com, per exemple, Hetrick *et al.* (1993), Gates (1980) i Dubayah i Rich (1995).
- comportament diferencial dels feixos de llum a l'alba i la posta: tenen relativament poca importància perquè en aquelles hores hi ha molt poca quantitat de radiació.
- canvis atmosfèrics de densitat atmosfèrica deguts a l'altitud

A la figura 2-6 podem observar els aspectes fonamentals de la modelització de la radiació solar potencial.

Finalment, cal esmentar que la radiació difusa ha estat modelitzada tot introduint la seva variació respecte la radiació global com tot seguit veurem.

La radiació solar difusa

Inicialment, el model de radiació prenia com a valor de radiació difusa l'equivalent al 20% de la radiació global. En determinar aquesta relació entre la radiació difusa i la global, tenim que una cel·la del ràster que hauria de rebre $720 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ (600 de radiació directa + 120 de radiació difusa) en cas que tingués radiació solar directa, obtindrà un valor de $120 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ quan els raigs del Sol esdevinguin interceptats pel relleu. Aquest valor fix de radiació difusa, però, ha pogut ser millorat gràcies al tractament de les equacions proposades per Page (1986) com veurem més endavant. Aquestes equacions estan basades en la relació empírica entre la radiació difusa, la global i l'exoatmosfèrica (Liu i Jordan, 1960).

La radiació difusa pren més importància com més elevat és el valor de densitat òptica (Dubayah i Rich, 1995). Segons els mateixos autors, la densitat òptica depèn de tres factors: l'altitud, les propietats atmosfèriques i la volta celest visible. El primer factor fa referència al fet que, a menor altitud, la pressió atmosfèrica augmenta, com també el nombre de partícules atmosfèriques que provoquen la dispersió. Les propietats atmosfèriques són importants perquè com menys visibilitat tingui l'atmosfera (major quantitat de molècules de gas, partícules en suspensió i núvols) més quantitat de radiació serà interceptada i, per tant, incrementarà la radiació difusa en detriment de la directa. A més, no depèn únicament de la presència de núvols sinó del tipus de núvols (espessor òptic i longitud recorreguda pel raig dins aquests). També és important tenir en compte el gruix atmosfèric travessat pels raigs solars (vegeu l'equació 2-1, on μ_0 ens defineix aquest factor). Finalment, cal recordar que un indret rep una quantitat de radiació difusa equivalent a la porció de volta celest visible que tingui. Per tant, serà important calcular quina porció de volta celest és visible i quina esdevé oculta a causa del relleu. Per a més informació vegeu Gràcia (1983), Dozier *et al.* (1981), Dozier (1989) i Frew (1990).

Existeixen models que intenten aproximar-se al fenomen físic de la difusió a nivell atmosfèric (Gates, 1962; Kondryatev, 1969; etc.) però que no hem incorporat en aquest treball. En canvi, el tercer factor, la volta celest visible, no ha estat modelitzat perquè creiem que els resultats no milloraran excessivament amb la seva incorporació al model

i resulten molt cars en termes de temps de càlcul. Mitjançant un MDE i prenent l'expressió matemàtica proposada per Gràcia (1983) és factible d'obtenir uns resultats força bons ja que podem calcular l'horitzó de visibilitat per a cada cel·la del MDE. Podeu veure l'expressió de la superfície de la volta celest no oculta a l'equació 2-3.

$$H = 1 - \frac{\int_0^\beta 2\pi \times \cos x \, dx}{\int_0^{90} 2\pi \times \cos x \, dx}$$

Equació 2-3. Superfície de la volta celest no oculta on β és l'alçada mitjana angular de les muntanyes i, per tant, el numerador integra la volta celest no ocultada per les muntanyes mentre que el denominador integra per tota la volta celest independentment del relleu.

La relació empírica entre la radiació difusa, la global i l'exoatmosfèrica es basa en la demostració que el quocient radiació difusa / radiació global varia inversament a la relació radiació global / S_0 . És a dir, quan hi ha molts núvols el quocient radiació total / S_0 és petit ja que la major part de radiació que arriba a l'exterior de l'atmosfera és filtrada pels núvols i la radiació total que arriba a la superfície és molt petita. Per tant, quan el primer quocient és gran, ens indica que la radiació difusa en dies ennuvolats és pràcticament l'única que arriba a la superfície terrestre. Aquest tipus de relació ha estat contemplada per diversos autors, ja sigui proposant relacions lineals (Page, 1986), cúbiques (Liu i Jordan, 1960) o més complexes (Collares i Rabl, 1979). Podem comparar dues de les expressions més interessants: la de Liu i Jordan de tercer ordre (vegeu l'equació 2-4) i la de Page de primer ordre (vegeu l'equació 2-5).

$$\frac{R_{difusa}}{R_{global}} = J_1 - J_2 \frac{R_{global}}{S_0} + J_3 \left(\frac{R_{global}}{S_0} \right)^2 - J_4 \left(\frac{R_{global}}{S_0} \right)^3$$

Equació 2-4. Expressió de Liu-Jordan per relacionar la radiació difusa i la global on R_{difusa} és la radiació difusa mesurada i J_1 - J_4 són els paràmetres a ajustar mitjançant el plotejat del quocient radiació difusa / radiació global vers radiació global / radiació exoatmosfèrica.

$$\frac{R_{difusa}}{R_{global}} = a - b \frac{R_{global}}{S_0}$$

Equació 2-5. Expressió de Page per relacionar la radiació difusa i la global on s'ha determinat empíricament els valors de $a = 1$ i $b = 1.13$ després de realitzar diverses mesures.

En el cas de l'expressió de Page (vegeu l'equació 2-5) i segons Baldasano *et al.* (1994), s'obté un ajust força bo ($R=0.8$) en relacionar els dos quocients. Això fa que puguem prendre aquesta relació com a lineal, tal i com es pot veure a la figura 2-7. Per tant, tenint en compte que l'ajust és molt similar al de Liu i Jordan, ens hem decantat per utilitzar l'expressió de Page ja que la funció és molt més senzilla i, per tant, menys propensa a artefactes numèrics. Més informació sobre aquestes dues expressions la podeu trobar a Baldasano *et al.* (1994).

El que hem fet nosaltres ha estat desenvolupar l'expressió de Page com tot seguit exposarem. Primerament, hem eliminat la variable S_0 en incloure-la dins un valor constant. Això ho podem fer perquè el model de radiació potencial ja té incorporada la variació de la constant solar. D'aquesta manera podem definir, per a un moment determinat, una constant k on $k = b/S_0$. Si tenim en compte que $R_{global} = R_{difusa} + R_{directa}$, podem substituir aquesta expressió a l'equació de Page i quedar-nos amb tan sols dues variables, la radiació difusa i la directa (vegeu l'equació 2-6). A més, com ara veurem, podem posar una en funció de l'altra. El model també calcula la radiació directa en cada punt del MDE i, per tant, no resulta gens difícil obtenir la radiació difusa adequada en cada cas.

$$\frac{R_{difusa}}{R_{directa} + R_{difusa}} = a - k(R_{directa} + R_{difusa})$$

Equació 2-6. Substitució del terme radiació global pels de radiació difusa i radiació directa a l'expressió de Page.

Realitzant operacions matemàtiques bàsiques podem arribar a l'expressió d'una equació quadràtica de segon grau (equació 2-7).

$$\frac{k}{a}R_{difusa}^2 + \left(\frac{2kR_{directa}}{a} + \frac{1}{a} - 1\right)R_{difusa} + \left(\frac{kR_{directa}^2}{a} - R_{directa}\right) = 0$$

Equació 2-7. Nova formulació de la radiació solar difusa.

L'expressió de l'equació 2-7., transcrita adequadament al codi del programa que calcula la radiació potencial directa, permet obtenir fàcilment la radiació difusa.

Les dades de radiació solar difusa de les estacions meteorològiques són molt escasses fins al moment (existeixen només entre 4 i 6 estacions segons Baldasano *et al.*, 1994) i, per tant, és impensable d'aplicar valors reals per calibrar millor el nostre model.

A diferència de l'estudi fet a nivell de Catalunya, no disposem de dades de radiació solar de les estacions meteorològiques. La informació existent actualment és poc abundant, si més no, la que actualment ofereix el INM en format digital. Malauradament, sense aquesta informació no podem corregir les matrius ràster de radiació potencial obtingudes. El problema és doble ja que a nivell de radiació solar ens hem de resignar a treballar amb valors potencials que no tenen en compte l'efecte dels núvols i, a més, no podem disposar del factor de correcció que utilitzàvem a Catalunya per predir la precipitació. Aquest factor de correcció és una bona estimació de la nuvolositat perquè conté informació de la relació entre la radiació que arribaria en condicions de cel

destapat i la radiació que arriba en condicions reals. Seria molt interessant que en un futur proper poguéssim disposar d'aquesta informació, ja que si més no per a Catalunya, va resultar ser una de les variables més influents en els models de precipitació (apartat 3.3.3).

Tal i com apuntàvem en treballs previs (Ninyerola, 1997) hi ha distintes maneres d'enfocar el problema de la correcció de la radiació potencial. Inicialment existeixen dues possibilitats:

1) Treballar prescindint de les dades de les estacions meteorològiques. En aquest cas, totes les anomalies provocades pels núvols quedaran recollides en els residus finals del model climàtic conjuntament amb altres factors que ja hem anat comentant i d'altres que comentarem a l'apartat 2.2.9. El problema que té aquesta pauta de treball és que ens oblidem dels efectes locals i això podria comportar que en determinats mesos de l'any la radiació solar no entrés en el model de regressió múltiple perquè els valors fossin excessivament uniformes al llarg de tot el territori.

2) Modificar la radiació solar potencial, tenint en compte les dades de les estacions meteorològiques, abans de desenvolupar els models de temperatura i precipitació.

A diferència dels treballs previs hem escollit l'opció de treballar sense les dades de les estacions meteorològiques simplement perquè no hi ha hagut cap altra possibilitat.

La radiació solar potencial ha estat obtinguda a partir del mateix MDE utilitzat per a l'altitud (resolució de 200 metres) però aplicant-li un filtre de mitjana amb una matriu de convolució de 3x3 píxels. El fet de suavitzar el relleu ens ha semblat interessant per tal de pal·liar diferències sobtades d'altitud (produïdes de vegades per artefactes d'interpolació) i que provocarien ombrejats intensos sobre cel·les que en realitat no els tenen. Si bé l'interpolador ISOMDE minimitza molt la quantitat i qualitat d'aquests canvis de criteri en la interpolació, no els elimina del tot pel fet de ser un interpolador basat en el traçat de perfils sobre isolínies. Cal pensar que errors altimètrics en la interpolació del MDE que provoquin desnivells irrealment de 15 o 20 metres entre píxels veïns són totalment irrellevants a nivell altitudinal en la nostra escala de treball

(1:200000 i equidistància de corbes 100 m) però no a nivell de pendents i ocultament topogràfic.

També hem calculat la radiació solar a partir d'un MDE de 500 m de resolució. El motiu d'aquest càlcul està basat en els resultats observats en treballs precedents. Tot i que no de forma clara, els resultats eren lleugerament millors si es calculava la radiació solar a partir d'un relleu generalitzat que no contemplés aspectes orogràfics tan locals. L'explicació d'aquest fenomen podria ser la capacitat de temperació que té l'aire atmosfèric. És a dir, la temperatura de l'aire mesurada en un punt estaria més correlacionada amb la radiació mitjana a partir d'una àrea major. Pels resultats obtinguts en aquest treball no podem arribar a cap conclusió i, per tant, caldrà esperar a nous treballs per aprofundir més en aquesta idea.

Les làmines 2-1 a 2-4 mostren els mapes (per a tota la Península Ibèrica) i les figures 2-8 a 2-11 els respectius histogrames de freqüències de quatre situacions distintes:

- desembre: mes del solstici d'hivern i per tant amb la radiació mitjana mensual més baixa de tot l'any ($704 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).
- març: mes de l'equinocci de primavera i per tant amb una situació intermèdia pel que fa a la mitjana mensual ($1947 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).
- juny: mes dels solstici d'estiu i per tant amb la mitjana mensual més elevada de l'any ($3254 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).
- anual: valors mitjans per a tot l'any ($2027 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).

2.2.4. Elecció del model de regressió

Per escollir el millor model predictiu hem provat distints paquets de variables independents. S'ha realitzat un test independent amb el 40% de les estacions per a cada un dels models, ja que aquesta informació és la que realment ens informa de la capacitat predictiva del model. Aquest test s'explica amb més detall al següent apartat. Fonamentalment, hem testat tres models distints tal i com ens mostra l'equació 2-8: el

lineal (a), el logarítmic (b) i el quadràtic (c). La nomenclatura utilitzada és la següent: 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, RAD és la radiació solar potencial en paquets de $10 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$, DMED és la distància lineal al Mediterrani en km, DATL és la distància lineal a l'Atlàntic en km, DLGMED és la distància logarítmica en base 10 al Mediterrani, DLGATL és la distància logarítmica en base 10 a l'Atlàntic i DLGCAN és la distància logarítmica en base 10 al Cantàbric. Pel cas de les distàncies quadràtiques substituïm "LG" per "QU". Fem notar que no incloem la distància lineal al Cantàbric per estar altament correlacionada amb el cosinus de la latitud. Aquesta correlació és molt menor pels casos logarítmic i quadràtic, que sí que han estat inclosos en els models (b) i (c) respectivament.

$$Y = b_0 + b_1(ALT) + b_2(COSLAT) + b_3(DMED) + b_4(DATL) + b_5(RAD)$$

(a)

$$Y = b_0 + b_1(ALT) + b_2(COSLAT) + b_3(DMED) + b_4(DATL) + b_5(DLGMED) + b_6(DLGATL) + b_7(DLGCAN) + b_8(RAD)$$

(b)

$$Y = b_0 + b_1(ALT) + b_2(COSLAT) + b_3(DMED) + b_4(DATL) + b_5(DQUMED) + b_6(DQUATL) + b_7(DQUCAN) + b_8(RAD)$$

(c)

Equació 2-8. Expressions matemàtiques dels tres models de regressió assajats.

Aquest models han estat aplicats a cada una de les conques hidrogràfiques (model fraccionat). Una vegada validats hem aplicat el millor model per a cada element climàtic al conjunt d'estacions de tota l'Espanya peninsular (model global). Per decidir quin és el millor model hem calculat la mitjana de les estimacions obtingudes a partir de cada una de les conques ponderada per la respectiva superfície. Per acabar decidint si utilitzem el model fraccionat o el model global simplement ha estat necessari comparar

els resultats dels tests del model global vers els del model fraccionat ponderats per la superfície de les conques.

A més de assajar les distintes modelitzacions del factor de continentalitat (distància al mar) també hem testat un model amb *buffer* vers un model sense *buffer*. Amb *buffer* significa (com hem comentat a l'apartat 2.2.2.5) que agafem estacions del voltant del conca hidrogràfica (a part de les de la pròpia conca) i sense *buffer* significa que només considerem les estacions de l'interior de la conca. També hem testat la longitud de les sèries. Pel cas de la precipitació, hem comparat els resultats d'aplicar els models de regressió utilitzant estacions meteorològiques amb sèries de 20 i 30 anys i, pel cas de les temperatures, entre 15 i 20 anys. Tal i com hem comentat a l'apartat 2.2.2.3, utilitzarem 20 anys per la precipitació i 15 per la temperatura ja que els resultats dels tests no empitjoren en usar sèries més curtes i, en canvi, ens permet de tenir una cobertura espacial major.

2.2.5. Ajust i validació del model abans de la correcció

Hem separat, a l'atzar, un 40% de les estacions filtrades (estacions de test) i hem realitzat l'anàlisi de regressió múltiple per al 60% restant (estacions d'ajust). Després hem comparat els valors predits pel model i els mesurats en les estacions meteorològiques de test. Usarem la terminologia R^2_{nc} per fer referència al coeficient de determinació resultant d'aquesta comparació; el subíndex indica que la R^2 correspon a un model encara no corregit en el sentit que més endavant proposem a l'apartat 2.2.8. Aquesta comparació utilitzant el 40% d'estacions independents ens dona una mesura de la fiabilitat del model perquè informa de l'habilitat per predir els valors climàtics no inclosos en el procés d'ajust.

De tota manera, com ja s'ha comentat abans, els mapes finals han estat construïts amb totes les estacions (per utilitzar la màxima quantitat de variabilitat espacial). Per aquest motiu, la fiabilitat final del model és, com a mínim, igual (si no millor) que l'obtinguda amb les estacions de test. Finalment, s'han calculat els valors de les variables

dependents per a les estacions de test utilitzant aquests coeficients. Les estacions d'ajust ens serveixen per ajustar el model en obtenir els coeficients per a cada una de les variables independents significatives. Aquest model serà refinat tot utilitzant els seus propis residus (correctors) tal i com s'explica a 2.2.8.

2.2.6. Algunes consideracions sobre l'anàlisi de regressió

Un cop completada la base de dades s'ha procedit a realitzar un tractament estadístic. Hem utilitzat una anàlisi de regressió múltiple usant el mètode de *backward stepwise* per escollir les variables independents incloses en el model. En aquest procés s'ha utilitzat el paquet estadístic Statistica for Windows (StatSoft, 1995). En l'apartat de resultats mostrarem el coeficient de determinació múltiple (R^2) i els coeficients de regressió múltiple estandarditzats (BETA). Per a construir els mapes finals hem utilitzat els coeficients de regressió múltiple no estandarditzats (b_n). Tots els càlculs han estat fets amb una $\alpha=0.05$. Aquest mètode de regressió ha estat escollit per ser senzill i un dels més comunament acceptats per desenvolupar un model empíric amb sentit físic (Lanzante, 1996).

2.2.7. Cartografia derivada del model

Una vegada determinat quin és el model òptim a aplicar en cada situació podem procedir a generar la cartografia. En funció dels resultats obtinguts en el model fraccionat en conques hidrogràfiques i en el model global per a tota la Península Ibèrica hem aplicat l'equació pertinent (veure equacions 2-8 a, b i c). Fem notar que els mapes anuals han estat calculats a partir dels mapes mensuals i no a partir de les equacions de l'anàlisi de regressió múltiple.

Per aplicar aquestes equacions hem utilitzat les matrius ràster desenvolupades per a cada una de les variables independents (vegeu apartat 2.2.3.2). Per realitzar les operacions aritmètiques entre aquestes matrius (àlgebra de mapes), hem utilitzat el mòdul CALCIMG del *software* MiraMon. Aquest programa el que fa és multiplicar les

cel·les de cada matriu ràster pel corresponent coeficient de regressió per cada mes, sumar totes les matrius i finalment afegir el valor de la intercepció (b_0). Aquesta tècnica ens permet obtenir el que anomenem **mapes potencials**. Aquesta terminologia ha estat escollida perquè aquests mapes resulten d'un model de regressió. Podrien ser anomenats també mapes predits però preferim usar el terme potencial perquè han estat obtinguts abans d'aplicar els correctors tal i com explicarem més endavant (vegeu apartat 2.2.8). Mitjançant aquests correctors els mapes potencials esdevindran **mapes reals**. S'ha utilitzat el terme real perquè en els llocs on hi ha una estació meteorològica el mapa real ens mostrarà el mateix valor observat a l'estació. Veiem, doncs, que es tracta d'un interpolador exacte.

La combinació de models de regressió i àlgebra de mapes ha estat aplicada en altres treballs. Normalment, però, aquests models són interpoladors inexactes en sentit espacial, a diferència del que passa en el nostre cas un cop aplicades les matrius ràster dels correctors.

2.2.8. Elaboració dels correctors per refinar el model

Cada cel·la dels mapes potencials té els valors de temperatura i precipitació predits pels resultats del model de regressió. Ara bé, si comparem els valors predits (obtinguts pel model) amb els valors observats (obtinguts per les estacions) les diferències ens donen una bona estimació de l'error residual en l'anàlisi de regressió per a cada localització geogràfica (cel·la) en què tinguem informació de camp (estacions meteorològiques). Així doncs, d'aquesta manera s'ha obtingut, per a cada estació meteorològica, una mesura de l'error que anomenarem corrector (vegeu equació 2-9).

$$\text{Corrector} = \text{Temperatura}_{\text{real}} - \text{Temperatura}_{\text{potencial}}$$

Equació 2-9. Expressió del corrector.

Mitjançant aquests correctors hem refinat els resultats del model potencial, és a dir, s'han corregit els mapes potencials en mapes reals. Per obtenir uns mapes amb els correctors caldrà interpolat-los ja que només tenim informació en aquells llocs on hi ha

una estació meteorològica. Aquesta interpolació ha de ser feta mitjançant un mètode que no utilitzi informació geogràfica. Hem escollit treballar amb l'invers de la distància al quadrat per qüestions de temps de càlcul, donat el gran volum de dades que hem tractat. A l'apartat 2.3.3 es mostren els resultats de la utilització del *kriging* per alguns mesos de l'any.

Aquests mapes de correctors no són uniformes ja que mostren una màxima variabilitat en les zones menys predibles i una mínima variabilitat en els llocs més fàcilment predibles. En aquest sentit, podem veure els mapes de correctors com mapes d'anomalies, de gran interès per estudiar millor les singularitats del clima a escales més locals. La paraula "anomalia" en climatologia és utilitzada amb un sentit similar al nostre. Es parla d'anomalies climàtiques per fer referència a la diferència entre el valor d'un element climàtic i el valor mitjà d'aquesta variable sobre el paral·lel del lloc o bé, a nivell temporal, la diferència entre el valor en un temps determinat i el valor d'aquest element referit a un període normalitzat (Peinado, 1985). El sentit que li donem nosaltres en aquest treball implica diferència, però no entre dues ubicacions o dos moments, sinó entre el que el model prediu i el que no prediu (variació no explicada).

Simplement sumant els mapes de correctors als mapes potencials obtindrem els mapes reals. Òbviament, en les cel·les que coincideixin amb estacions meteorològiques, els valors observats seran iguals als mesurats, cosa que també és interessant per a l'ús d'aquests mapes. En la resta de cel·les obtindrem valors predits modificats per aquests correctors.

$$T_{real} = T_{potencial} + Corrector$$

Equació 2-9. Aplicació del corrector.

A l'equació 2-9 podem veure que el Corrector és:

- a les estacions meteorològiques: la diferència entre la temperatura observada i la predita.
- als altres punts del mapa: la interpolació entre els correctors de les estacions.

Anomenarem R^2_c per designar el coeficient de determinació del model corregit que utilitza els coeficients de les estacions d'ajust i els mapes d'anomalies (interpolació dels residus de les estacions d'ajust). R^2_c és obtingut en llegir en els mapes corregits els valors del 40% restant de les estacions i calculant el coeficient de determinació del nou ajust resultant de comparar les dades de les estacions i les dades dels mapes corregits

Aquest procés de correcció és totalment simètric entre els casos de les temperatures i la precipitació.

2.2.9. Significació dels mapes d'anomalies

Els mapes d'anomalies expressen la variabilitat climàtica que no és explicada pel nostre model. Aquesta variabilitat residual pot provenir, d'una banda, de les dades inicials: de la informació geogràfica digital (error de posició i error de mesura) i de la informació climàtica de les estacions meteorològiques (errors de posicionament, errors de calibració en els instruments de mesura, en la lectura de les dades per part dels aparells i en la transcripció de les dades, tal i com assenyala Martín Vide, 1987). La variabilitat residual pot provenir també tant de la nostra manipulació de les dades com dels factors inherents del model (omissió de paràmetres rellevants, comportament no lineal d'algunes variables, mètode d'interpolació dels correctors). Si ens centrem en aquest últim punt, veiem que en fer una anàlisi de regressió múltiple entre factors climàtics i elements climàtics obtenim uns ajustos on els residus contenen la variació causada, fonamentalment per factors meteorològics o elements no recollits pel model que actuen com a factors climàtics (*i.e.* vent). En els nostres models usem els factors geogràfics i astronòmics (radiació solar) perquè és poden modelitzar de forma raonable mentre que els factors meteorològics quedaran inclosos en la part residual del model.

2.2.10. Limitacions del model a l'extrapolació

El conjunt d'estacions meteorològiques utilitzat per realitzar l'anàlisi de regressió múltiple es troba ubicat entre un determinat rang de valors per a cada variable

independent. Quan cartografiem el model, i per tant, apliquem els coeficients de regressió pertinents a tots els punts del territori pot succeir que ho fem sobre punts que presentin valors fora d'aquest rang (estem extrapolant). El model de regressió no dóna informació del comportament de la funció d'ajust en aquests punts perquè simplement no hi han participat. De totes les variables utilitzades, però, l'altitud és l'única que pot presentar problemes d'aquest tipus. Les estacions meteorològiques utilitzades tenen un rang altitudinal de 0 a 2263 m i, per tant, quan apliquem el model a zones que estan per sobre d'aquesta altitud aquests punts poden presentar estimacions incorrectes de les variables dependents a causa del desconeixement de la relació numèrica entre les altituds superiors a 2263 m i les variables dependents. Un exemple clarificador es dóna precisament en el cas de l'altitud vers la precipitació. Per aquests punts del territori la relació establerta entre aquesta variable i la precipitació podria variar respecte la relació obtinguda per altres altituds. De fet en aquest cas semblaria que aquesta relació fins i tot s'inverteix en els alts cims on la precipitació, en comptes d'augmentar, disminueix (Solé Sabarís *et al.*, 1952).

Per evitar aquests efectes hi ha dues possibilitats. La primera, és més dràstica en el sentit que un cop cartografiat el model eliminem aquests punts del territori en aplicar una màscara booleana. D'altra banda, aplicar la màscara al final del procés ens permet, si volem, conservar la informació numèrica completa de tots els punts del territori. La segona, *a priori* menys conservadora, consisteix a acotar les matrius ràster de les variables independents dins els rangs en que es situen les estacions i procedir a cartografiar el model. En realitat el que estem fent és tamponar el model. Mitjançant aquest procediment evitem que en mapar el model s'apliquin els coeficients de l'anàlisi de regressió múltiple a cel·les que continguin valors que no inclosos en l'anàlisi de regressió.

Com que els valors fora de rang no ens desvirtuen els test estadístics hem optat per mapar el model sense tamponar-lo. Posteriorment hem aplicat la màscara per a calcular els estadístics descriptius. D'aquesta manera tenim les imatges amb tota la informació però amb la possibilitat limitar el model si volem ser més restrictius.

2.2.11. Comparació de distints mètodes d'interpolació

Al llarg del treball hi ha implícits resultats que ens permeten fer interessants comparacions. Així doncs, podem comparar el comportament d'un model fraccionat respecte d'un model global, com s'ajusten els distints models de regressió múltiple en funció de les variables dependents i àmbits geogràfics que utilitzem, com afecta la longitud de les sèries a la qualitat dels models, etc. En aquest apartat, però, ens volem centrar en la comparació de distints mètodes d'interpolació. Podem distingir tres casos.

2.2.11.1. Interpolació dels correctors

Una vegada obtinguts els correctors no tenim altra possibilitat que interpol·los amb mètodes que no contemplin la informació geogràfica. El que sí podem fer, però, és comparar el mètode d'invers de la distància al quadrat que hem utilitzat amb la tècnica del *kriging*. A causa del gran consum de temps que comporta aquesta tècnica ho hem realitzat només per als mesos solsticials i equinoccials. Mitjançant els tests estadístics (vegeu apartat 2.3.3) podrem saber quin interpolador matemàtic ajusta millor els correctors.

La situació ideal seria, per tant, construir els mapes correctors dels mapes reals finals (calculats amb el 100% de les estacions) utilitzant l'interpolador que mostri els millors resultats per a cada mes i variable.

2.2.11.2. Comparació del model de regressió amb altres interpoladors

Hem aplicat altres mètodes d'interpolació (invers de la distància al quadrat i *kriging*) per interpol·lar els valors observats de les estacions meteorològiques. Aquests dos mètodes són els mateixos que hem utilitzat en la interpolació dels correctors però aquesta vegada aplicats directament als valors observats de les estacions. Aplicarem aquestes dues tècniques sobre el 60% de les estacions i, novament, mitjançant un test

independent amb el 40% d'estacions, podrem comparar els resultats entre aquests dos mètodes i el nostre.

Lennon i Turner (1995) també efectuen una comparació de distintes metodologies d'interpolació espacial. En el seu cas utilitzen la interpolació simple, les *splines*, la regressió múltiple i un mètode híbrid entre les *splines* i la regressió múltiple. Nosaltres hem deixat de banda les *splines* perquè no teníem *software* adequat a l'abast, i perquè el banc de proves plantejat ja és, per si mateix, força complex.

2.2.11.3. Comparació del model de regressió amb el mètode clàssic de traçat manual d'isolínies

Finalment hem comparat els nostres resultats finals amb els mapes de l'*Atlas Climático de España* (Font Tullot, 1983b). Aquesta és una comparació molt interessant de fer, a causa de la metodologia tant distinta emprada en els dos casos. El nostre, és un model desenvolupat sense tant de coneixement de la zona d'estudi, però objectiu i, el de Font Tullot, un procediment més tradicional on el coneixement del país és molt important però amb components subjectives. Malauradament aquesta comparació només podrà ser qualitativa a causa de que no disposem d'aquest Atlas en format digital. A l'espera de poder digitalitzar aquesta informació i aplicar la metodologia emprada, pel cas de Catalunya (vegeu apartat 3.2.5.3.) hem realitzat una comparació visual dels resultats. S'han reclassificat els nostres mapes seguint els intervals de les llegendes de l'Atlas de Font Tullot perquè la comparació fos més fàcil de dur a terme.

2.3. Resultats i discussió

2.3.1. Elecció i validació del millor model predictiu

En aquest apartat exposem els resultats obtinguts en validar, amb un test independent a partir del 40% de les estacions meteorològiques, els ajustos obtinguts a partir del restant 60% d'estacions.

Hem realitzat tres validacions abans d'escollir el millor model: utilització de *buffer*, longitud de les sèries i modelització de la continentalitat (distància al mar lineal, logarítmica i quadràtica). Els models s'han validat per conques (model fraccionat) i una vegada obtingut el model més bo s'ha aplicat al conjunt de les estacions (model global) per tal de comparar-lo amb els resultats del model fraccionat. Recordem que per ajustar els models hem utilitzat les estacions de l'Espanya peninsular en el cas de la temperatura mitjana de les mínimes i la temperatura mitjana de les màximes. En el cas de la temperatura de les mitjanes i les precipitacions hem utilitzat addicionalment dades de Portugal.

Les comparacions entre *buffer* i no *buffer* i longitud de les sèries han estat realitzades a partir del model lineal. També fem notar que les validacions han estat realitzades pels mesos equinoccials i solsticials i per les dades anuals. Els coeficients de determinació que mostrem en tots els casos s'obtenen prèviament a l'aplicació de correctors (R^2_{nc}) i són la mitjana dels mesos esmentats (a la taula 2-5 hi ha el resultat desglossat per conques i mesos). En el cas de la comparació entre el model fraccionat i el model global els coeficients de determinació que es donen pel cas del model fraccionat són la mitjana ponderada (veure apartat 2.2.4) de tots els mesos i conques.

En tots els casos, la tendència observada en les validacions dels models sense corregir podria canviar en aplicar els correctors i per tant caldrà esperar a veure els resultats de les validacions dels models corregits (R^2_c).

Per alleugerir l'exposició abreviarem els noms de les conques hidrogràfiques tal com segueix: PO (conca del Pirineu oriental), NO (conca del Nord), DU (conca del Duero), TA (conca del Tajo), GU (conca del Guadiana), GQ (conca del Guadalquivir), ME (Conca del Sud o Meridional), SE (conca del Segura), LE (conca de Llevant), EB (Conca de l'Ebre) i EP (model global i, per tant, tota l'Espanya peninsular).

2.3.1.1. Temperatura mitjana de les mínimes

Buffer vs no-buffer

A la taula 2-5 veiem que els coeficients de determinació són millors amb *buffer* per GQ (0.65 vs 0.52) i NO (0.80 vs 0.62). En el cas oposat tenim EB (0.73 vs 0.77) però en la resta de conques hi ha R_{nc}^2 similars entre les dues opcions o lleugerament millors en el cas d'utilitzar estacions meteorològiques del voltant de les conques (*buffer*).

Longitud de les sèries (15 anys vs 25 anys)

A la taula 2-5 observem que pràcticament totes les conques presenten resultats molt similars quan utilitzem sèries de 15 o 25 anys. Els únics resultats que milloren utilitzant 25 anys són LE (0.67 vs 0.76) clarament i, EB (0.73 vs 0.77) lleugerament. Malgrat aquests dos resultats no sembla interessant reduir la quantitat d'estacions per guanyar longitud de les sèries ja que en la majoria de casos els resultats indiquen que entre 15 i 25 anys no hi ha massa diferències. Com dèiem a l'apartat 2.2.2.3, si augmentem la longitud de les sèries reduïm molt la quantitat d'estacions i, per tant, la cobertura territorial. Aquests resultats demostren que podem treballar amb sèries més curtes sense que els resultats siguin perjudicats per aquest fet.

Modelització de la continentalitat

La majoria de conques donen lleugerament millors resultats pel cas logarítmic i només DU sembla modelitzar-se millor amb un ajust lineal o quadràtic (taula 2-5 i 2-6). Ara bé, en tots els casos els resultats són molt similars i, per tant, pràcticament qualsevol dels models seria bo. El pitjor R_{nc}^2 el trobem a GU (0.58) i el millor a EB i EP (0.80).

Model fraccionat vs model global

A la taula 2-6 es mostren els coeficients de determinació amitjanats de cada conca i ponderats per la seva superfície. Aquesta mitjana ponderada per totes les conques és comparada amb el R^2_{nc} del model global. En general, el model global és superior al model fraccionat en conques hidrogràfiques. En el cas logarítmic, el model global ens dona un R^2_{nc} de 0.80 i el fraccionat de 0.70.

2.3.1.2. Temperatura de les mitjanes

Buffer vs no-buffer

A la taula 2-7 observem que els coeficients de determinació són clarament millors amb *buffer* sobretot per ME (0.79 vs 0.70) i NO (0.86 vs 0.77). En el cas oposat tenim EB (0.84 vs 0.87) lleugerament i GU (0.58 vs 0.66) clarament. En la resta de conques hi ha R^2_{nc} similars entre les dues opcions o lleugerament millors en el cas d'utilitzar estacions del voltant de les conques (*buffer*).

Longitud de les sèries (15 anys vs 25 anys)

A la taula 2-7 observem que pràcticament totes les conques tenen resultats molt similars entre la utilització de sèries de 15 o 25 anys. Els únics resultats millors en utilitzar sèries de 25 anys són GU (0.58 vs 0.65) clarament i EB lleugerament (0.84 vs 0.86). Aquests resultats demostren que no és imprescindible treballar amb una longitud de 25 sèries i, per tant, podem treballar amb 15 anys.

Modelització de la continentalitat

La majoria de conques donen, lleugerament, millors resultats pel cas logarítmic i només GU i SE semblen modelitzar-se millor amb un ajust quadràtic. Ara bé, en tots els casos els resultats són molt similars amb R^2_{nc} similars o només lleugerament millors pel cas logarítmic. El pitjor R^2_{nc} el trobem en GU (0.66) i el millor en EB i EP (0.89). A la taula 2-8 es mostren els coeficients de determinació amitjanats de cada conca i ponderats per la seva superfície. Aquesta mitjana ponderada per totes les conques és comparada amb

el R^2_{nc} del model global. En tots els casos el model global és superior a la mitjana de totes les conques tot i que hi ha casos concrets en que per un determinat mes i conca els resultats són millors que pel mateix mes del model global.

Model fraccionat vs model global

A l'igual que en el cas de les temperatures mitjanes de les mínimes el model global (0.89) és superior en general al model fraccionat (0.83). Vegeu els resultats a la taula 2-8.

2.3.1.3. Temperatura mitjana de les màximes

Buffer vs no-buffer

La taula 2-9 mostra que els coeficients de determinació són millors amb *buffer* per ME i NO (0.60 vs 0.54). En el cas oposat tenim EB (0.72 vs 0.79) i GQ (0.71 vs 0.76) però en la resta de conques hi ha R^2_{nc} similars entre les dues opcions o lleugerament millors en el cas d'utilitzar estacions del voltant de les conques (*buffer*).

Longitud de les sèries (15 anys vs 25 anys)

A la taula 2-9 veiem que en aquest cas pràcticament no hi ha cap diferència entre utilitzar sèries de 15 o 25 anys ja que 8 de les conques tenen pràcticament el mateix resultat. Les úniques diferències les trobem en SE (0.70 vs 0.66) i EB (0.72 vs 0.79). No sembla, per tant, necessari treballar amb sèries més bones a canvi de perdre cobertura espacial.

Modelització de la continentalitat

Aquest cas és el més clar de totes les temperatures ja que excepte en la conca TA, (resultats similars en tots els 3 casos) la resta de conques donen resultats lleugerament o clarament millor en el cas logarítmic. Com a R^2_{nc} extrems tenim altra vegada els següents casos: GU (0.53) i EB i EP (0.83 i 0.84). A la taula 2-9 es mostren aquests resultats i a la taula 2-10 podem observar els coeficients de determinació amitjanats de

cada conca i ponderats per la seva superfície. Aquesta mitjana ponderada per totes les conques és comparada amb el R^2 del model global. En tots el casos el model global és superior al model fraccionat.

Model fraccionat vs model global

A la taula 2-10 es mostren els coeficients de determinació mitjanats de cada conca i ponderats per la seva superfície. Aquesta mitjana ponderada per totes les conques és comparada amb el R^2_{nc} del model global. D'acord amb aquest càlcul, el model global (0.84) és superior al model fraccionat (0.72). Igual que en les altres temperatures, aquesta tendència podria canviar en aplicar els correctors i, per tant, caldrà esperar a veure els resultats de les validacions dels models corregits (R^2_c).

2.3.1.4. Precipitació

Buffer vs no-buffer

La taula 2-11 ens mostra que, pel cas de la precipitació, el patró no és tan clar com en les temperatures possiblement a causa que els efectes locals són més importants. Tot i així és prou evident que en general la no utilització de *buffer* és més adequada. Existeixen 6 conques que donen millors R^2_{nc} sense utilitzar *buffer*, 1 conca que té resultats similars (GU) i 3 conques que donen millors ajustos en el cas d'usar *buffer*. Aquestes últimes són PO (0.31 vs 0.41), SE (0.45 vs 0.54) i GQ (0.25 vs 0.30). En el cas de les conques mediterrànies semblaria que els falta gradient cap a les terres de l'interior ja que, per exemple, si comparem els resultats de PO amb el model de Catalunya (apartat 3.3.3) veiem que els resultats són més baixos en el primer àmbit.

Longitud de les sèries (20 anys vs 30 anys)

En aquest cas els resultats fins i tot semblarien millors quan utilitzem sèries de 20 anys en comptes de 30. La taula 2-11 ens mostra que tres conques tenen R^2_{nc} majors en usar longituds més llargues però només ME de forma clara (0.60 vs 0.74). A l'igual que per a les temperatures, si augmentem la longitud de les sèries reduïm molt la quantitat

d'estacions i, per tant, la cobertura territorial. Els resultats, però, demostren que podem treballar amb sèries més curtes.

Modelització de la continentalitat

El model quadràtic és clarament el millor (taula 2-11). En alguns casos, el model logarítmic i el lineal podrien ser interessants tot i que els resultats no mostren diferències substancials. Tenim GU i LE amb R^2_{nc} lleugerament millors en el cas logarítmic i TA i SE lleugerament millors pel cas lineal. La conca DU és indiferent al model de distància al mar aplicat.

Model fraccionat vs model global

La taula 2-12 mostra els resultats amitjanats per conques. En general observem que en el cas de la precipitació no existeix tanta diferència entre el model fraccionat i el global. En el primer cas tenim $R^2_{nc}=0.52$ i en el segon $R^2_{nc}=0.54$. A l'igual que per les temperatures caldrà veure que passarà un cop aplicats els correctors.

2.3.2. Els mapes de correctors

A diferència del model de Catalunya, els correctors han estat interpolats amb l'invers de la distància al quadrat ja que no ha estat possible, a causa del gran nombre d'estacions meteorològiques, desenvolupar l'estudi del *kriging* per al model global.

Tal i com esperàvem, els correctors de temperatura són menys variables que els de precipitació a causa de la major quantitat d'efectes locals en aquest últim cas. Per a realitzar les comparacions hem utilitzat un coeficient de dispersió resistent al fet que les mitjanes dels valors estudiats siguin properes a zero (com és el cas dels correctors) i resistent al canvi d'escala i unitats. Aquest coeficient és el quocient entre la mitjana dels valors absoluts dels correctors i la mitjana dels respectius elements climàtics:

- Pel cas de la precipitació anual tenim que la mitjana dels valors absoluts dels correctors és 138 mm mentre que la precipitació mitjana és de 718 mm i per tant el coeficient de dispersió és de 0.19.

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

- Pel cas de la temperatura mitjana de les mínimes anual tenim que la mitjana dels valors absoluts dels correctors és 0.5°C mentre que la mitjana anual és de 7.3°C i per tant el coeficient de dispersió és de 0.07.
- Pel cas de la temperatura de les mitjanes anual tenim que la mitjana dels valors absoluts dels correctors és 0.3°C mentre que la mitjana anual és de 13.5°C i per tant el coeficient de dispersió és de 0.02.
- Pel cas de la temperatura mitjana de les màximes anual tenim que la mitjana dels valors absoluts dels correctors és 0.3°C mentre que la mitjana anual és de 19.2°C i per tant el coeficient de dispersió és de 0.02.

Pel cas de les precipitacions, a nivell visual, les zones de màxima variabilitat es produeixen al Cap de la Nau (nord d'Alacant), a la franja compresa entre el País Basc i els Pirineus occidentals i a la costa oest de Galícia. En canvi les conques del Segura, la conca dels Pirineus Orientals i la de Llevant (tret del Cap de la Nau) presenten valors molt poc variables. Les conques de la meitat sud-oest de la Península Ibèrica (Guadiana, Guadalquivir i Meridional) presenten situacions intermèdies. El cas de la conca del Tajo és força curiós ja que presenta la meitat oest molt variable i la meitat est molt poc variable. Les conques del Duero i l'Ebre tenen valors continus però diferents de zero. Finalment, la conca del Nord exceptuant els extrems (Galícia i País Basc) és força poc variable excepte en indrets molt puntuals.

En el cas de les temperatures la variabilitat és menor. L'oest de la conca del Tajo presenta força variabilitat en el cas de les temperatures mínimes i mitjanes però en el cas de les màximes no existeix cap indret que destaquï especialment.

Les làmines 2-5 a 2-8 mostren els mapes de correctors anuals del model global per als 4 elements climàtics.

A la taula 2-13 hi ha els estadístics dels correctors tant del model fraccionat com del model global. Pel cas del model global tenim una desviació estàndard en les temperatures que oscil·la entre $0.42\text{-}0.89^{\circ}\text{C}$ mentre que en la precipitació tenim uns

valors al voltant de 7-8 mm a l'estiu i un màxim de 28.5 mm al desembre. Aquests valors són raonablement baixos i, per tant, donen confiança en la metodologia aplicada.

2.3.3. El model real

En aquest apartat presentem els resultats de les validacions dels models reals -corregits a partir dels residus de l'anàlisi de regressió múltiple- (R^2_c) i els comparem amb els dels models potencials (R^2_{nc}). Mostrarem els resultats tant del model global com del fraccionat ja que podria ser que les tendències observades en els models potencials canviessin com ja hem comentat. Donarem els valors del model fraccionat desglossats per conques. Aquests resultats es poden consultar la taula 2-16. D'altra banda, a la taula 2-14 es mostren les equacions de l'anàlisi de regressió múltiple i els ajustos obtinguts per elaborar els models finals (utilitzant el 100% de les estacions meteorològiques).

També mostrem els estadístics descriptius dels models globals calculats a partir de la matriu ràster i no a partir de les estacions meteorològiques. Els resultats a nivell de cada conca són mostrats a la taula 2-15. Aquests estadístics s'han calculat a partir de les imatges tamponades per evitar els efectes d'extrapolació (vegeu apartat 2.2.10). De tota manera el fet de tamponar el model pràcticament només repercuteix en els valors extrems ja que en els valors mitjans no s'observen diferències a causa de l'elevat nombre de cel·les dels mapes.

Si fem la mitjana dels R^2_c pels diferents mesos i els quatre elements climàtics veiem que en el cas del model fraccionat les correccions aporten lleugeres millores ($R^2_c=0.71$ vs $R^2_{nc}=0.69$). En canvi, pel cas del model global tenim que les millores són més evidents ($R^2_c=0.84$ vs $R^2_{nc}=0.77$). Com veurem, però, en ambdós casos existeix una clara diferència entre el comportament dels models de temperatura i els precipitació.

2.3.3.1. Temperatura mitjana de les mínimes

Validació dels models corregits

Aquesta variable no es veu influenciada per l'aplicació dels correctors ja que els R^2 pel cas de les conques són de 0.71 i 0.70 pel model potencial i el model real respectivament. És a dir el model no corregit ja prediu el màxim de bé possible i no és millorat pels correctors. El model global també presenta uns resultats similars al fraccionat per conques tot i que amb una lleugera millora quan apliquem els correctors (0.82 vs 0.80).

Estadístics descriptius de la cartografia final del model global

La mitjana anual de la temperatura mitjana de les mínimes és de 7.3 °C. Els mesos extrems són els de gener (1.0°C) i desembre (2.0°C) i els de juliol (14.8°C) i agost (14.7°C). Recordem que aquests valors són les mitjanes de les cel·les de les matrius ràster per a l'Espanya peninsular. La làmina 2-9 mostra el mapa del mes més fred (gener) i la làmina 2-10 mostra el mapa de la mitjana anual. Els respectius histogrames de freqüències es mostren a les figures 2-16 i 2-17.

2.3.3.2. Temperatura mitjana

Validació dels models corregits

En el cas de les temperatures mitjanes hi ha algunes conques que tenen R^2_c lleugerament inferiors als R^2_{nc} (OR, NO, TA, DU i GU). La resta de conques presenten uns R^2 similars en ambdós casos. Si fem la mitjana dels coeficients de determinació veiem que el model fraccionat presenta uns valors de $R^2_{nc}=0.83$ i $R^2_c=0.79$ mentre que en el model global tenim que $R^2_{nc}=R^2_c=0.89$.

Estadístics descriptius de la cartografia final del model global

Els mesos més freds són gener (6.0°C) i desembre (6.8°C) mentre que juliol (22.5°C) i agost (22.3°C). La mitjana anual de les temperatures mitjanes és de 13.5°C. En aquest cas, els valors mostrats són les mitjanes de les cel·les de les matrius ràster per a tota la

Península Ibèrica. Les làmines 2-11 a 2-14 mostren els mapes dels mesos solsticials i equinoccials i la làmina 2-15 mostra la mitjana anual. Els respectius histogrames de freqüències es mostren a les figures 2-18 a 2-22.

2.3.3.3. Temperatura mitjana de les màximes

Validació dels models corregits

En aquest cas si fem les mitjanes del R^2 pel model fraccionat i el model global veiem que no existeixen diferències entre els model potencials i els reals. En el primer cas tenim valors de $R_{nc}^2=0.72$ i $R_c^2=0.71$ i en el segon cas tenim valors de 0.84 en les dues situacions.

Estadístics descriptius de la cartografia final del model global

El gener (10.2°C) i el desembre (10.8°C) segueixen sent els mesos més freds i el juliol (30.3°C) i l'agost (29.9°C) els més càlids. La mitjana anual de la temperatura mitjana de les màximes és de 19.2°C . Els valors mostrats són les mitjanes de les cel·les de les matrius ràster per a l'Espanya peninsular. La làmina 2-16 mostra el mapa del mes més càlid (juliol) i la làmina 2-17 la mitjana anual. Els respectius histogrames de freqüències es mostren a les figures 2-23 i 2-24.

2.3.3.4. Precipitació

Validació dels models corregits

A diferència del que succeeix amb la temperatura, els correctors si que aporten sensibles millores al model sobretot en el cas del model global. Pel cas del model fraccionat per conques tenim una mitjana dels coeficients de determinació de 0.52 abans de corregir els models i de 0.65 un cop corregits. El model global presenta uns valors de 0.54 i 0.83 respectivament.

Estadístics descriptius de la cartografia final del model global

El mes de mínima precipitació és el de juliol (18.9 mm) mentre que el de desembre (93.0 mm) és el de màxima precipitació. La mitjana anual de la precipitació és de 718 mm. Aquests valors són les mitjanes de les cel·les de les matrius ràster per a tota la Península Ibèrica. Les làmines 2-18 i 2-19 mostren els mapes dels mesos extrems (juliol i desembre) i la làmina 2-20 mostra el mapa anual. Els respectius histogrames de freqüències es mostren a les figures 2-25 i 2-27.

2.3.4. Significació estadística del model escollit

Com hem vist a l'apartat anterior el model finalment utilitzat ha estat el global. En el cas de les temperatures hem utilitzat l'aproximació logarítmica de les distàncies al mar i, en el cas de les precipitacions, l'aproximació quadràtica. En aquest apartat exposarem els coeficients de determinació dels models escollits i la significació estadística de les variables independents al llarg de l'any obtinguts a partir de les anàlisis de regressió múltiple amb el 100% de les estacions. Una vegada escollits els millors models, mitjançant les proves de validació mostrades en els apartats precedents, hem tornat a aplicar l'anàlisi de regressió múltiple ajustant els models a partir del 100% de les estacions en lloc del 60%.

2.3.4.1. Temperatura mitjana de les mínimes

El mes de juliol és el que presenta l'ajust més baix ($R^2=0.76$) i el d'abril ($R^2=0.82$) el més alt. En general es pot veure que no hi ha excessives diferències a llarg dels mesos ni al llarg de les estacions. Només l'estiu, si l'entendem des del punt de vista còsmic, presenta una mitjana dels R^2 lleugerament inferior (0.77) respecte les altres estacions cronològiques (0.79-0.80).

La figura 2-12 mostra la significació estadística de les variables independents al llarg de l'any.

L'altitud és significativa durant tot l'any i sempre amb valor negatiu. Tal i com és d'esperar, a més altitud tindrem una temperatura inferior. El cosinus de la latitud també és significatiu durant tot l'any amb signe positiu. Això significa que a major latitud menor temperatura ja que per ser el cosinus de la latitud, aquesta variable és inversa a la latitud.

Les distàncies lineals al mar Mediterrani i a l'oceà Atlàntic també són significatives durant tot l'any de forma positiva. Això ens indica que com més lluny de la costa més calor fa però no trobem explicació perquè aquest patró sigui constant tot l'any. En canvi, les distàncies logarítmiques són significatives amb signe negatiu excepte durant els mesos estivals. En aquest cas sí que es mostra tímidament el patró estiu – hivern que esperem trobar en la continentalitat. A l'hivern, l'efecte temperador del mar fa que les temperatures siguin més altes a prop de la costa però a l'estiu les temperatures esdevenen més elevades a l'interior precisament per la manca de temperació marítima.

La radiació solar no és significativa durant tot l'any per qüestions, ja comentades, de posicionament de les estacions meteorològiques.

2.3.4.2. Temperatura de les mitjanes

El mes amb una R^2 més baixa és el de juliol (0.83) mentre que els mesos amb ajustos més bons són els de febrer, abril i octubre (0.90).

Aquest és, indubtablement, l'element climàtic més ben modelitzat. A l'igual que en el cas anterior, el període estival és el que presenta uns ajustos lleugerament inferiors respecte la resta d'estacions de l'any (0.85 vs 0.88-0.89).

La figura 2-13 mostra la significació estadística de les variables independents al llarg de l'any.

L'altitud i el cosinus de la latitud segueixen la mateixa tònica que en el cas de les temperatures mitjanes de les mínimes. La distància lineal al Mediterrani també té una significació positiva durant tot l'any per motius que desconeixem. La distància lineal a l'Atlàntic no és significativa durant l'hivern però si ho és de forma positiva durant

l'estiu (quan la manca de la temperació marítima provoca que a l'interior faci més calor). Les distàncies logarítmiques és comporten de forma similar, només amb petites variacions, independentment de quin sigui el tram de costa de referència. En aquest cas el patró de continentalitat, explicat abans, sí és clar. Fonamentalment tenim que a l'hivern (novembre - febrer) les tendències són negatives i l'estiu (maig - setembre) són positives mentre que a l'inici i al final del període estival no són significatives. A l'igual que pel cas de les temperatures mitjanes de les mínimes, sembla que les distàncies logarítmiques expliquin millor l'efecte de la continentalitat que les distàncies lineals.

La radiació solar entra esporàdicament (sense cap explicació aparent sobre quan és significativa) però sempre en sentit positiu com seria d'esperar. És possible que l'anàlisi de regressió utilitzi aquest variable per ajustar els models i, per tant, que la seva significació puntual sigui purament un artefacte numèric.

2.3.4.3. Temperatura mitjana de les màximes

El rang dels coeficients de determinació oscil·la entre 0.82 (juliol i agost) i 0.88 (octubre). Aquests resultats, tot i que lleugerament inferiors, s'assemblen força als obtinguts pel cas de les temperatures mitjanes. El període estival segueix essent el que presenta ajustos més baixos (0.82), mentre que les altres estacions de l'any presenten mitjanes molt similars (0.86).

La figura 2-14 mostra la significació estadística de les variables independents al llarg de l'any.

L'altitud i el cosinus de latitud segueixen la mateixa tendència que en les variables anteriors. Les distàncies lineals no són mai significatives, a excepció de la distància al mediterrani durant l'hivern i per tant de forma contrària al patró esperat de continentalitat. Ara bé, a nivell de les distàncies logarítmiques el patró és similar a l'observat pel cas de la temperatura de les mitjanes tot i que de forma no tan nítida.

La radiació solar és significativa i positiva durant el període estival. Només durant aquest període de forta radiació solar semblaria que els indrets que més en reben tindrien unes temperatures mitjanes de les màximes marcadament més altes.

2.3.4.4. Precipitació

Els ajustos de la precipitació són clarament més baixos que els de les temperatures. Aquest fet és totalment esperable a causa de la dificultat, prou coneguda, de predir la precipitació. L'increment d'efectes locals que el nostre model no recull repercuteixen en aquests resultats. És precisament per aquest motiu que els mapes d'anomalies són tan importants, com veurem, pel cas de la precipitació. L'ajust més baix el trobem en el mes d'octubre (0.38) i els millors ajustos en els de juny i juliol (0.71 i 0.70). Aquesta situació és totalment inversa del que succeeix amb les temperatures. Si ens fixem en les estacions cronològiques veurem que l'estiu és la que, clarament, té una major predibilitat (0.70). Les altres estacions tenen, en mitjana, uns coeficients de determinació entre 0.45-0.47 segons el cas.

La figura 2-15 mostra la significació estadística de les variables independents al llarg de l'any.

L'altitud és significativa durant tot l'any i amb signe positiu. Com esperàvem, a major altitud tindrem una major precipitació. El cosinus de la latitud és negatiu en el període entre maig i desembre. Això significa que, durant estiu i tardor, a més latitud major precipitació. Es fa una mica estrany que aquesta variable no sigui significativa al període primaveral, quan la precipitació causada per la circulació zonal és més intensa. El patró de les distàncies lineals és força complicat d'interpretar. En el cas de la distància lineal al Mediterrani no es reflecteixen, per exemple, les tempestes mediterrànies típiques de tardor i el patró és de major precipitació en allunyar-se d'aquesta costa. Al període hivernal tenim una pauta clara que mostra que la proximitat a l'oceà Atlàntic repercuteix amb majors precipitacions. Ara bé, durant la resta de l'any aquesta tendència s'inverteix o és inexistent. Pel que fa a les distàncies quadràtiques trobem una pauta molt distinta entre la distància al Mediterrani i les altres dues (Atlàntic

i Cantàbric). La primera, igual que la seva homònima lineal, presenta un patró força confús, mentre que les segones són significatives positivament durant tot l'any. Això significa que els indrets allunyats de la costa reben menys precipitació que els costaners independentment de quina sigui la costa de referència. Finalment, la radiació solar presenta una significació negativa durant el període març – setembre. En els indrets més assolellats és possible que les condicions per a que es formin núvols siguin més dolentes i que, per tant, plogui menys.

2.3.5. Comparació amb altres mètodes d'interpolació

En aquest apartat comparem els resultats de les validacions obtingudes a partir d'altres mètodes d'interpolació: invers de la distància al quadrat (ID2) i *kriging* (KR) vers les obtingudes (R^2_c) mitjançant el model de regressió múltiple (IRM). La metodologia de validació és la mateixa que l'emprada pel cas de IRM.

Per motius de volum de dades, aquestes comparacions només s'han fet a nivell de conques i, per tant, hem deixat de banda el model global.

Si fem les mitjanes dels R^2 per tots els mesos i conques dels 4 elements climàtics veiem que el millor interpolador és IRM (0.71) seguit de KR (0.58) i ID2 (0.55). Veiem que els resultats amb KR en general són millors que amb ID2 però curiosament no difereixen gaire tot i que la primera tècnica és força més sofisticada. Si fem la mitjana del R^2 per comparar temperatures d'una banda, i precipitació de l'altra, observem que IRM és millor quan interpolem temperatures (0.73 per 0.55 de KR i 0.52 de ID2) però similar als altres mètodes quan el que interpolem són les precipitacions.

Els coeficients de determinació per a cada model i conca estan expressats a la taula 2-16.

2.3.5.1. Temperatures mitjanes de les mínimes

En aquest cas IRM és el model que millor funciona (0.70) front 0.58 de KR i 0.55 de ID2. En aquest cas els coeficients de determinació també són les mitjanes de tots els mesos, conques i elements climàtics considerats. Només la conca del Tajo presenta un millor ajust utilitzant ID2 mentre que KR no aporta millores en cap cas.

2.3.5.2. Temperatures mitjanes

En cap cas una interpolació estrictament matemàtica dona millors resultats que amb IRM. En general tenim que IRM té una mitjana de R^2 de 0.79 clarament superior als 0.62 de KR i 0.58 de ID2.

2.3.5.3. Temperatures mitjanes de les màximes

La situació és la mateixa que per les anteriors variables. IRM és el model que millor funciona (0.71) mentre que KR i ID2 tenen 0.45 i 0.43 respectivament.

2.3.5.4. Precipitació

Com ja hem comentat les mitjanes dels coeficients de determinació ens mostren que els tres mètodes són força similars. Tenim 0.66 per KR, 0.65 per IRM i 0.63 per ID2. Tot i que la mitjana sigui similar si mirem els resultats per conques veiem que en 4 conques (NO, DU, GQ i ME) els resultats són millors en el cas de IRM. També és important tenir en compte que IRM pot millorar una mica si utilitzem els correctors interpolats amb *kriging* a l'igual que succeeix en el model de Catalunya.

2.3.6. Comparació amb el mètode clàssic de traçat manual d'isolínies

La comparació de l'*Atlas climático de España* (ACE) amb els mapes obtinguts amb el nostre mètode (IRM) ha estat feta de forma visual com ja hem comentat a l'apartat de metodologia. Per tant, tot seguit exposarem un llistat de les diferències qualitatives observades. Perquè la comparació sigui més fàcil de fer hem utilitzat un acetat de la capa vectorial de conques hidrogràfiques per aplicar sobre els mapes analògics i hem reclassificat les imatges digitals amb els mateixos intervals que l'atlas. La comparació visual s'ha realitzat pels mesos equinoccials i solsticials i l'annual de la temperatura de les mitjanes i la precipitació. Per no fer tan feixuc l'enunciat de diferències sempre prendrem com a **primera referència** IRM.

A banda de les qüestions metodològiques, que són les que ens interessen aquí, existeixen dos factors que poden causar diferències entre els dos models. L'escala dels mapes del ACE és molt general ja que els mapes de precipitació venen representats a 1:3000000, i els de temperatura a 1:6000000. L'altre factor és el fet d'utilitzar un conjunt diferent d'estacions. En principi ambdós aspectes haurien d'afavorir el nostre model perquè en el primer cas IRM està basat en una escala 1:200000, i en el segon cas, la vintena d'anys que separen ambdós treballs provoca que les sèries meteorològiques hagin millorat.

2.3.6.1. Temperatura de les mitjanes

Abans d'iniciar la comparació per mesos i conques hidrogràfiques volem esmentar alguns aspectes comuns a tots ells. Un tret general és que l'altitud provoca l'existència de valors més baixos a IRM que a ACE. Una altra generalitat és que el traçat de les isoterms és menys sinuós en el cas de ACE fins i tot quan esmentem que els dos models són similars. Aquest és possiblement el punt més interessant del treball ja que és en les variacions del traçat de les isoterms on IRM aportarà nova informació. L'últim aspecte general és que a ACE sovint trobem zones unides per la mateixa isoterma que

en IRM queden separades. És a dir, ACE te més tendència a ser homogeni que IRM, com sol passar en totes les delimitacions efectuades de forma manual.

MARÇ

Conca dels Pirineus Orientals

En general, ambdós models s'assemblen molt, però a la línia de costa, al nord de Barcelona, desapareix l'interval de 12-18°C. Al sud de Barcelona en canvi tenim el cas contrari: apareix a IRM però no a ACE.

Conca del Nord

L'interval de 0-6°C abunda una mica més i, en canvi, a la costa oest de Galícia l'interval 12-18°C està menys marcat.

Conca del Duero

És de les situacions més similars que trobem. En general, la conca del Duero apareix sempre amb una climatologia força homogènia.

Conca del Tajo

Apareix una taca força aparent de l'interval 12-18°C a l'oest de la conca (tocant a Portugal) que manca a ACE.

A la resta de les conques hidrogràfiques la similitud és molt elevada i per tant no val la pena comentar res més.

JUNY

Conca dels Pirineus Orientals

L'interval 12-18°C apareix en major quantitat, tot i que fragmentat, al sud-est de la conca. Al Montseny apareix una taca de l'interval 6-12°C per qüestions d'altitud.

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

Conca del Nord

L'interval de 6-12°C s'estén més i apareixen taques petites a l'extrem nord-oest de Galícia. La taca d'aquest interval amb la frontera de la conca del Duero és molt més gran. A ACE la isoterma de 18°C presenta una digitació en la frontera entre el País Basc i França que a IRM està molt difuminada.

Conca del Duero

L'interval de 12-18°C és força més extens que el de 18-24°C a diferència del que succeeix a ACE.

Conca del Tajo

Apareixen taques puntuals de l'interval 24-30°C en la meitat oest que no son dibuixades a ACE. El mateix succeeix a la frontera amb les conques del Duero i Llevant amb l'interval 6-12°C.

Conca del Guadiana

Apareixen taques puntuals de l'interval 24-30°C en la meitat oest i sud-oest de la conca que no hi són a ACE.

Conca del Guadalquivir

Aquí es manifesta clarament la substitució de l'interval 24-30°C per temperatures inferiors quedant reduït a taques molt petites. Aquest és potser la diferència més rellevant del mes de Juny. L'interval 6-12°C apareix a Sierra Nevada i al nord d'aquestes muntanyes.

Conca del Sud o Meridional

L'interval 12-18°C s'estén més àmpliament pels dos extrems de la conca tot i que de forma discontinua.

Conca del Segura

Apareixen petites taques de l'interval 24-30°C a la meitat sud i nord-est de la conca.

Conca de Llevant

En general força similar, llevat que apareixen taques molt petites de l'interval 6-12°C a l'extrem nord de la conca.

Conca de l'Ebre

L'interval 6-12°C apareix amb una extensió molt major en els Pirineus com també en les fronteres amb les conques del Duero i Llevant.

SETEMBRE

Conca dels Pirineus Orientals

L'interval de 6-12°C està més representat als Pirineus i apareix a la zona del Montseny. La categoria 12-18°C s'estén amb algunes digitacions cap al Montseny com també cap a Tarragona.

Conca del Nord

L'interval 6-12°C està més representat en diferents indrets. A ACE l'interval 18-22°C comunica l'Ebre amb la zona cantàbrica mentre que a IRM queda separada en dos taques i, per tant, hi manca la penetració d'aquest interval per l'extrem est.

Conca del Duero

L'interval 6-12°C s'estén per les fronteres de les conques veïnes. El relleu associat a la divisòria de conques provoca aquests efectes diferenciadors. També apareix una taca addicional de l'interval 18-24°C que no existeix a ACE.

Conca del Tajo

Apareixen taques de l'interval 24-30°C en la meitat oest de la conca. Apareixen taques de l'interval 6-12°C en la frontera amb la conca del Duero.

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

Conca del Guadiana

Apareixen taques en el centre i en el sud-oest (Huelva) de la conca de l'interval 24-30°C.

Conca del Guadalquivir

Apareixen petites taques extremes de l'interval 12-18°C en la meitat est de la conca. La taca de l'interval 24-30°C és més continua a ACE que a IRM on queda fragmentada a l'extrem est.

Conca del Sud o Meridional

L'interval 12-18°C és més extens a la zona de frontera amb la conca del Guadalquivir. A la zona de Sierra Nevada apareix l'interval 6-12°C. També s'observen taques, molt aparents, de l'interval 24-30°C a la costa de l'est de la conca (Almeria).

Conca del Segura

També s'observa la profusió de taques de l'interval 24-30°C prop de litoral.

Conca de Llevant

Apareixen taques petites de l'interval 12-18 °C i també del 24-30°C a la zona sud-est de la conca.

Conca de l'Ebre

L'interval 6-12°C és molt més extens que en ACE. Apareixen taques totalment noves en l'extrem sud i oest per qüestions orogràfiques. L'altra diferència important ja l'hem comentat a la conca del Nord.

DESEMBRE

Conca dels Pirineus Orientals

L'interval 6-12°C no està tan digitat com en ACE ja que aquest últim marca una entrada per la depressió del Bages que IRM no fa.

Conca del Nord

En la franja de la costa nord i del nord-oest apareix l'interval 12-18°C de forma molt ajustada a la línia de costa. Apareix l'interval -6-0°C a la zona dels Montes de León.

Conca del Duero

Apareix una taca puntual de 6-12°C al sud de la conca.

Conca del Tajo

La àrea ocupada per l'interval 6-12°C és més gran que l'ocupat pel 0-6°C de forma molt aparent.

Conca del Guadiana

Es continua expressant el fenomen observat a la conca del Tajo. Apareix a la costa una taca molt aparent de l'interval de 12-18°C.

Conca del Guadalquivir

L'interval -6-0°C apareix de forma clara als voltants de Sierra Nevada.

Conca del Sud o Meridional

L'interval 0-6°C està més fragmentat i s'estén tant per l'est com per l'oest de la conca.

Conca del Segura

La isoterma de més de 12-18°C abasta tota la franja costanera mentre que a ACE desapareix a partir del Mar Menor.

Conca de Llevant

L'interval de 12-18°C s'estén per tota la franja costanera i presenta una taca a la zona nord. Manca l'interval -6-0°C a l'extrem nord de la conca (Serres de Gúdar i Albarracín) a diferència de la pauta habitual. L'interval de 0-6°C és present al sud amb algunes taques aïllades.

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

Conca de l'Ebre

L'interval $-6-0^{\circ}\text{C}$ és més extens sobre tot en la regió pirinenca i en el Sistema Ibèric. També a la zona del delta apareix l'interval $12-18^{\circ}\text{C}$.

ANUAL

Conca dels Pirineus Orientals

La categoria $14-18^{\circ}\text{C}$ no està tan digitada com a ACE ja que, per exemple, manca l'entrada a la depressió del Bages. L'interval $10-14^{\circ}\text{C}$ té una superfície més gran que el de $14-18^{\circ}\text{C}$, el qual queda més relegat a la franja costanera. Apareix una taca de la categoria $6-10^{\circ}\text{C}$ a la zona de Montseny.

Conca del Nord

La categoria $14-18^{\circ}\text{C}$ està menys representada en ACE al nord i al costa gallega però en canvi apareix a l'extrem nord-est (País Basc) on ACE no ho marca. La categoria $4-6^{\circ}\text{C}$ és més extensa en IRM per qüestions orogràfiques i fins i tot surt una taca a la frontera entre Galícia i Lleó que ACE ni insinua.

Conca del Duero

L'interval $4-6^{\circ}\text{C}$ apareix representat en els extrems nord i sud-est de la conca en les zones de contacte amb altres conques a causa del relleu.

Conca del Tajo

Apareix la categoria $4-6^{\circ}\text{C}$ a l'extrem nord-est superior (Sistema Central). Hi ha una taca de l'interval $14-18^{\circ}\text{C}$ a la meitat est de la conca tot i que molt puntual. L'interval $6-10^{\circ}\text{C}$ queda fragmentat clarament en dues porcions, quan a ACE és una sola taca.

Conca del Guadiana

Hi ha una extensió de l'interval $14-18^{\circ}\text{C}$ cap a la conca de Llevant que queda truncat a ACE. La taca de l'interval $18-20^{\circ}\text{C}$ del sud té un aspecte molt diferent en els dos models.

Conca del Guadalquivir

La digitació de la classe 18-20°C s'estén des del sud-oest fins més enllà de la meitat de la conca en el cas d'ACE. En canvi a IRM aquest interval està reduït en detriment de l'interval 14-18°C. Aquesta diferència és molt aparent. Apareix una taca de l'interval 6-10°C addicional a l'est de la existent a ACE. A Sierra Nevada, per qüestions d'altitud, apareix l'interval 4-6°C.

Conca del Sud o Meridional

Apareixen noves taques de la categoria 6-10°C dins l'interval 10-14°C.

Conca del Segura

Dins de la categoria 14-18°C hi ha taques puntuals de la categoria inferior. L'interval 18-20°C s'estén per la costa, cosa que no succeeix a ACE.

Conca de Llevant

La taca de l'interval 14-18°C que s'inicia a la conca del Guadiana enllaça amb la conca de Llevant. Apareixen dues taques de la categoria 18-20°C dins l'interval inferior a la meitat est de la conca.

Conca de l'Ebre

La categoria 4-6°C apareix en major abundància sobretot en els Pirineus occidentals. També apareix de nou una taca de 4-6°C en la frontera amb la conca del Duero causada per l'orografia. A la frontera amb la conca del Nord i en zones pròximes apareix una taca de 6-10°C.

2.3.6.2. Precipitació

Com és d'esperar, els models de precipitació difereixen més entre sí que els de temperatura ja que els factors locals hi tenen més pes. En aquest cas, i l'inrevés del que succeeix en la temperatura, s'observa a ACE menys tendència a unir punts allunyats

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

dins la mateixa isohieta. Aquest fet provoca que tinguem un model més homogeni a IRM. En general, l'altitud fa que IRM doni valors més elevats que ACE.

MARÇ

En general el més de març és el que pitjor s'ajusta visualment. Destaquem aquest fet perquè en general, i com és lògic, ACE i IRM coincideixen molt bé en els aspectes generals. En aquest mes, però, i sobretot a la meitat sud-oest de la Península Ibèrica les diferències són notables.

Conca dels Pirineus Orientals

L'interval 100-150 mm esdevé molt reduït. La categoria 30-60 mm domina molt i treu lloc a la de 60-80 mm.

Conca del Nord

A la zona de Galícia domina l'interval de 100-150 mm mentre que a ACE hi ha valors més elevats. Aquest interval s'allarga tota la conca fins arribar al País Basc donant valors de precipitació més elevats a Astúries i Cantàbria.

Conca del Duero

Els valors baixen fins a l'interval de 10-30 mm en una ampla zona de la conca de forma molt aparent.

Conca del Tajo

Cap a la zona del centre i l'oest, a ACE hi ha taques molt aparents delimitades per isohietes amb valors més elevats que en el nostre cas.

Conques del Guadiana, Guadalquivir i Meridional

Els resultats són molt més uniformes que en el cas d'ACE. Existeix com hem comentat a l'inici una gran diferència entre ambdós models, exceptuant potser la zona de Grazalema.

Conca del Segura

En aquest cas, curiosament, ambdós models s'assemblen força.

Conca de Llevant

A la zona fronterera amb la conca del Tajo (Conca i Terol) manca l'interval de 100-150 mm.

Conca de l'Ebre

A la frontera amb la conca del Duero (prop de Burgos) hi manca l'interval de 100-150 mm mentre que el de 60-100 mm manca a Tarragona. La depressió de l'Ebre és molt similar en ambdós casos.

JUNY

Conca dels Pirineus Orientals

L'interval de 150 o més mm està més estès. Les dues isohietes de 30 mm no apareixen a la costa i, en canvi, al Montseny apareix la isohieta de 100 mm.

Conca del Nord

Els dos models s'assemblen força. Hi ha problemes amb el desplaçament puntual de dues taques que semblarien correspondre a algun problema en el posicionament de les estacions. Aquest fet es produeix en altres mesos i si bé les taques apareixen en els dos models, en ACE es dibuixen més a l'oest. De totes maneres són taques força locals i afecten poc les tendències generals.

Conca del Duero

En general IRM presenta valors molt més uniformes. Els intervals de 10-30 mm i 60-80 mm es veuen clarament reduïts.

Conca del Tajo

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

A l'extrem est de la conca (frontera amb les conques de Llevant i Duero) les taques de 60-80 mm estan molt reduïdes.

Conca del Gadiana

La isohieta de 10 mm està molt reduïda i l'interval 30-40 mm al centre de la conca està més difús respecte a ACE, tot i que s'insinua la forma.

Conca del Guadalquivir

La isohieta de 10 mm està molt reduïda cap a la costa. Apareixen cel·les amb valors de l'interval 60-80 mm a la meitat est de la conca com també a Sierra Nevada.

Conca del Sud o Meridional

Apareix l'interval 40-60mm de forma abundant per tota la conca.

Conca del Segura

Apareixen taques de l'interval 60-80 mm a la meitat oest de la conca (frontera amb la conca del Guadalquivir). La isohieta de 10 mm queda relegada a l'extrem sud-oest de la conca mentre que a ACE arriba fins el Mar Menor.

Conca de Llevant

L'interval 80-100 mm apareix al nord de la conca de forma més abundant que a ACE. El mateix succeeix, de forma puntual, al nord d'Alacant. La isohieta de 30 mm del centre de la conca dibuixada per ACE no apareix a IRM.

Conca de l'Ebre

Els dos models són força similars. Als Pirineus occidentals apareixen noves petites taques de 150 o més mm per qüestions d'altitud.

SETEMBRE

Conca dels Pirineus Orientals

L'interval de 100-150 mm només apareix als Pirineus i, de forma molt reduïda, a la Garrotxa, Montseny i sud de Tarragona (molt puntual). Apareixen zones amb l'interval 60-80 mm al Cap de Creus i més cap al Sud. En general, però, l'interval 60-80mm domina sobre el de 80-100mm.

Conca del Nord

L'interval de 80-100 mm queda molt reduït. Les digitacions de ACE no estan tant marcades a IRM. L'interval de 100-150 mm està reduït a la costa cantàbrica però incrementa cap a la costa oest de Galícia.

Conca del Duero

L'interval 60-80 mm manca a la frontera amb la conca del Tajo, tot i que més cap a l'est s'insinua.

Conca del Tajo

L'interval 60-80 mm desapareix a la meitat est de la conca. L'interval 10-30 mm està molt més representat.

Conca del Guadiana

Les taques dels intervals 10-30 mm i 30-60 mm són més homogènies a IRM.

Conca del Guadalquivir

L'interval de 60-80 mm manca del tot. També existeix més homogeneïtat a IRM. Hi ha zones on l'interval 30-60 mm és inexistent.

Conca del Sud o Meridional

El model segueix essent més homogeni a IRM. Manca l'interval 60-80 mm a Grazalema.

2. Modelització climàtica a l'Espanya peninsular

Conca del Segura

L'interval de 60-80 mm apareix cap al centre de la conca, possiblement causat per algun problema de posicionament d'una estació meteorològica. L'interval de 30-60 mm queda reduït front el de 10-30 mm. La isohieta de 10 mm desapareix totalment.

Conca de Llevant

L'ampli interval de 10-30 mm queda reduït a petites taques. A nord d'Alacant (Cap de la Nau) hi ha una taca de 80-100 i fins i tot de 100-150 mm.

Conca de l'Ebre

Als Pirineus catalans no hi arriba la isohieta de 10 mm. L'interval 60-80 mm del centre oest de la conca no hi és present. També manca la isohieta de 150 mm al nord dels Pirineus.

DESEMBRE

Conca dels Pirineus Orientals

Apareix l'interval 100-150 mm al Montseny per qüestions d'altitud. Hi ha una reducció de l'interval 60-80 mm a Tarragona.

Conca del Nord

Existeix una taca curiosa a la meitat oest causada per una estació amb valors molt distints de la tendència general del model i que per tant genera una correcció molt intensa. Les petites taques de l'interval 300-400 mm prop d'Orense no apareixen. L'interval 200-300 mm del centre de la conca està reduït cap a l'oest i l'interval de 300-400 mm en el seu interior desplaçat cap al sud-oest.

Conca del Duero

Manquen les taques de 60-80 mm a la part central de la conca. També manca l'interval 150-200 mm a l'extrem est de la conca (frontera amb la conca de l'Ebre). Apareix una zona al sud-oest on dins de l'interval 20-30 mm apareix l'interval 30-60 mm.

Conca del Tajo

L'interval de 100-150 mm és continu entre la conca del Tajo i la de Guadiana a diferència d'ACE. Manca l'interval 60-80 mm a l'est de la conca tot i que és un fet molt puntual.

Conca del Guadiana

Manca una taca relativament gran de l'interval 40-60 mm a l'oest. L'extrem sud de la conca pràcticament està ocupat per l'interval de 100-150 mm en lloc dels valors de 60-100 mm d'ACE.

Conca del Guadalquivir

L'interval de 60-80 mm i el de 40-60 mm queden reduïts. A la meitat oest l'interval 60-80 mm es substituït pel de 100-150 mm. A la zona de Grazalema apareix un gradient entre 100 i 400 mm.

Conca del Sud o Meridional

Presenta els mateixos aspectes comentats per a Guadalquivir.

Conca del Segura

L'interval 10-30 mm és veu molt més compacte, abundant i desplaçat cap al litoral.

Conca de Llevant

Manca l'interval 10-30 mm a la zona d'Albacete de forma molt clara.

Conca de l'Ebre

Als Pirineus apareix l'interval de 200-300 mm i a dins hi ha dues petites taques de 300-400. Manca l'interval 100-150 mm a la zona dels Ports de Beseit. L'interval 100-150 mm queda tallat a la Vall d'Aran i no arriba fins la Cerdanya.

ANUAL

Conca dels Pirineus Orientals

La isohieta de 500 mm s'insinua a les costes catalanes però ni molt menys pren l'extensió d'ACE. A la meitat nord, l'interval 700-1000 mm guanya terreny en detriment del de 500-700 mm.

Conca del Nord

Existeixen força diferències amb ACE. Els intervals 700-1000 i 1000-1500 mm manquen a la costa gallega. Les digitacions de l'interval 1500-2000 mm no estan tan insinuades com en el cas d'ACE ja que aquest uneix Galícia, Astúries i Cantàbria mentre que a IRM tenim taques més fragmentades. Manca un pic de 2500 mm a la meitat oest de la conca. La taca de 500-700 mm queda reduïda a un abast local.

Conca del Duero

L'interval de 300-500 mm no està tan digitat com en ACE (sobre tot l'entrada cap a Portugal des de Salamanca) i manca, dins d'aquesta, la isohieta de 300 mm (prop de Zamora). La taca de 1000-1500 mm a l'extrem oest de la conca no hi és present. Aquesta categoria està menys representada del que li tocava segons ACE.

Conca del Tajo

L'interval de 1000-1500 mm de l'extrem est de la conca s'insinua puntualment però en cap cas té l'abast d'ACE. L'interval de 300-500 mm queda reduït a dues petites taques en l'extrem sud-oest (Cáceres). Fragmentació de l'interval 1000-1500 mm en dues parts i reducció dels valors superiors a 1500 mm.

Conca del Guadiana

Força similar en ambdós models excepte que l'interval 300-500 mm està un xic més reduït en detriment del de 500-700 mm.

Conca del Guadalquivir

Hi ha un domini molt aparent de l'interval 700-1000 mm en detriment dels altres. El interval de 300-500 mm queda reduït a petites taques. El mínim de 200-300 mm a l'est de la conca desapareix a l'igual que la penetració de l'interval 700-1000 mm a l'oest.

Conca del Sud o Meridional

Els dos models s'assemblen força. Només manca una penetració de l'interval 300-500 mm al nord de Màlaga.

Conca del Segura

Manca una taca de l'interval 700-1000 mm. L'interval de 200-300 mm està més estès (a l'inrevés del que succeeix en altres conques), tot i que hi manca una taca al nord.

Conca de Llevant

Falta la taca de 500-700 mm al sud-oest de la conca (plana d'Albacete). L'interval de 1000-1500 mm està molt poc representat, llevat d'unes petites taques al nord-oest. L'interval de 200-300 mm també queda molt reduït.

Conca de l'Ebre

Manquen dues taques de l'interval de 500-700 mm al centre de la conca. L'interval de 1000-1500 mm tampoc no hi és representat. IRM presenta un aspecte clarament més uniforme que ACE.

CAPÍTOL 3

MODELITZACIÓ CLIMÀTICA A CATALUNYA

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.* (en premsa). 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, tal i com hem explicat a l'apartat 2.1, és 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 $9.9 \cdot 10^5$ 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 impedit-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 com a interpolador principal. A l'apartat 3.2.5.2. es mostren comparacions amb altres mètodes d'interpolació espacial.

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 distints. 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 l'apartat 2.2.3.2, ens hem proposat d'introduir la variabilitat que generen les condicions atmosfèriques, fonamentalment la nuvolositat.

Fitzpatrick i Stern (1970) van trobar dificultats en la modelització de la nuvolositat a causa dels forts canvis que sofreix i que provoca règims de radiació solar atípics. Cal incrementar el coneixement de la composició del núvols, la seva altitud, la cobertura, etc. Alados-Arboledas *et al.* (1995) han quantificat quin error es produeix en funció d'una mala determinació dels anteriors factors. Ara bé, nosaltres no hem treballat amb la nuvolositat de forma directa, sinó establint un relació entre la radiació que arriba a les estacions i la que dóna el nostre model potencial. Tot i així, un major coneixement de la nuvolositat, creiem que ens permetria interpretar millor el mapa final de radiació real. A l'apartat 2.2.3.2.4 ja hem discutit els avantatges i desavantatges de la radiació solar vers la insolació en els models potencials (sense nuvolositat). En el cas dels models reals tenim que, segons Núñez i Pérez (1977), la correlació existent entre la insolació i la nuvolositat no és gaire satisfactòria. Això fa que segueixi essent millor treballar amb la radiació solar que amb la insolació obtingudes a partir de les estacions meteorològiques.

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.

Pel cas de Catalunya hem escollit l'opció d'introduir el factor de nuvolositat abans d'introduir la radiació solar en el model de temperatura. Aquesta decisió ha estat presa simplement perquè ha estat factible treballar amb dades de les estacions

meteorològiques. Tenim dues possibilitats de treballar amb els correctors de radiació solar:

1) Obtenir un mapa de densitat òptica.

Mitjançant el valors de radiació solar mesurats a les estacions meteorològiques podríem generar un mapa de densitat òptica (τ_0) a base d'aïllar aquesta variable a partir de l'expressió de l'esmoreïment de la radiació (vegeu l'equació 2-1). Un cop coneguts els valors de τ_0 per a cada estació, podríem interpolar aquests valors per a tot el territori. Finalment, caldria modificar el codi font del programa que conté l'algorisme utilitzat per calcular la radiació potencial. En lloc d'introduir un valor constant i equivalent a unes condicions atmosfèriques estàndards, el programa llegiria a cada punt el valor de τ_0 que li correspongués.

2) Obtenir un mapa d'un corrector que relacioni la radiació solar potencial i la radiació solar de les estacions meteorològiques.

Comparant els valors de radiació solar de les estacions (mesurats com si estiguessin en una superfície plana) amb el valors de radiació potencial (agafats de zones sense relleu) podem obtenir un corrector (o anomalia) per a cada estació i mes de l'any. Si interpolem aquests valors podem generar un mapa d'anomalies de radiació solar per a cada mes i, finalment, utilitzar-los per corregir els valors de radiació potencial i així obtenir els de radiació real. La comparació entre la radiació de les estacions meteorològiques i la radiació potencial per generar aquests mapes d'anomalies pot ser efectuada mitjançant un procés de suma / resta o un procés de multiplicació / divisió. Aquest corrector, sigui quina sigui la seva expressió, donaria una idea de la nuvolositat. Si bé aquests correctors expressen la nuvolositat existent, també expressen l'error acumulat en el nostre model. Vegeu l'apartat 2.2.9. on es parla més a fons del significat d'aquests correctors que anomenarem correctors de radiació.

L'opció de realitzar un mapa de densitat òptica ha estat deixada de banda per dos motius: el procés és relativament complicat tant a nivell matemàtic com informàtic i, a més, l'altra opció plantejada ens ha donat uns resultats molt bons. Aquesta segona opció

ha consistit a modificar la radiació potencial mitjançant una correcció amb un factor multiplicatiu, com tot seguit veurem.

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. 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 dilema que tenim, però, és escollir l'expressió matemàtica més adequada per interrelacionar les dues radiacions com també per corregir la radiació solar potencial. Com hem dit anteriorment ens hem plantejat, a priori, dues possibilitats. En el cas del fer un procés multiplicatiu / divisor generariem un corrector en forma de quocient (vegeu l'equació 3-1).

$$\frac{R_{rh}}{R_{ph}}$$

Equació 3-1. Corrector de radiació obtingut a partir del quocient entre la radiació solar real i la radiació solar potencial, on R_{ph} representa la radiació potencial sobre superfície horitzontal i R_{rh} la radiació real també sobre superfície horitzontal.

Obtindrem un valor per a cada estació que interpolarem per a tota l'àrea d'estudi i per tant un mapa que ens mostrarà quines són les anomalies del comportament de la radiació de les estacions respecte la radiació potencial. Aquestes anomalies inclouen tots els errors del model, però el factor que més importància té en aquesta diferència entre la radiació potencial i la de les estacions és la nuvolositat. Cal no oblidar, com a possible font d'error, el fet que algunes estacions puguin tenir ocultament topogràfic ja que en el nostre model, al prendre com a dada la radiació del mar, no hi ha ocultament topogràfic i, per tant, els dos valors no serien del tot comparables. Tot i així, és de

suposar que la majoria de les estacions estan situades en indrets sense un ocultament important.

Així doncs, de manera indirecta podem obtenir un mapa que és una bona aproximació de la nuvolositat de Catalunya. No només té importància com a corrector de la radiació potencial sinó que també l'hem utilitzat en el model de precipitació. Aquest mapa d'anomalies ha estat finalment multiplicat pel mapa de la radiació potencial, utilitzant àlgebra de mapes.

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.

En cas de fer el procés additiu / substractiu obtindrem un corrector del tipus que podeu observar a l'equació 3-2.

$$R_{ph} - R_{rh}$$

Equació 3-2. Corrector de radiació obtingut a partir de la resta entre la radiació solar potencial i la radiació solar real on R_{ph} representa la radiació potencial sobre superfície horitzontal i R_{rh} la radiació real també sobre superfície horitzontal.

Seguint la mateixa metodologia que amb l'altre corrector, obtindrem un mapa d'anomalies mitjançant la seva interpolació que finalment restarem de la imatge ràster de radiació potencial creada a partir del nostre model.

És a dir, finalment podem tenir dues expressions distintes en funció de si triem el corrector de radiació divisiu (equació 3-3) o bé el corrector substractiu (equació 3-4).

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

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

$$R_r = R_p - (R_{ph} - R_{rh})$$

Equació 3-4. Expressió final per a obtenir la radiació solar real a partir d'un corrector substractiu on R_{ph} representa la radiació potencial sobre superfície horitzontal i R_{rh} la radiació real també sobre superfície horitzontal, R_r la radiació real i R_p la potencial.

En el primer cas (equació 3-3), el quocient entre la radiació real i la radiació potencial ens donarà un corrector amb valors que oscil·laran entre 0 i 1. La radiació potencial sempre és major o igual que la radiació real pel fet que en els càlculs de la radiació potencial s'utilitzen valors de màxima claredat atmosfèrica mentre que la radiació real sempre es veu esmorteïda per l'efecte atmosfèric, ja sigui en gran quantitat per l'efecte dels núvols o en menor quantitat per altres partícules atmosfèriques. Només en cas d'un mes amb tots els dies excepcionalment clars aquestes dues radiacions podrien arribar a ser iguals. Ara bé, els càlculs de la radiació potencial estan fets per un sol dia representatiu de tot el mes i les dades reals són mitjanes mensuals diàries. Així doncs, caldria que pràcticament tots els dies del mes tinguessin una elevada transparència atmosfèrica perquè aquests dos valors fossin iguals. Posem per exemple el cas extrem (com hem dit abans és molt difícil que $R_{ph} = R_{rh}$) que el corrector en una determinada zona valgui 1, és a dir, tingui el valor màxim. Això voldrà dir que la R_{rh} que arriba en aquell indret és la mateixa que la R_{ph} i, per tant, que arriba la mateixa radiació que hi

arribaria en cas de cels totalment serens. Quan multipliquem finalment la radiació potencial per aquest valor del corrector, no ens farà disminuir els seu valor, a diferència del que succeirà en tots els altres casos.

La mateixa idea la podem aplicar al segon cas (Equació 3-4). El corrector no serà mai un nombre negatiu pels motius que acabem d'exposar. És a dir, acabarem restant a la radiació potencial un corrector interpolat per a cada punt del territori, que serà un nombre positiu, quedant més reduïts els valors de la radiació potencial en els llocs de màxima quantitat de núvols i menys reduïts en els llocs més freqüentment serens.

En ambdós casos podem considerar d'obtenir un corrector per a cada mes o bé un corrector per a tot l'any. Si el calculem per a cada mes ens trobarem amb bastants mapes (concretament 12) però el resultat serà més exacte ja que com a mínim cada estació tindrà exactament el mateix valor de radiació real que el que ha estat mesurat en ella. En canvi, si desenvolupem un corrector per a tot l'any tindrem més error però un únic mapa (un model més general i, per tant, més atractiu).

Un cop exposades les opcions que ens hem plantejat, analitzarem el motiu que ens portà a decidir-nos per una d'elles. Hem realitzat una comparació entre els valors de radiació mesurada a les estacions i els de radiació potencial per als dotze mesos de l'any i per a cada estació per separat. Aquesta comparació ha estat feta mitjançant una anàlisi de regressió simple. Hem pres com a variable dependent la radiació de les estacions i com a independent la potencial. També hem forçat el pas de la funció per l'origen de coordenades, tot i que no tenim dades tan baixes (valor mínims de radiació potencial = $103 \cdot 10 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ i de radiació real = $71 \cdot 10 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) per poder demostrar-ho matemàticament. Intuïtivament, però, és fàcil pensar que quan la radiació real sigui nul·la també ho serà la potencial.

En un principi esperàvem que la relació entre aquestes dues variables no fos constant i que anés canviant al llarg de l'any en funció de la composició atmosfèrica predominant. Ara bé, ha estat una sorpresa que la regressió no s'ajustés a una corba sinó a una recta. És més, no només s'ajusta a una recta sinó que l'ajust és excel·lent. Aquest fet s'ha repetit per a totes les estacions que tenim (vegeu Ninyerola, 1997). En altres paraules, si bé la quantitat absoluta de radiació solar que travessa l'atmosfera varia al llarg de l'any

en funció bàsicament de la posició relativa Terra-Sol, la quantitat relativa de radiació que realment travessa la atmosfera es manté constant per tot l'any per a un determinat punt.

Aquest fet té diverses implicacions. D'una banda ens fa decantar cap a l'elecció del corrector de tipus multiplicatiu / divisor ja que la relació entre aquestes dues variables és del tipus: $Y = aX + b$, on $X = \text{radiació potencial}$ i $Y = \text{radiació real}$. Si prenem $b=0$ (forcem el pas per l'origen de coordenades) i aïllem el pendent de la recta obtenim una expressió (Equació 3-5) que és perfectament comparable amb l'obtinguda en el cas del corrector multiplicatiu / divisor (Equació 3-3). El coeficient de regressió serà, doncs, el corrector que utilitzarem.

$$a = \frac{R_r}{R_p}$$

Equació 3-5. Expressió resultant d'aïllar el pendent de l'equació d'una recta on a les abscisses tenim la radiació potencial i a les ordenades la radiació real.

La segona conseqüència de tenir una relació lineal és que podem utilitzar un sol corrector per a tot l'any d'una forma òptima. Davant d'aquestes perspectives serà interessant, en futurs treballs, aprofundir en aquest tema com també ampliar la longitud de les sèries de les estacions meteorològiques.

Per escollir la longitud més adequada de les sèries, a l'hora de construir els mapes correctors, ens hem basat en els següents punts:

- Per sota de 4 anys les sèries són clarament curtes per poder minimitzar la variabilitat existent en les mesures de la radiació solar. Aquesta variabilitat està provocada fonamentalment per la nuvolositat.
- A partir de 4 comença a ser bona la longitud segons el Dr. Martín Vide (com. pers.) ja que la radiació solar és una de les variables climàtiques que és més constant.

- Entre les sèries de 4 i 5 anys hem trobat més adequat agafar les de 4 anys ja que el pas a 5 anys implicava la pèrdua de força estacions. La quantitat d'estacions és un paràmetre molt important ja que hem de fer una interpolació i, per tant, necessitem cobrir la major part del territori. Així doncs, hem escollit utilitzar les sèries de 4 anys de longitud perquè, a més de tenir una major quantitat d'estacions, és un període de temps suficientment adequat per als nostres objectius.

En resum, per obtenir la radiació solar real hem utilitzat estacions meteorològiques que tenen sèries de 4 o més anys. De les 63 estacions que disposem inicialment només 46 compleixen aquest requisit. També, però, hem provat el procés amb totes les estacions meteorològiques disponibles. El mapa de correctors obtingut amb totes les estacions veurem que pren importància a l'hora de modelitzar la precipitació.

La interpolació dels correctors ha estat realitzada amb el mòdul INTERPNT de MiraMon agafant l'opció que pondera la influència dels valors dels correctors en funció de la inversa de la distància al quadrat. És important destacar que si el procés d'interpolació és correcte, quan consultem les cel·les on estan ubicades les estacions meteorològiques obtindrem valors idèntics als correctors inicials d'aquestes estacions. Per tant, ja sigui sumant/restant o multiplicant/dividint per la radiació potencial obtindrem, en les cel·les corresponents a la ubicació de les estacions, els valors exactes de radiació solar mesurats a les estacions. En la resta de punts del territori trobarem valors de radiació solar real obtinguts a partir de valors de radiació solar potencial que consideren el relleu i corregits per valors interpolats (sense considerar el relleu) dels correctors de radiació. És a dir, d'una banda considerem el relleu mitjançant el model de radiació potencial però, d'altra banda, no tenim en compte com el relleu afecta la distribució de núvols al llarg del territori. Tot i així el model és molt més realista, especialment si hom vol fer estudis de vegetació, que els models on s'interpolava la radiació solar de les estacions sense considerar en cap moment el relleu.

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 4 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 diferents dels de l'estació de Manresa de l'ICAEN i, a més, aquests últims eren més coherents amb els valors pròxims.

4) Finalment les dades proporcionades pel Dr. Joaquim Coromines del Departament de Geografia de la UAB no ens han estat d'utilitat per aquest treball ja que tot i ser molt exhaustives pel que fa a la freqüència temporal no tenien una longitud excessiva i estaven ubicades en zones molt properes entre elles. Lògicament, pels nostres objectius necessitem estacions amb una longitud mínima de les seves sèries, és a dir representativa de la quantitat de núvols presents sobre el cel de la zona i una distribució espacial ampla que permeti cobrir la major part possible del territori estudiat perquè el procés d'interpolació sigui més acurat.

Qualitat de les dades

En general, podem dir que les estacions que actualment hi ha a Catalunya i les seues 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 3-5.

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

Equació 3-5. 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).

3.2.5. Comparació de metodologies

3.2.5.1. Interpolació dels correctors

Hem comparat els resultats obtinguts a partir de la utilització de dos interpoladors distints. A més de l'invers de la distància al quadrat hem aplicat el *kriging*. A diferència dels models per a l'Espanya peninsular, aquesta comparació ha estat feta per tots els mesos de l'any ja que el volum de dades i el temps de càlcul pel cas de Catalunya són molt inferiors. Gràcies a la validació del model mitjançant un test independent amb el 40% de les estacions (vegeu apartat 3.3) podem saber de forma objectiva quin interpolador ajusta millor els correctors.

3.2.5.2. Comparació del model de regressió amb altres interpoladors

Hem aplicat altres mètodes d'interpolació (invers de la distància al quadrat i *kriging*) per interpoliar els valors observats de les estacions meteorològiques. Aquests dos mètodes són els mateixos que hem utilitzat en la interpolació dels correctors però aplicats directament als valors observats. Novament la utilització d'un test independent amb el 40% de les estacions ens permetrà comparar els resultats entre aquests dos mètodes i el nostre.

3.2.5.3. Comparació del model de regressió amb el mètode clàssic de traçat manual d'isolínies

Finalment, hem comparat els nostres resultats finals amb els mapes de l'*Atlas climàtic de Catalunya* (Clavero *et al.*, 1996). El Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya s'avançà agradablement a la idea que portàvem de digitalitzar aquest Atlas. A més, la possibilitat d'obtenir aquesta informació gratuïta a través d'Internet (Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient, 2000) ens ha permès realitzar amb una comparació el màxim objectiva possible entre els nostres models i els d'isolínies de l'Atlas. La comparació s'ha fet per les dues variables comunes als dos treballs (temperatura mitjana i precipitació) mitjançant dos mètodes. La resolució temporal ha estat en tots els casos mensual i anual.

Primer mètode

Originalment, les dades de l'Atlas ens han arribat en format vectorial de polígons estructurats. El primer pas ha consistit, doncs, a convertir aquestes dades a un format ràster comparable amb els nostres models. Hem rasteritzat els polígons utilitzant el l'etiqueta amb què estan codificats. Posteriorment hem reclassificat les nostres imatges seguint el mateix patró. Aquests codis segueixen els intervals de la llegenda de la versió analògica l'Atlas. El que hem fet, per tant, ha estat adaptar el nostre model continu als models discrets d'isohietes i isoterms. El problema d'aquest mètode és que perdem informació al reclassificar, però l'avantatge és que podem comparar el territori sencer.

Com ara veurem, amb l'altre mètode això no ha estat possible ja que hem hagut de sacrificar força cel·les a fi d'evitar artefactes numèrics.

Segon mètode

En aquest cas hem convertit el model discret d'isolínies a un format continu. Hem elaborat un model digital per a cada les dues variables climàtiques a partir de la informació de les isolínies. Això ha estat possible de fer gràcies al mòdul ISOMDE. Aquest interpolador de línies ens permetrà obtenir la gradació de valors entre les distintes línies de contorn. Abans d'aplicar la interpolació hem hagut de modificar les dades originals. La primera modificació de les dades vectorials ha estat per substituir el codi de la base de dades principal pel valor real de les isolínies. Per fer-ho, s'ha realitzat un JOIN entre el tesaure i la base de dades principal. La segona modificació ha estat necessària a causa que aquestes isolínies queden tallades per les fronteres administratives que, a més, estan codificades amb un valor que no té res a veure amb les variables climàtiques. Ha estat necessari eliminar tant la frontera de Catalunya com la línia de costa per tal que l'interpolador no generés artefactes numèrics. Aquesta eliminació ha provocat que moltes isolínies quedessin sense tancar. Per evitar altre cop artefactes numèrics, hem aplicat l'opció més restrictiva del mòdul ISOMDE consistent a codificar sense valor (*NODATA*) aquelles cel·les en les quals no hi ha prou informació per interpolar amb bones garanties. D'aquesta manera hem treballat, segons la variable i l'època de l'any, amb aproximadament la meitat de cel·les de Catalunya. Ara bé, l'avantatge és que aquestes cel·les poden ser comparades amb els nostres models de forma més equitativa. Seguint en la mateixa línia de cercar les condicions de comparació més òptimes, hem limitat els nostres models (igual que hem fet per a l'Espanya peninsular a l'apartat 2.2.10) en les zones més elevades del país. Aquestes cel·les no s'han inclòs en la comparació.

L'últim pas ha consistit, per ambdós mètodes, a restar mitjançant àlgebra de mapes les parelles d'imatges homònimes per a cada variable i mes.

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 perturbacions 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 dóna 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.

3.3.4. Comparació amb altres mètodes d'interpolació

A la taula 3-9 hi ha el resultat de la comparació entre els models obtinguts a partir d'invers de la distància al quadrat (ID2) i *kriging* (KR) i el model de regressió múltiple corregit (IRM). En aquest últim cas, lògicament, donem els valors de R^2_c .

Els resultats, en línies generals, són coincidents amb els obtinguts pel models de l'Espanya peninsular. Observem que la temperatura presenta valors mitjans dels coeficients de determinació més alts en el cas de IRM (0.86) que en els altres dos mètodes: KR (0.57) i ID2 (0.55).

En la interpolació de la precipitació, en canvi, els resultats són similars entre els distints mètodes, tot i que lleugerament millors utilitzant IRM. Cal tenir en compte que per Catalunya estem utilitzant els models reals corregits amb *kriging* quan donen resultats millors. Així doncs, tenim valors de 0.77 per IRM i de 0.73 per KR i ID2. També observem que els resultats de ID2 no són més dolents tot i ser una tècnica d'interpolació més simple.

3.3.5. Comparació amb el mètode clàssic de traçat manual d'isolínies

En els resultats de les taules 3-10 i 3-11 s'observen dues tendències importants i esperades en les diferències entre el model de regressió múltiple (IRM) i el d'isolínies (MI):

- existeixen més diferències en les zones de muntanya que en les zones planes

- existeixen més diferències en els models de precipitació que en les de temperatura

3.3.5.1. Temperatura de les mitjanes

La taula 3-10 ens mostra la comparació dels models IRM i MI. L'aproximació per interpolació ens dona diferències entre ambdós models que oscil·len entre els 0.06°C de juliol i els -0.42°C d'abril. La mitjana de totes les desviacions estàndard de les diferències (incloent l'anyal) és de 0.84°C. Els valors extrems els trobem al mes de juny (-8°C) i a l'anyal (4°C). L'hivern és el període en què les prediccions s'assemblen més pel que fa a la desviació estàndard però en general, les diferències són mantenen força uniformes durant tot l'any. Els resultats són lleugerament més alts en el MI que en el IRM, possiblement pel mateix motiu que pel cas de la precipitació, però amb l'altitud actuant de forma inversa.

Amb el model reclassificat passa el mateix que per la precipitació (com tot seguit veurem): es confirmen les tendències observades amb el mètode d'interpolació però amb resultats lleugerament més alts.

3.3.5.2. Precipitació

La taula 3-11 expressa les diferències entre el IRM i MI pel cas de la comparació per interpolació. Veiem que els mesos més similars són al període abril – agost mentre que el final de la tardor i l'inici del hivern són períodes que presenten més diferències. La desviació estàndard de les diferències oscil·la entre 7 mm i 9 mm excepte al mes febrer (5 mm) i a l'octubre (11 mm). La major diferència negativa (valors més alts a MI) la trobem al desembre (-60 mm) i la major diferència positiva (valors més alts a IRM) la trobem al maig (56 mm). Pel cas de l'anyal observem que les diferències extremes són de -306 i 416 mm. En general el IRM prediu valors més elevats que el MI, tot i que no de forma contundent. Això és a causa de què en les zones més altes el model IRM prediu valors més elevats que el MI. La taula 3-12 mostra la relació entre les diferències

3. Modelització climàtica a Catalunya

dels dos models i l'altitud i ens corrobora numèricament el que visualment s'observa (làmina 3-3).

En el cas de la comparació per reclassificació del IRM les tendències són fonamentalment les mateixes que en el cas anterior, però les diferències són més accentuades (desviacions estàndard entre 11-18 mm, rangs extrems entre -110 i 90 mm pels valors mensuals i entre -350 i 400 mm pels anuals). Cal pensar, però, que en aquest cas no s'ha limitat el model i es consideren més cel·les en les anàlisis.

CAPÍTOL 4

MODELITZACIÓ DE LA DISTRIBUCIÓ POTENCIAL DE LES ESPÈCIES VEGETALS A L'ESPANYA PENINSULAR

4. Modelització de la distribució potencial de les espècies vegetals a l'Espanya peninsular

4.1. Àrea d'estudi

Pel cas de la vegetació hem treballat amb les dades del IFN-2 a nivell de quasi tot el territori espanyol. Diem “quasi tot” a causa de la manca de dades de les províncies de Navarra i Múrcia. El mateix problema vam tenir inicialment amb la província d'Astúries, però afortunadament aquest territori ja ha estat mostrejat durant la campanya del tercer Inventario Nacional Forestal (IFN-3) i aquestes dades ens foren cedides amb la mateixa amabilitat que les del IFN-2 per part de la Dirección General de Conservación de la Naturaleza (Servicio de Inventario Forestal) del Ministerio de Medio Ambiente d'Espanya. Pel que fa a Navarra i Múrcia, probablement ja han estat mostrejades o poc els falta i ben aviat es podrien utilitzar per completar el treball. A nivell de Portugal, la situació és més agreujant que el que succeeix amb les dades climàtiques ja que pràcticament no tenim dades de vegetació de qualitat. Per tant, si bé l'àmbit geogràfic és el mateix que el dels models climàtics, ens quedaran 3 entitats administratives sense treballar. Els territoris insulars, malgrat tenir les dades de vegetació, també s'han deixat per a posteriors treballs a causa que no s'han desenvolupat els respectius models climàtics. De totes maneres la manca de dades d'aquest indrets no ha impedit propagar els resultats obtinguts a partir de les dades de la resta del territori. En molts casos la mostra probablement és suficient per donar garanties dels resultats en les zones extrapolades.

4.1.1. Aspectes biogeogràfics i botànics rellevants de la Península Ibèrica

La Península Ibèrica està ubicada dins el que hom defineix com a regne holàrtic. Existeixen diverses classificacions biogeogràfiques dins d'aquest regne, però destacarem les dues propostes més acceptades a nivell peninsular: Rivas-Martínez (1987) i Bolòs *et al.* (1990). En el primer cas es reconeixen dues de les grans regions biogeogràfiques europees: l'eurosiberiana i la mediterrània. En el segon cas, a més d'aquestes dues regions, es reconeix la bòreo-alpina. Aquesta separació entre les grans regions està basada en les sèries de vegetació i en els índexs ombroclimàtics. Per més detalls sobre les divisions de jerarquia inferior (províncies i sectors) consultar les dues obres esmentades.

A causa que clima i vegetació són aspectes força correlacionats espacialment, la flora existent també conté elements corològics típics d'aquests indrets que aporten les seves influències fins la nostra península. A tots els ingredients climàtics, citats a l'apartat 2.1.1, cal afegir els aspectes litològics i edafològics que també presenten patrons de distribució espacial amb molta variabilitat a la Península Ibèrica (Solé Sabarís *et al.*, 1952). Malgrat que, segons el mateix autor, en indrets amb abundants precipitacions aquests factors no afecten tant a la vegetació. Aquesta diversitat climàtica i edàfica és la causant de l'existència de una flora riquíssima des del punt de vista de la diversitat. La ubicació geogràfica de la Península Ibèrica no només genera unes condicions climàtiques particulars sinó que espacialment facilita les vies de penetració de tàxons tant eurosiberians com subtropicals i africans.

L'acció antròpica (agricultura, explotació forestal i urbanisme) és un altre factor que influeix la distribució actual de la vegetació. Aquest fet cal tenir-lo molt en compte a l'hora d'elaborar un model de distribució potencial com el nostre ja que la informació corològica de la que partim reflecteix les modificacions causades per l'home. Tenint en compte això, podríem parlar d'un model de distribució mixt. És a dir, d'una banda el model és potencial en el sentit que proposem ubicacions possibles de la vegetació on actualment no hi és present, però d'altra banda, el model és real en el sentit que no

utilitzem informació de com era la vegetació antigament sinó que partim de la distribució actual. En certs indrets (sobretot en zones planes) on les característiques del terreny són òptimes per a l'agricultura, la vegetació potencial ha estat sistemàticament talada. Aquestes modificacions provocades per l'home, com ja hem comentat, són factors que provoquen que el model no reculli tota la variabilitat espacial que la vegetació potencial podria arribar a tenir. En mancar en ubicacions amb un determinat conjunt de paràmetres físics, la predicció no recollirà zones amb idèntiques característiques tot i que potencialment és molt probable que hi pogués viure.

A l'apèndix D exposem un llistat de les principals formacions presents a la Península Ibèrica seguint la nomenclatura exposada a Blanco *et al.* (1997). Relacionarem les formacions amb les espècies principals i donarem dades de les abundàncies, bé extretes dels mapes de Rivas, bé de les dades del IFN-2. D'aquesta manera, el lector podrà tenir un esquema sintètic del paisatge ibèric. D'altra banda, ens basarem en aquest llistat per mostrar les espècies escollides per al nostre estudi. Cal tenir molt present que la naturalesa de la informació existent a la base de dades del IFN-2 no ens permet treballar des del punt de vista de les associacions vegetals (mètode fitosociològic) o de les formacions vegetals ja que únicament tenim informació de la presència o absència de cada espècie.

Malauradament no existeixen gaires síntesis cartogràfiques sobre la distribució de la vegetació a nivell de tota la Península Ibèrica. Com a principals treballs trobem els *Mapas de cultivos y aprovechamientos* 1:50000 (Ministerio de Agricultura, 1978), el *Mapa de series de vegetación de España* 1:400000 (Rivas-Martínez, 1987) i el *Mapa forestal de España* 1:400000 (Ceballos, 1966). Actualment l'Inventario Nacional de Habitats (1992) i els mapes de Ruiz de la Torre permetran incrementar el coneixement de la vegetació actual del país tot i que encara estan en procés. A nivell més local sí que existeixen diverses cartografies, però molt disperses i difícils de unificar a causa de la distinta metodologia i escala usades. Llibres generals com els de Blanco *et al.* (1997) o Peinado i Rivas-Martínez (1987) són excel·lents síntesis peninsulars on, a més, s'hi pot trobar una extensa bibliografia de la cartografia publicada al país.

A nivell d'altres àmbits geogràfics, volem destacar l'atlas nordamericà de Thompson *et al.* (1998) on es relacionen les principals espècies arbòries i arbustives de Nord Amèrica amb paràmetres climàtics. Aquest treball utilitza models climàtics per a caracteritzar la vegetació i és, per tant, un treball similar al nostre, tot i que a una escala més general i amb una base climàtica més simple.

4.2. Material i mètodes

4.2.1. Elecció de la metodologia

Per desenvolupar els models de distribució potencial de les distintes espècies hem optat per aplicar una metodologia que a partir dels marges de tolerància de cada espècie per cada variable geoclimàtica ens defineixi una superfície de potencialitat. Hem deixat per més endavant l'aplicació i comparació amb altres mètodes com poden ser els basats en la regressió logística o en tècniques habitualment emprades en la classificació d'imatges provinents dels satèl·lits. Hem realitzat algunes proves en aquesta última direcció, tot i que com s'explicarà més endavant, caldrà esperar per refinar el procés.

La metodologia escollida, d'una banda s'adiu molt bé al tipus de dades que tenim i, d'altra banda, ens aporta una informació addicional molt interessant: la caracterització numèrica i objectiva dels marges de tolerància de les principals espècies peninsulars.

4.2.2. Les dades corològiques

Per tal de poder realitzar una anàlisi de la vegetació com el que proposem, necessitem prèviament tenir informació cartogràfica digital tant de la corologia de les espècies vegetals com dels paràmetres geoclimàtics que modulen la seva distribució.

4.2.2.1. Elecció i descripció de les dades originals

De la informació a nivell de l'estat espanyol existent inicialment havíem pensat a utilitzar el *Mapa de series de vegetación de España* com a única font d'informació. La seva digitalització es veié factible de dur a terme en un temps raonable (són 30 fulls per tota Espanya, 26 si excloem els territoris insulars) però el problema és que són mapes de distribució potencial i, per tant, amb informació climàtica ja implícita. A l'apartat 4.2.6.1 es comenten amb més detall aquests aspectes i s'explica l'ús que finalment hem fet dels mapes digitalitzats de Rivas-Martínez. També vam descartar l'opció de les imatges obtingudes via satèl·lit tant per motius econòmics (elevat cost) com per la necessitat de treballar amb un nivell de discriminació dels tipus de vegetació major que el que es pot aconseguir actualment amb els sensors comercials.

LES DADES DEL SEGUNDO INVENTARIO FORESTAL NACIONAL

La possibilitat d'utilitzar les dades del IFN-2 ens obrí nous camins. Les dades del IFN-2 són de vegetació actual i això ens permet desenvolupar els models de distribució potencial ja que aquestes dades no porten implícit cap model ni assumpció prèvia. Simplement són el que s'ha observat en el camp. Cal pensar, però, que aquestes dades tenen en compte tant la vegetació natural com les reforestacions i repoblacions i no consideren la manca de determinades espècies en ubicacions potencialment propícies a causa de l'eliminació que ha comportat fonamentalment l'acció antròpica. Aquest fet pot provocar que no detectem tot el rang potencial possible de les espècies ja que, com hem explicat, un tipus de vegetació podria haver estat eliminat de tots els indrets amb unes característiques geoclimàtiques determinades i, per tant, seria impossible amb el nostre model de predir la seva potencialitat. En altres paraules, obtenim un model que prediu per un determinat punt de l'espai cartogràfic quina espècie pot ser-hi present en funció del que actualment hi ha, sense considerar si ha estat afavorida o desafavorida per l'home. De fet, aquest problema també el devia trobar Rivas-Martínez en fer els seus mapes ja que la vegetació ha estat manipulada des de molt antic. La metodologia emprada per aquest autor condueix a pal·liar aquest fet. Els models de Rivas-Martínez estan basats en el coneixement *in situ* del territori i de les sèries de vegetació. Amb aquests elements determina per a cada tessel·la quina és la vegetació climàtica i, per

tant, no depèn tant de la vegetació actual. En el nostre cas ni la informació de que disposem, ni el coneixement del territori ni els objectius del treball ens porten a filtrar aquests casos.

En aquest punt és interessant que distingim entre els dos papers que juga l'espècie humana. D'una banda, en la caracterització paramètrica de la vegetació actual incloem l'home com una interacció més entre els organismes no vegetals i les plantes. D'altra banda, en calcular els models de potencialitat entenem l'espècie humana com a gestora dels recursos naturals.

Les dades del IFN-2 són de tipus puntual (discretes en l'espai) ja que corresponen a les parcel·les mostrejades durant la campanya del IFN-2 (1986-1995). Ara bé, la densitat d'aquest mostreig és força elevada ja que les parcel·les estan ubicades a les cruïlles de la xarxa UTM de quilòmetre. Això fa que, tot i que la informació no sigui contínua en l'espai, pràcticament s'hi pugui considerar a escala peninsular. No totes les cruïlles, però, han estat mostrejades ja que es mirà prèviament, en gabinet, quines eren les cruïlles coincidents amb superfícies forestals. Aquesta decisió en gabinet fou presa a partir dels *Mapas de cultivos y aprovechamientos*. Cada una de les parcel·les porta associat un seguit de camps amb informació bàsicament d'interès forestal. Nosaltres hem treballat amb els camps que codificaven les set primeres espècies (en ordre d'abundància) observades a cada parcel·la. També s'ha utilitzat la informació referent a les espècies de matolls presents. Existeix informació de l'abundància relativa de les tres espècies més importants de cada parcel·la, fet que permet realitzar una aproximació mitjançant una anàlisi de regressió múltiple. En aquest treball, però, hem treballat únicament amb les dades de presència / absència de les espècies.

4.2.2.2. Elecció dels tàxons vegetals

De les espècies codificades pel IFN-2 (podeu consultar el llistat a Servicio de Inventario Forestal, 1993) n'hem exclòs diverses. Ens hem basat en diferents criteris tot i que el principal ha estat la reducció de la quantitat de dades. El gran volum d'informació manejada ha fet que ens centréssim en les més característiques del paisatge ibèric.

S'han escollit les espècies en funció de la seva importància paisatgística, biològica i forestal i s'han desestimat aquelles espècies que tenen una mostra molt baixa o bé que presenten menor interès paisatgístic per ser espècies al·lòctones. Hem exclòs espècies amb mostres molt baixes (*Carpinus betulus*, *Malus sylvestris*, *Taxus baccata*, etc.) com també d'altres que no ens han semblat tant interessants des d'un punt de vista fonamentalment botànic a nivell peninsular (*Larix* sp., *Cedrus* sp.). Hem inclòs, però, algunes espècies d'interès forestal perquè creiem que la metodologia emprada pot aportar millores en aquest camp (*Pinus radiata*).

També hem deixat de banda aquelles que només tenien un epítet genèric però que podien englobar espècies amb requeriments ecològics molt distints com és el cas de *Salix* sp. En canvi, hem inclòs *Fraxinus* sp. perquè ambdues espècies tenen un comportament similar. Un problema semblant es dona quan espècies amb requeriments distints tenen el mateix codi. Trobem codificades amb el mateix valor, per exemple, les següents parelles d'espècies: *Juniperus communis* - *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea* - *Juniperus sabina* i *Quercus pyrenaica* - *Quercus humilis*. La primera parella és difícil de destriar ja que existeix un fort solapament en la seva distribució. Pel que fa als altres dos casos, tal i com s'explica a l'apartat 4.2.2.4, hem intentat separar les seves distribucions en base a altres informacions. Un altra espècie que pot portar problemes és *Quercus ilex* ja que en el IFN-2 no es diferencia entre les dues subespècies reconegudes (*Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* i *Quercus ilex* subsp. *ilex*) i que tenen requeriments força distints. Tot i així, hem inclòs aquest tàxon (*Quercus ilex* s.l.) per ser un dels més importants dins el paisatge ibèric.

La majoria d'arbusts també han estat exclosos de l'estudi, tot i que hi ha moltes espècies que són força abundants i interessants. Un dels principals problemes és que la majoria dels epítets són genèrics (*Cistus*, *Erica*, etc). També és important tenir en compte que el IFN-3 proveirà de dades més fiables respecte els arbusts en el sentit que es discriminaran més tàxons que en el IFN-2 estan agrupats a nivell genèric. Pel que fa als arbusts treballarem amb *Quercus coccifera*, *Calluna vulgaris*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Buxus sempervirens* i *Rhamnus alaternus*, presentant també aquests dos últims port arbori.

4.2.2.3. Filtratge i processament de les dades

Fonamentalment, la feina ha consistit a preparar la base de dades original per ser incorporada en el nostre SIG. Hem obtingut un fitxer vectorial estructurat de tipus punt. S'han reprojectat tots els punts de les parcel·les (inicialment projectats en el fus UTM corresponent) al fus UTM-30N i s'han unit totes les dades (inicialment fraccionades per províncies) en un únic fitxer. Això ens permet representar gràficament la informació i poder realitzar consultes a nivell de tot el territori. D'aquesta manera ha estat relativament senzill l'obtenció de mapes de distribució per a cada una de les espècies mitjançant la selecció per consultes d'atributs de la base de dades associada.

4.2.2.4. Qualitat de les dades

Hem comparat visualment els mapes de distribució actuals obtinguts a partir de les dades del IFN-2 (plotejat de les parcel·les) amb la bibliografia i cartografia existent (mapes de Ceballos i Rivas-Martínez bàsicament). Per a la majoria d'espècies no hem trobat cap error de gruix però si algun petit problema, si més no a Catalunya. Existeixen moltes parcel·les de *Quercus robur* dins de Catalunya en indrets on es sap de ben cert que no existeix aquesta espècie. També hem trobat parcel·les de *Juniperus thurifera* dins del territori català, en indrets on clarament mai hi ha estat citada.

El cas de *Quercus pyreniaca* i *Quercus humilis* és distint ja que el problema és que han estat codificats de la mateixa manera. Hem optat per a separar aquestes dues espècies en base a la informació existent al *Mapa de series de vegetación de España*. Així doncs, hem pres tota la franja pirenenca i Catalunya (excepte les muntanyes de Prades) com a *Quercus humilis* i la resta com a *Quercus pyrenaica*. Hi ha una zona conflictiva a la zona del País Basc i Burgos que segons Rivas-Martínez no cau sota el domini de cap de les dues espècies. Hem sigut conservadors i ho hem deixat com *Quercus pyrenaica*. El mateix cas ens hem trobat per *Juniperus phoenicea* i *Juniperus sabina*. Aquesta última espècie només es troba a l'alta muntanya mediterrània i, per tant, ha estat fàcil de separar-la de *Juniperus phoenicea*. Tot i així, caldrà ser prudent a l'hora de valorar els resultats per aquestes quatre espècies.

Val a dir que Catalunya, pel simple fet que la coneixem millor, ha estat vista amb ulls més crítics i, per tant, és on s'hi ha detectat més errors. Tot i així, per la resta del territori hem comprovat que no hi haguessin errades importants.

4.2.3. Les dades geoclimàtiques

Els models climàtics que hem desenvolupat i plasmat en mapes digitals configuren el gruix de la informació utilitzada, però caldrà seleccionar quines són les variables més importants, com també afegir informació no climàtica.

4.2.3.1. Elecció de les variables susceptibles d'influenciar les espècies vegetals

L'extrema complexitat existent en les relacions entre els éssers vius i els factors abiòtics és prou coneguda i sintetitzada de forma clara a Lacoste i Salanon (1973). Els factors edàfics afecten els éssers vius i els factors climàtics (albedo i retenció de l'aigua); els factors topogràfics afecten els factors edàfics (processos d'edafogènesi) i els climàtics (quantitat i qualitat de la radiació, temperatura, humitat de l'aire, etc.) i els factors climàtics afecten directament els éssers vius (elements climàtics) i viceversa (retenció aigua, ombra, barreres de vent, absorció de radiació). Sense ser exhaustiu, aquest llistat ens mostra la dificultat existent per a establir relacions adequades entre aquests paràmetres.

Austin (1987), Sowell (1985) i Stephenson (1990), entre d'altres, han estudiat i hipotetitzat que la distribució de les espècies (i d'altres paràmetres ecològics) està fortament modelada pel clima. Huntley *et al.* (1995) sosté que la distribució de plantes superiors a escala continental ve determinada per aspectes macroclimàtics.

La investigació de les relacions entre els paràmetres geoclimàtics i la vegetació ha estat força intensa ja que, com Prentice *et al.* (1992) assenyala, la relació entre els patrons

geogràfics i la vegetació és la base per a la construcció de molts esquemes de classificació empírics que s'han usat per predir els tipus de vegetació fisiognòmica.

També existeixen estudis en el camp de la paleopalinologia que evidencien les relacions existents entre els canvis climàtics i les espècies vegetals. Tenim el cas de Yll *et al.* (1997) que observen una vegetació mesòfila (*Buxus balearica* i *Corylus avellana*) dominant a la illa de Menorca que es substituïda per una vegetació esclerofíl·la (*Olea europaea*) abans que s'iniciés l'activitat humana sobre la vegetació. En la mateixa línia, Riera (1994) aporta dades políniques corresponents a la presència de fagedes i rouredes a la zona de Cubelles (situada al litoral català al sud de Barcelona). A Follieri *et al.* (1996) hi ha una revisió exhaustiva a nivell de la Península Ibèrica dels canvis produïts pel clima sobre la vegetació.

D'acord amb Lieth (1988), és de coneixement general la interdependència entre la vegetació i el clima, ja que s'han utilitzat aspectes estructurals de la vegetació per a delimitar tipus de clima (Köppen, 1931) i viceversa (Walter i Box, 1976). Fitogeògrafs com Holdridge (1947) i Walter (1979) també han desenvolupat models per relacionar aspectes fisiognòmics de la vegetació amb el clima. A Melillo *et al.* (1990) hi ha un exhaustiu repàs de com afecta el clima a la vegetació, sobretot pel que fa a la humitat i la temperatura. També a Lieth (1988) hi ha un llistat de variables climàtiques importants per a l'estructura, funcionament i composició de la vegetació.

A nivell topogràfic, la més clara constatació és la relació existent entre altitud i vegetació establerta aproximadament en la disminució d'1°C per cada 200 m d'ascensió (Solé Sabarís *et al.*, 1952). Lògicament, aquesta relació és variable en funció de l'espai i del temps. Aquesta constatació també la podem trobar expressada en una de les lleis fonamentals de la geobotànica: les espècies eurosiberianes compensen el seu descens latitudinal amb un ascens altitudinal.

Hem seleccionat algunes variables bioclimàtiques o, més exactament, biofísiques que poden tenir influència en el control de la distribució de la vegetació. Existeixen un conjunt de paràmetres geoclimàtics d'interès fitoclimàtic utilitzats en els climodiagrames de Gaussen-Bagnouls i de Walter-Lieth. D'aquests, estem en disposició d'utilitzar els següents: precipitació anual, precipitacions estivals mínimes, temperatura

mitjana anual, temperatura mitjana del mes més càlid, temperatura mitjana del mes més fred, temperatura mitjana de les màximes del mes més càlid, temperatura mitjana de les mínimes del mes més fred i l'altitud. Dels que no tenim informació són de les temperatures absolutes de les màximes i de les mínimes i dels intervals de gelada segura.

La temperatura mitjana de les mínimes del mes més fred ha estat utilitzada també per diversos autors com es el cas de Prentice *et al.* (1992) i Rivas-Martínez (1981, 1982) i molt citada a la literatura com una de les variables bioclimàtiques més discriminants per determinar la distribució de les espècies vegetals. A Rivas-Martínez (1983) és cita Quezel, Emberger i Ozenda d'entre altres autors com a exponents d'aquesta idea, i Woodward (1987) també estableix una clara relació entre la temperatura mitjana de les mínimes i la fisiologia de les plantes.

Segons Allué Andrade (1990) els elements més importants i limitants per a la vegetació són: temperatura mitjana de les mínimes hivernals, temperatura estival i règim estacional de precipitació. En canvi, no considera variables importants en aquest sentit les temperatures estivals baixes o l'excés de precipitació.

Un paràmetre possiblement més interessant que la precipitació seria el de l'evapotranspiració, ja que és més informatiu per al coneixement de la distribució de la vegetació. Pensem que amb la informació climàtica desenvolupada es podran realitzar bons models predictius d'evapotranspiració que poden ajudar a millorar la comprensió de la distribució de la vegetació. El problema principal de l'evapotranspiració és la manca de dades de les estacions meteorològiques per a poder calibrar el model que s'apliqui. Segons Stephenson (1990) l'evaporació actual i el dèficit hídric són variables molt més importants per a correlacionar la vegetació amb el clima que d'altres variables tradicionalment més usades. El problema, però, és que aquestes variables són més difícils de modelitzar. La idea d'usar variables on els conceptes d'energia i aigua, fonamentals per les plantes, es fusionen és força extensa. Com ja hem comentat, un dels múltiples projectes futurs serà el d'intentar modelitzar l'evapotranspiració. Tot i així, tal i com exposa, Allué Andrade (1966), l'evapotranspiració potencial (ETP) ha estat mal mesurada ja que hi ha molts sistemes de mesura que donen resultats molt distints i, per

tant, les dades empíriques de partida no són gaire bones. En aquestes condicions pot ser difícil de realitzar una bona modelització d'aquesta variable. Thompson *et al.* (1998) apliquen un índex d'humitat basat en el quocient entre l'evapotranspiració actual i el potencial basat en estudis de Thornthwaite i Mather i de Willmott *et al.* (1985).

Hi ha aspectes climàtics relacionats amb l'estat físic de l'aigua que també serien importants, però dels quals no disposem informació, com són les boires d'inversió, les gelades o les nevades. També es pot realitzar alguna prova en el sentit d'utilitzar un model de radiació solar calculat per a una longitud d'ona llarga i un model calculat per una longitud d'ona curta. Això és força fàcil de fer amb les eines de què disposem ja que només caldria introduir uns valors de S_0 (constant solar exoatmosfèrica) i de τ_0 (densitat òptica atmosfèrica) apropiats per una determinada regió espectral i no per a tot l'espectre electromagnètic.

Tot i així, és molt possible que s'hagi d'aprofundir més en l'estudi de les variables geoclimàtiques que poden tenir efecte sobre les plantes, és a dir, buscar una base més fisiològica. Un exemple el trobem en els graus-dia (*growing degree days* o GDD) usats per Newman (1980), Sykes *et al.* (1996) i d'altres autors, però no tenim informació diària per a construir aquests models a l'escala i resolució en què treballem. Sovint els models que apliquen aquests factors actuen a unes resolucions força més baixes que la nostra. Segons Prentice *et al.* (1992), un dels precursors de la incorporació d'usar variables ambientals amb base fisiològica per a realitzar els models predictius ha estat Woodward.

Malgrat que, probablement, els paràmetres més extrems siguin més influents sobre la vegetació, cal no oblidar l'acció continuada del clima (Bellot, 1978). Així doncs, és interessant tenir en compte les variables de tipus anual.

Martínez (pàgina web visitada el 15-01-2000) utilitza l'altitud, la concavitat-convexitat, el pendent, la insolació i la litologia però obvia els aspectes climàtics. D'una banda considera la temperatura mitjana excessivament correlacionada amb l'altitud i de l'altra banda considera que a Astúries la precipitació no és tan important com en altres indrets. En canvi, Solé Sabarís *et al.* (1952) apunten que el sol és poc influent quan la climatologia és benigna però que sí que actua com a element diversificador en

condicions climàtiques menys favorables per a la vegetació. D'altra banda, cal considerar el sòl no només en relació al pH sinó també com element capaç d'atenuar o d'incrementar els efectes de la climatologia. Un sòl calcari o, sobretot, arenós en un clima plujós, afavorirà aquelles espècies més sensibles a l'excés d'aigua en el sòl (IGN 1991b).

Solé Sabarís *et al.* (1952) parlen de quatre factors dels paisatge vegetal que són clima, sòl, relleu i home. En aquest treball introduïm fonamentalment la influència de tres d'ells: clima i relleu i home ja que l'acció humana també ha estat indirectament modelitzada pel fet de treballar amb dades de vegetació actual. Del sòl tenim informació digital del *Soil Map of European Communities* 1:1000000 (CEC, 1986) que, tot i ser a una escala molt general, podria aportar informació. També seria interessant obtenir informació de la litologia. Òbviament si no tenim en compte els aspectes edafològics només podem aplicar el model per a les espècies climatòfiles i haurem de deixar les espècies edafòfiles per més endavant. Per aplicar la edafologia una possibilitat seria utilitzar-la com a màscara però potser això seria massa dràstic. L'altre possibilitat seria aplicar una anàlisi de regressió logística amb perfils ponderats que ens permetria la inclusió de variables qualitatives.

4.2.3.2. Obtenció de les dades geoclimàtiques

Altitud

Hem utilitzat el mateix MDE que pels models climàtics.

Pendents

A partir d'aquest MDE i mitjançant el mòdul PENDENT de MiraMon hem calculat el pendent en graus mitjançant el traçat de 8 perfils.

Edafologia

Hem obtingut el *Soil Map of European Communities* 1:1000000 en format vectorial i després de retallar i projectar-lo convenientment a la nostra àrea d'estudi, l'hem rasteritzat.

Clima

A partir dels mapes climàtics mensuals hem calculat els mapes estacionals, entenent les estacions des d'un punt de vista climàtic (entenem per estiu els mesos de juny, juliol i agost) en lloc de còsmic (entenem per estiu del solstici d'estiu –21 de juny– fins l'equinocci de tardor –23 de setembre–). Aquest procés ha estat fet per a la precipitació (acumulada), la temperatura mitjana de les mínimes, mitjana i mitjana de les màximes i la radiació solar potencial (amitjanades).

També hem calculat una petita variant de la temperatura de les mínimes del mes més fred i de la temperatura de les màximes del mes més càlid. El càlcul tradicional en agafar un únic mes per representar els valors mínims o màxims és en realitat una simplificació d'una realitat més complexa. Poden existir cel·les que tinguin els valors de temperatura més baixos o més elevats de tot l'any repartides en diferents mesos. Per tant hem elaborat un mapa mitjançant la selecció de les cel·les més fredes o més càlides independentment del mes en què es donin. Aquesta operació s'ha realitzat amb una operació lògica d'àlgebra de mapes (MIN o MAX segons el cas).

Finalment, tindrem un total de 31 variables geoclimàtiques repartides com segueix:

- Topogràfiques: altitud i pendents
- Edafològiques: edafologia
- Climàtiques anuals: precipitació, temperatura mitjana de les mínimes, temperatura mitjana, temperatura mitjana de les màximes i radiació solar.
- Climàtiques estacionals: combinació de les quatre estacions vers les cinc variables climàtiques anuals.

- Climàtiques mensuals: només hem utilitzat la temperatura mitjana de les mínimes del mes més fred i de les màximes del mes més càlid. Cal tenir en compte, pel que hem explicat més amunt, que en cada un dels mapes la informació no prové del mateix mes sinó del que realment presenta el mínim o el màxim en cada cel·la.

4.2.4. Caracterització numèrica (quadre d'exigències)

A partir dels mapes de cada una de les espècies (vectors estructurats de tipus punt) hem extret els valors de les dades climàtiques que coincideixen amb les parcel·les del IFN-2 mitjançant el mòdul XY_DBF de MiraMon. El procés és exactament el mateix que l'utilitzat en els models climàtics per obtenir els valors de les variables independents en les cel·les on existeix una estació meteorològica. Tenim, doncs, la distribució de cada espècie vegetal respecte les variables geoclimàtiques abans esmentades.

A partir d'aquests resultats hem calculat diversos estadístics descriptius (mitjana, desviació estàndard, mínim i màxim, mediana, quartil baix, quartil alt, curtosi i *skewness*). La mediana i els quartils ens serviran per tenir una idea d'on s'acumula el gruix de la població i la curtosi i l'*skewness* ens donaran una idea de la normalitat de la funció. Aquest últims, però, són índexs sense significació estadística. Per a testar-los hem aplicat un mètode proposat per Sokal i Rohlf (1995). A més, com veurem, també presentem els tests de normalitat de Kolmogorov-Smirnov. És important testar la normalitat de la distribució perquè la idea és utilitzar les propietats intrínseques de la distribució de Gauss (Sokal i Rohlf, 1995) per obtenir mapes potencials considerant distintes amplituds dels rangs ecològics. Aquesta idea lliga amb el fet que els marges de tolerància (més amplis) i els marges òptims de vida (més estrets i que prenen importància quan existeix competència) són conceptes diferents.

Per tant, per poder aplicar el càlcul d'estadístics descriptius paramètrics és necessari veure si les distribucions de cada espècie vers cada variable geoclimàtica s'ajusten a una distribució normal. En cas afirmatiu, és factible de calcular els rangs d'amplitud basats en la mitjana i la desviació estàndard, i per tant, en un determinat percentatge de la població (parcel·les del IFN-2 en què hi ha present una determinada espècie) per

caracteritzar els rangs ecològics. Hem optat per elaborar els quadres d'exigències a partir de tres intervals distints:

1) Rang [mínim , màxim]

Si simplement prenem el valor mínim i el valor màxim de la distribució tenim el rang més ampli possible ja que ens basem en tota la mostra. Aquest interval és resistent a la manca de normalitat a diferència dels següents casos, però també és el menys conservador ja que si hi ha una única parcel·la ubicada en una determinada altitud, per exemple, es consideraran altres cel·les de la mateixa altitud amb la mateixa potencialitat. A més de ser resistent, és interessant estudiar des d'un punt de vista fitològic, els rangs extrems. Hem eliminat algunes parcel·les que corresponien a valors erronis (clarament separats dels extrems) ja que amb aquest mètode un valor dolent és molt més crític que en els següents casos.

2) $\mu \pm 2\sigma$ [$\mu - 2\sigma$, $\mu + 2\sigma$]

Si prenem dues desviacions estàndard considerarem el 95.45% de la mostra i, per tant, eliminarem les cues de la distribució.

3) $\mu \pm \sigma$ [$\mu - \sigma$, $\mu + \sigma$]

Finalment, si prenem una desviació estàndard considerarem el 68.27% de la mostra i, per tant, serem més restrictius a l'hora d'aplicar les potencialitats a la resta de cel·les del territori.

En cas que les distribucions no segueixin una normal hem aplicat, sovint amb èxit, una transformació logarítmica (Lanzante, 1996). Una altra solució aplicada per resoldre la manca de normalitat ha estat la de fer simètrica la distribució. Això és possible fer-ho quan el valor mínim o el màxim presenten les freqüències més elevades. És a dir, la distribució està truncada (a causa d'un factor geoclimàtic) i li falta una de les meitats naturals. El que fem és generar la part que manca simètricament a partir dels valors existents. D'aquesta manera podem calcular l'interval molt més acuradament per a la meitat original.

Tot i així, han quedat alguns casos en què no ha estat possible ajustar la distribució a una normal i, per tant, caldrà tractar amb cura aquest resultat.

L'única variable tractada de forma diferent ha estat l'edafologia per ser categòrica. En aquests cas només hem calculat la moda per a cada una de les espècies però aquesta informació de moment no ha estat utilitzada per elaborar els mapes de potencialitat.

Aquesta caracterització numèrica (quadre d'exigències) ha estat generada per a totes les variables i espècies però, com tot seguit veurem, no hem utilitzat tota la informació disponible per desenvolupar els models de distribució potencial, excepte en alguns casos concrets.

4.2.5. Cartografia derivada del model

Per elaborar els mapes de distribució potencial de les espècies hi ha tres possibilitats que anomenarem “mètode restringit”, “mètode exhaustiu” i “mètode híbrid”. El “mètode restringit” consisteix a seleccionar per a cada espècie les variables que més poden afectar-la. Per realitzar aquesta aproximació cal tenir molt bona informació de quins paràmetres són importants per a cada espècie i això no és possible per a la majoria de tàxons a causa de la manca d'informació disponible. Aquest mètode l'hem aplicat al cartografiat de *Quercus ilex*, *Quercus suber*, *Quercus faginea* i *Fagus sylvatica* utilitzant només 4 variables: MN-EX, MX-EX, PL-ES i PL-AN. El “mètode exhaustiu” és una aproximació oposada a l'anterior i, per tant, consistent en introduir totes les variables geoclimàtiques disponibles. En el nostre cas hem utilitzat totes 30 variables geoclimàtiques (excloent l'edafologia). Aquesta opció, a manca de bona informació, pot ser més objectiva que l'anterior. L'hem aplicat a la cartografia de *Quercus ilex* i *Fagus sylvatica*. Finalment tenim el “mètode híbrid” que es basa en una situació intermèdia entre les dues anteriors. És a dir, escollim un nombre restringit de variables que en general es coneix que afecten la vegetació però sense arribar a personalitzar els casos concrets. Així doncs, de les variables utilitzades per elaborar els quadres d'exigències, n'hem triat vuit per construir els models potencials de distribució:

- Temperatura mínima de les mitjanes de les mínimes de cada mes (MN-EX)

4. Modelització de la distribució potencial de les espècies vegetals a l'Espanya peninsular

- Temperatura màxima de les mitjanes de les màximes de cada mes (MX-EX)
- Temperatura mitjana anual (MT-AN)
- Radiació solar estival (RA-ES)
- Precipitació estival (PL-ES)
- Precipitació anual (PL-AN)
- Altitud (ALT)
- Pendent (PEN)

L'únic mètode que hem aplicat a totes les espècies escollides ha estat l'híbrid. Creiem que per ser un primera aproximació és un mètode prou bo. A més, amb els altres dos mètodes trobem alguns problemes: manca d'informació (mètode restringit) i excessiva complicació de la metodologia dins el marc d'aquesta memòria (mètode exhaustiu). De totes maneres és interessant veure la comparativa entre aquests mètodes (apartat 4.3) que pot aportar informació sobre quina aproximació és més interessant d'aplicar en cada cas.

El procediment de cartografiat consisteix a reclassificar els mapes de les variables geoclimàtiques que haguem escollit en funció del mètode que estiguem aplicant. Aquesta reclassificació té per objectiu l'obtenció d'una màscara booleana per a cada variable geoclimàtica. Així doncs, codifiquem amb valor 1 les cel·les que, segons el quadre d'exigències d'una espècie X, compleixen per un determinat interval i amb valor 0 les que no ho fan. Aquests màscares booleanes han estat creuades, per a cada espècie i interval, mitjançant el mòdul COMBICAP de MiraMon. El resultat final és un mapa de distribució potencial basat en un determinat percentatge de la població i unes determinades variables. La llegenda en termes absoluts es quantitativa ja que el que tenim és el nombre de coincidències que es donen en cada cel·la. La combinació de capes assigna a cada cel·la un valor basat en la combinatòria de 0 i 1 de les màscares utilitzades. El valor màxim (que variarà per cada mapa final en funció del nombre de combinacions existents) correspon a cel·les on es compleixen tots els requisits (sempre

hi ha valor 1 per a totes les variables geoclimàtiques usades), i així successivament fins arribar al valor mínim que codifica les cel·les en que no es compleix cap requisit. Cal fer notar que la llegenda és un índex, però que ens mostra la idoneïtat basada en el nombre de coincidències i per tant de condicions favorables per aquella espècie.

Finalment podem unir tota la informació existent per acabar obtenint per a cada cel·la del territori estudiat la potencialitat que presenta respecte de totes les espècies.

4.2.6. Comparació amb altres metodologies

Existeixen altres possibilitats per construir un mapa de vegetació potencial a partir de les dades que tenim. Una de les metodologies podria ser la de realitzar una anàlisi de regressió múltiple on la variable dependent fos l'abundància relativa d'una determinada espècie i les variables independents fossin els diferents aspectes climàtics o geogràfics que es determinarien com a factors importants per a l'espècie en qüestió.

L'altra possibilitat seria fer un model de regressió logística similar al plantejat per Martínez (pàgina web visitada el 15-01-2000). El mètode de regressió logístic és molt robust a l'absència de normalitat i, per tant, interessant en determinats casos. La funció logística, en ser contínua i acotada entre 0 i 1 (Kleinbaum, 1992) és apropiada per a descriure probabilitats. Podem obtenir el que hom anomena mapa de superfície de probabilitat.

Una tercera opció es basa a realitzar una classificació supervisada utilitzant les tècniques habituals en teledetecció (Lillesand i Kiefer, 2000). Hem realitzat algunes proves en aquesta direcció tot i que caldrà millorar alguns aspectes.

En un futur proper, no descartem desenvolupar totes aquestes metodologies, seguint els paral·lelismes amb les comparacions dels distints mètodes d'interpolació utilitzats en la part climàtica. La bona base d'informació acumulada i elaborada durant aquest treball ens pot permetre implementar amb certa facilitat aquestes i d'altres metodologies.

Finalment, tenim les mètodes clàssics que realitzen una cartografia manual basada en el coneixement subjectiu. Per aquest motiu i seguint amb el paral·lelisme amb els models climàtics comparem els nostres models amb els obtinguts als *Mapes de series de vegetación de España* (Rivas-Martínez, 1987).

4.2.6.1. Mapa de series de vegetación de España

Hem digitalitzat els mapes de Rivas-Martínez amb dos objectius. D'una banda efectuar una caracterització numèrica (quadre d'exigències) com la que s'ha fet per les dades del IFN-2, i d'altra banda, comparar (de la mateixa manera que en el cas dels mapes climàtics, apartat 2.2.11.3) un model potencial objectiu en front a un model basat en el coneixement del territori però subjectiu a l'hora de traçar els límits de les distribucions. Ambdós aspectes s'han de tractar amb reserves. Cal pensar que el mapa de Rivas-Martínez ja porta implícita informació climàtica. La metodologia de traçat de les fronteres realitzada per aquest autor, i en general usada per obtenir els mapes tradicionals de potencialitat, utilitza les dades climàtiques per ajustar les distribucions de les espècies a partir del coneixement que es té del territori. Així doncs, els valors dels rangs ecològics que obtenim són els valors que Rivas-Martínez tenia al cap a l'hora de plasmar aquesta cartografia i, per tant no estan basats o, si més no, no totalment, en dades de vegetació actual. A més, el traçat dels límits pot veure's afectat pels problemes de precisió geomètrica de la cartografia manual. Tot i així, pensem que és interessant d'obtenir i expressar aquesta informació implícita en els seus mapes de forma quantitativa.

La digitalització

Tot i que en aquest treball no utilitzem les dades insulars, s'han digitalitzat tots els 30 mapes de la sèrie cartogràfica. La digitalització s'ha fet per fulls però prenent com a límit el tall cartogràfic 1:400000 oficial en comptes del tall cartogràfic dels mapes de vegetació. La digitalització s'ha fet en pantalla amb MiraMon, amb la qual cosa el nivell d'encaix geomètric és pràcticament perfecte respecte a l'original (errors menors a 0.2 mm per al 95% dels punts del mapa). Posteriorment hem mosaicat els vectors i

procedit a etiquetar els polígons i estructurar-los topològicament. La informació associada als polígons consta d'una base de dades principal on fonamentalment hi figuren els atributs geogràfics dels polígons i un codi basat en la nomenclatura que aquest autor utilitza per a codificar les distintes sèries de vegetació. En els tesaures hi trobem la següent informació: regions biogeogràfiques, estatges altitudinals, sèries de vegetació (nom popular i científic), vegetació potencial, espècies dominants i espècies indicadores. Aquesta estructura ens permet extreure informació diversa de la memòria i dels *Mapes de series de vegetación de España* mitjançant simples consultes per atribut.

El quadre d'exigències

La metodologia per a realitzar la caracterització numèrica de la informació continguda en els mapes de Rivas-Martínez és en essència la mateixa que la descrita més amunt per a les dades del IFN-2 (apartat 4.2.4). La diferència descansa en el fet que, en aquest cas, les dades de vegetació estan expressades mitjançant un sistema de representació vectorial de polígons en comptes de punts i, per tant, no podem usar el mòdul XY_DBF per extreure els valors de les dades climàtiques. Per poder generar els quadres d'exigència d'aquestes dades hem creuat els polígons vectorials amb les capes ràster geoclimàtiques mitjançant el mòdul COMBICAP. Els resultats per a cada combinació ens donen els estadístics paramètrics necessaris.

De tota la informació disponible en el producte digitalitzat hem utilitzat, en aquest treball, la de les espècies dominants. L'elecció de treballar amb les dades d'espècies dominants ha estat per facilitar la comparació amb els models obtinguts a partir de les dades del IFN-2. Així doncs, hem extret del mapa original un mapa per a cada espècie dominant que figurés entre les escollides a partir de les dades del IFN-2. A l'apèndix D es pot veure el llistat de les espècies utilitzades.

Comparació amb els nostres models

Per a realitzar la comparació entre el model de distribució potencial proposat per Rivas-Martínez i el nostre hem rasteritzat aquests polígons i restat de les nostres imatges prèviament reclassificades binàriament: amb valor 1 les cel·les de índex màxim i amb valor 0 la resta. Cal tenir en compte que el criteri per obtenir aquests mapes és força

distint. També fem notar que la informació en el cas de Rivas-Martínez és binària (presència / absència) mentre que en el nostre cas és un índex d'idoneïtat amb distints nivells. Això significa que la comparació pot ser feta de distintes maneres ja que podem comparar els models basant-nos en l'índex màxim (per exemple 8 coincidències) o bé prenent els dos índexs majors (7 i 8 coincidències), etc. És a dir serà una comparació basada en una determinada idoneïtat.

4.2.6.2. Classificació bayessiana

Hem volgut començar a posar a punt aquesta metodologia que, si bé pot donar bons resultats en un futur, fins el moment no ha estat prou satisfactòria. El motiu principal és la manca d'un classificador que ens doni la probabilitat sense estandarditzar de la pertinença d'un punt del territori a una determinada àrea d'entrenament.

Les tècniques de classificació s'utilitzen tradicionalment per interpretar les imatges captades pels sensors remots. La classificació es basa en trobar una porció de l'espectre electromagnètic que caracteritzi cada un dels elements (signatura espectral de les àrees d'entrenament) que es volen distingir per poder assignar qualsevol punt del territori a una determinada àrea d'entrenament. Aquesta assignació es fa mitjançant la caracterització estadística de cada àrea d'entrenament. Hi ha diversos tipus de classificadors, però el que ens interessa aquí és destacar la diferència entre els classificadors durs i tous. Els classificadors durs assignen un determinat punt del territori a una classe o el desestimen. En canvi, els classificadors tous donen una rang de probabilitat de pertinença a una determinada classe.

Existeix una clara homologia en l'obtenció de mapes de potencialitat. En el nostre cas, les dades de vegetació actuen com a àrees d'entrenament i les variables geoclimàtiques com a les diferents bandes d'un sensor. Definim un espai estadístic per a cada espècie vegetal a partir de les variables geoclimàtiques que ens permet assignar una probabilitat de pertinença a un punt del territori en funció de la seva similitud. Aquest aspecte és molt interessant ja que ens permetria obtenir un mapa de probabilitats per a cada una de les espècies i per tant superar el tradicionals mapes de presència / absència.

S'ha elaborat un mapa d'àrees d'entrenament per a cada una de les espècies incloses en aquest treball mitjançant la rasterització de la base vectorial de punts del IFN-2.

Al llarg del procés d'elaboració del producte final ens hem trobat amb distints problemes lligats a la inèrcia d'utilitzar aquestes tècniques de classificació només per a imatges de satèl·lit. Un pas crític del procés ha estat l'elecció de les variables que havien d'actuar com a bandes ja que el mòdul `MAKESIG` d'`Idrisi32` (utilitzat per a calcular les signatures espectrals) està limitat a 7 bandes simultànies. El fet que els satèl·lits amb sensors òptics d'alta resolució espacial més comuns disposin com a màxim de 7 bandes, és probablement la causa que aquest mòdul no permeti usar-ne més, tot i que és una limitació força absurda si és té en compte la possibilitat de disposar d'imatges multitemporals. Al igual que a l'apartat 4.2.5, existeixen dos camins a seguir: usar totes les variables geoclimàtiques o bé seleccionar les variables que pressuposem més importants (en aquest cas amb una limitació de 7). Per realitzar la primera aproximació caldrà prèviament una reducció del nombre de variables mitjançant una anàlisi de components principals. L'ACP és una tècnica que permet transformar un conjunt de variables en un nou conjunt de components no correlacionats i ordenats en termes de la quantitat de variància original que expliquen (Legendre i Legendre, 1998). Finalment, però, hem escollit una opció híbrida. Les variables utilitzades han estat l'altitud (ALT), el pendent (PEN), la temperatura mitjana de les mínimes del mes més fred (MN-EX), la temperatura mitjana de les màximes del mes més càlid (MX-EX), la precipitació estival (PL-ES) i els resultats de l'anàlisi de components principals de la radiació solar i la temperatura mitjana anual.

A causa que els sensors òptics d'elevada resolució espacial donen imatges amb un DN entre 0 i 255, el mòdul `PCA` d'`Idrisi32` només està preparat per realitzar aquesta anàlisi sobre imatges *byte*. En canvi, la informació geoclimàtica s'ha d'emmagatzemar com a mínim amb un tipus de dada *integer* (valors entre -32768 i 32767). Per evitar el mòdul d'`Idrisi32` hem utilitzat un programa cedit pel Dr. Raimon Salvador que permet fer una ACP amb imatges *integer*.

Un cop calculades les signatures espectrals hem utilitzat el mòdul `BAYCLASS` d'`Idrisi32`. Aquest classificador està basat en el teorema de Bayes (Campbell, 1996) per assignar la

probabilitat de pertinença de cada punt del territori a una classe. El problema que tenim és que els valors de probabilitat s'estandarditzen en funció de totes les àrees d'entrenament i en el nostre cas voldríem obtenir la probabilitat per a cada una de les àrees d'entrenament per separat. Caldrà esperar per resoldre aquest problema.

De forma similar a la metodologia emprada en els models de distribució potencial basats en els rangs ecològics podem obtenir mapes d'una determinada probabilitat per reclassificació com també obtenir la probabilitat per a distintes espècies en una mateixa cel·la.

4.3. Resultats i discussió

Podem diferenciar els resultats obtinguts en dos components: un de descriptiu quantitatiu i un de cartogràfic. En el primer cas, els quadres d'exigències per a cada espècie i variable geoclimàtica es troben plasmats a la taula 4-1 (a partir de les dades del IFN-2) i a la taula 4-2 (a partir de les dades del *Mapa de series de vegetación de España*) i en el segon cas, els mapes de distribució potencial els trobem inclosos en les làmines 4-1 fins 4-36. La taula 4-3 ens mostra les principals preferències edàfiques de cada espècie vegetal. La figura 4-1 ens mostra els histogrames de freqüències d'algunes variables geoclimàtiques per a distintes espècies vegetals.

4.3.1. Quadres d'exigències

Analitzar aquesta informació a nivell de cada espècie i variable geoclimàtica pensem que és una tasca que va més enllà d'un treball de caire metodològic com aquest. Per ajudar a orientar i centrar les conclusions, el que sí que podem fer, són comparatives amb algunes de les informacions disponibles, tot i la prudència que cal tenir a causa de la manca d'informació per comparar amb equitat en alguns casos.

A la taula 4-4 comparem informació obtinguda al tractat de *Los bosques ibéricos* (Blanco *et al.*, 1997) amb els nostres quadres d'exigències. En aquest tractat la

informació està plasmada a nivell de formacions vegetals, però sovint es fa referència als requeriments ecològics de les espècies dominants. Aquest fet permet que la informació entre ambdues fonts sigui comparable.

A la taula 4-5 hi ha una comparació similar, però aquesta vegada, amb les dades del quadern *Clima y vegetación arbórea. Aplicaciones a la Península Ibérica* (Pita, 1968). En aquest cas les dades són referents a algunes de les principals espècies arbòries. Aquest autor aporta dades de la precipitació estival, la precipitació anual, la temperatura mitjana del mes més fred i la temperatura mitjana del mes més càlid. També dóna el rang òptim i els valors mínims i màxims i, per tant, podem comparar els diferents intervals que hem obtingut en els nostres models.

Finalment, a la taula 4-6 hi ha una comparativa entre els quadres d'exigències obtinguts a partir de les dades del IFN-2 i a partir de les dades de Rivas-Martínez per algunes de les espècies més importants. Ja hem comentat a l'apartat 4.2.6.1 que la filosofia de base ens ha de fer molt prudents a l'hora de comparar els resultats. Tot i així creiem que pot ser informatiu tenir una idea quantitativa de les diferències existents entre ambdós models.

4.3.2. Mapes de distribució potencial de les espècies vegetals

A l'igual que succeeix en els mapes climàtics, si bé les tendències generals són similars, el traçat de les fronteres és més interessant en el cas del nostre model ja que si més no aquestes són més complexes i, per tant, més realistes atès el comportament de la vegetació davant aquestes variables. A la làmina 4-37 mostrem visualment alguns exemples.

Si comparem visualment (làmina 4-38) per a una mateixa espècie vegetal els mapes obtinguts a partir dels diferents intervals considerats (una desviació estàndard, dues desviacions estàndard i valors [mínim , màxim]) veiem que la informació és molt enriquidora en tant que podem diferenciar geogràficament les àrees òptimes de les àrees de tolerància per a l'espècie considerada.

4. Modelització de la distribució potencial de les espècies vegetals a l'Espanya peninsular

També és interessant observar que existeixen diferències a l'hora d'aplicar diferents mètodes (restringit, exhaustiu i híbrid). En el cas del mètode exhaustiu és evident que l'àrea potencial es redueix considerablement. És a dir, hi ha menys cel·les que compleixin tots els requisits. Això indica que estem afinant més la distribució potencial ja que si les variables addicionalment introduïdes en el cas del mètode exhaustiu fossin redundants no veuríem una reducció tan forta de l'àrea de distribució potencial de les espècies. A les làmines 4-39 i 4-40 mostrem per a *Fagus sylvatica* i *Quercus ilex* les diferències en l'aplicació dels tres mètodes.

CAPÍTOL 5

MODELITZACIÓ DE LA DISTRIBUCIÓ POTENCIAL DE LES ESPÈCIES VEGETALS A CATALUNYA

5. Modelització de la distribució potencial de les espècies vegetals a Catalunya

A l'igual que en la part climatològica del treball, l'exposició de la metodologia ha estat centrada en l'aplicació a la Península Ibèrica. Només destacarem les particularitats a nivell de Catalunya quan s'escaigui. En aquest cas encara existeixen menys diferències entre la metodologia emprada en els dos àmbits geogràfics ja que els dos models de distribució potencial de la vegetació han estat desenvolupats cronològicament de forma paral·lela.

5.1. Àrea d'estudi

Existeixen dos motius que ens han portat a realitzar els càlculs per a Catalunya. D'una banda cal tenir en compte que el model climàtic utilitzat és distint del que obtindríem si fèssim una màscara de Catalunya a partir del model peninsular. Hem utilitzat els models elaborats a Ninyerola *et al.* (en premsa) i presentats al capítol 3 d'aquesta memòria.

5.1.1. Aspectes biogeogràfics i botànics rellevants de Catalunya

Catalunya presenta una gran diversitat biogeogràfica ja que hi trobem representades tant la regió mediterrània com la regió eurosiberiana com la bòreo-alpina. La primera domina el país, la segona està relegada a la muntanya mitjana i a la terra baixa només en indrets particularment humits i la tercera apareix a l'alta muntanya pirinenca i, escassament, als cims del Montseny. Aquesta combinació d'elements biogeogràfics en un territori relativament petit fa que el paisatge català sigui molt variat. És important destacar que de totes les espècies utilitzades a la Península Ibèrica només en manquen dues en aquest territori: *Abies pinsapo* (endèmic de la Sierra de Ronda) i *Juniperus thurifera* (que si bé es troba present molt a prop de la frontera catalanoaragonesa) no

arriba a penetrar dins de Catalunya. Tampoc hem realitzat els càlculs per als matolls *Calluna vulgaris*, *Quercus coccifera* i *Arctostaphylos uva-ursi*.

Pel que fa a les síntesis paisatgístiques de tot el territori succeeix que a la dècada de 1950-1960 abunden les anàlisis i descripcions locals, i no és fins als anys 80 quan s'inicien les veritables obres de síntesi. Bolòs (1980), Folch (1981) i Folch *et al.* (1984) són exemples de les obres geogràficament més àmplies mentre que en àmbits un xic més reduïts tenim les obres de Vigo (1976) a l'alta muntanya pirinenca i Bolòs (1976) al massís del Montseny, entre d'altres.

5.2. Material i mètodes

La única diferència que trobem respecte del model de la Península Ibèrica és el conjunt de parcel·les del IFN-2 utilitzat. Mitjançant una capa vectorial de la frontera de Catalunya obtinguda a partir de la base cartogràfica 1:250000 hem extret les parcel·les del IFN-2 ubicades dins d'aquests límits administratius. Lògicament, aquestes parcel·les han estat reprojectades al fus UTM 31N.

5.3. Resultats i discussió

En aquest apartat ens limitem a exposar els quadres d'exigències (taula 5-1) i a mostrar alguns dels mapes de les espècies més representatives (làmines de 5-1 fins a 5-5) ja que les consideracions realitzades a l'apartat 4.3 també són vàlides pel cas de Catalunya.

CAPÍTOL 6

CONCLUSIONS GENERALS

6. Conclusions generals

6.1. Climatologia

Dels resultats obtinguts es desprèn que és possible obtenir mapes acurats i objectius de temperatura i precipitació integrant aspectes d'interpolació estadística (basada en l'anàlisi de regressió múltiple) i interpolació d'anomalies a través de tècniques SIG. Amb les eines actuals (tant a nivell de *software* com de *hardware*) és factible d'obtenir un model cartografiat amb una resolució de 200 m (una escala de treball força acurada) i aplicat a l'Espanya peninsular (un àmbit geogràfic força ampli). Creiem que actualment és la cartografia climàtica digital més detallada que existeix en aquest àmbit tant pel que fa a la resolució espacial com a la quantitat de variables modelitzades (temperatura mitjana de les mínimes, temperatura mitjana, temperatura mitjana de les màximes i precipitació). Cal no oblidar els mapes de radiació solar potencials obtinguts per a tota la Península Ibèrica i que han estat generats a partir d'un model totalment computacional basat en el relleu.

Els mapes digitals obtinguts en cartografiar el model poden ser renovats de forma automàtica amb noves dades meteorològiques i són fàcilment consultables amb un entorn SIG per tal de ser aplicades a estudis de caire ben divers (botànica, ecologia, agronomia, etc). Per aplicar aquesta metodologia a altres àrees només necessitem un MDE i les dades meteorològiques corresponents.

S'ha realitzat un esforç important per poder automatitzar, mitjançant *macros* i processos *batch* (arxiu per lots des de MS-DOS), el desenvolupament del model i el seu posterior cartografiat. La part de l'anàlisi estadística, tot i que semiautomatitzada, encara és la part més manual. Ara bé, una vegada obtinguts els coeficients de regressió, l'elaboració dels mapes potencials, mapes correctors i mapes reals és totalment automàtica. Destaquem aquest fet per l'interès que pot tenir a l'hora de repetir el procés amb noves modificacions o per altres àmbits geogràfics.

6. Conclusions generals

Només utilitzant informació geogràfica la temperatura mitjana és la variable amb millors ajustos, mentre que la precipitació és la variable pitjor predita. En canvi, quan utilitzem la informació de les estacions meteorològiques per corregir el model, els resultats de les temperatures pràcticament no milloren però els de precipitació sí que milloren sensiblement. Tot i així, finalment tenim que la temperatura de les mitjanes segueix essent la variable amb millors resultats per a l'Espanya peninsular ($R^2=0.91$ pel cas anual) mentre que les altres variables -temperatura mitjana de les mínimes, temperatura mitjana de les màximes i precipitació- presenten valors similars (R^2 entre 0.83-0.87 pel cas anual). Pel cas de les dades mensuals, els valors de R^2 oscil·len entre 0.74 pel cas més desfavorable (precipitació de març) i 0.90 pel cas més favorable (temperatura de les mitjanes de desembre), amb un R^2 de tots els casos amitjanats de 0.84.

Les variables independents que finalment s'han utilitzat són, pel cas dels models de temperatura de l'aire:

- altitud, cosinus de la latitud, distància lineal al Mediterrani, distància lineal a l'Atlàntic, distància logarítmica al Mediterrani, distància logarítmica a l'Atlàntic, distància logarítmica al Cantàbric i radiació solar potencial, tot i que no totes han contribuït a explicar la variació de cada mes o l' anual.

En el cas del model de precipitació total hem utilitzat:

- altitud, cosinus de la latitud, distància lineal al Mediterrani, distància lineal a l'Atlàntic, distància quadràtica al Mediterrani, distància quadràtica a l'Atlàntic, distància quadràtica al Cantàbric i radiació solar potencial, tot i que al igual que en el cas de la temperatura no totes han contribuït sempre.

A diferència de l'esperat, el model global (utilitzant totes les estacions disponibles) ha donat millors resultats ($R^2=0.85$) que el model fraccionat per conques hidrogràfiques ($R^2=0.71$), essent en ambdós casos els R^2 mitjans dels diferents elements climàtics estudiats. Una de les excepcions més clares ha estat la conca de l'Ebre, amb prediccions sovint millors que el model global. Aquest fet ens porta a pensar que en realitat caldria disposar d'un sistema més dinàmic de selecció de les estacions meteorològiques a

ajustar. Creiem que l'ideal seria un mètode basat en el desplaçament continu per tot el territori d'un envolupant que anés seleccionant distints conjunts d'estacions fins a trobar les agrupacions que millors ajustos donessin ja sigui pel model de regressió múltiple ja sigui per a altres interpoladors. Finalment, caldria cartografiar els millors models per a cada mes i conca, és a dir obtenir un híbrid que reflectís els millors resultats per cada situació espacial i temporal. Tanmateix, el mètode utilitzat en aquest treball creiem que proporciona resultats prou bons amb una simplicitat notable.

A nivell del model climàtic de Catalunya, només dir que, en general, les tendències observades són les mateixes que pel model de l'Espanya peninsular. Els resultats també són força bons. En el cas de les temperatures tenim valors de R^2 entre 0.70 i 0.97 mentre que en el cas de la precipitació tenim valors entre 0.60 i 0.91. Les diferències més importants entre el model de Catalunya i el de l'Espanya peninsular són que en el primer cas només s'ha utilitzat la distància lineal per modelitzar la continentalitat. D'altra banda però, en el cas de Catalunya ha estat possible introduir la nuvolositat pel fet de disposar d'un nombre suficient d'estacions meteorològiques de radiació solar.

Tot seguit llistarem algunes de les possibilitats de futures línies de recerca. Alguns aspectes han sorgit al llarg d'aquest treball i d'altres són possibles aplicacions dels resultats.

Projectes futurs

- Introduir en la comparació de metodologies d'interpolació espacial les *splines* i els models mixts.
- Millorar les variables existents: orografia (laplaciana), continentalitat (superfícies de fricció), radiació solar (correcció a nivell peninsular del model potencial amb dades de les estacions meteorològiques) o introduir-ne de noves: ús del sòl, illes de calor, etc.
- Desenvolupar i aplicar el model mòbil abans esmentat.

6. Conclusions generals

- Aplicar els models a altres àmbits geogràfics, preferentment a l'Espanya insular (Balears i Canàries) ja que disposem de la informació necessària i a Portugal, per poder completar la Península Ibèrica com a la unitat geogràfica que és.
- Digitalitzar l'*Atlas climático de España* de Font Tullot per aportar dades numèriques addicionals a la comparació qualitativa que hem realitzat en aquest treball.
- Interpretar dels mapes d'anomalies (tot i que és un aspecte més estrictament climatològic i que per tant cau més lluny de la nostra línia d'actuació)
- Utilitzar dels mapes climàtics per a la caracterització de regions climàtiques mitjançant ACP o aplicar altres índexs bioclimàtics tradicionals.

6.2. Fitogeografia

A nivell de vegetació s'ha realitzat una caracterització numèrica amb tantes variables geoclimàtiques i espècies vegetals no ha esta mai feta a nivell peninsular. Per algunes espècies ja es tenia informació quantitativa dels rangs ecològics respecte d'algunes variables però per moltes altres espècies i variables no i, en tot cas, no basada en una mostra tan completa.

S'ha obtingut una cartografia del model de distribució potencial de les espècies vegetals té l'interès d'estar basat en una metodologia simple i clara, tot i que seria interessant acabar d'afinar més les variables a intervenir i introduir l'efecte del substrat (que pot ser important per algunes espècies).

La metodologia utilitzada no només és interessant per ella mateixa, sinó que els mapes finals (tant climàtics com de vegetació) són eines que poden ser aplicades en altres estudis i disciplines científiques.

Tot seguit llistarem algunes de les possibilitats de futures línies de recerca. Alguns aspectes han sorgit al llarg d'aquest treball i d'altres són possibles aplicacions dels resultats.

Projectes futurs

- Aplicar altres tècniques per obtenir mapes de distribució potencial (regressió logística, regressió múltiple i classificació d'imatges) i comparar-les amb el nostre model.
- Modelitzar noves variables influents en la distribució de les espècies vegetals com són els dies de glaçada, les temperatures extremes absolutes, la ETP o els graus-dia.
- Caracteritzar les espècies del IFN-2 no incloses en aquest treball i les sèries de vegetació dels *Mapas de series de vegetación* de Rivas-Martínez.
- Aplicar el model a les illes Balears i Canàries (de les quals ja tenim informació) i a Portugal per tal de completar la cartografia de tota la Península Ibèrica.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Alados-Arboledas, L., Vida, J. i Olmo, F. 1995. "The estimation of thermal atmospheric radiation under cloudy conditions", *International Journal of Climatology*, **15**, 107-116.

Allué Andrade, J.L. 1966. *Subregiones fitoclimáticas de España*. Instituto forestal de investigaciones y experiencias. Dirección General de Montes, Caza y Pesca fluvial, Ministerio de Agricultura, Madrid.

Allué Andrade, J.L. 1990. *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid.

Ashraf, M., Loftis, J.C. i Hubbard, K.G. 1997. "Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks", *Agricultural and Forest Meteorology*, **84**, 225-271.

Austin, M.P. 1987. "Models for the analysis of species' response to environmental gradients", *Vegetatio*, **69**, 35-45.

Azevedo, E.B., Santos Pereira, L. i Itier, B. 1998. "A physically-based model for local climate simulation in islands environments: a GIS application". A: *I International Conference and Exhibition on Geographic Information Congress of the International Fair of Lisbon*, Setembre 7-11.

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.

Basist, A., Bell, G. D. i Meentemeyer, V. 1994. "Statistical relationships between topography and precipitation patterns", *Journal of Climate*, **7**, 1305-1315.

Begon, M., Harper, J.L. i Townsend, C.R.. 1988. *Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades*. Omega, Barcelona.

Bellot, F. 1978. *El tapiz vegetal de la península Ibérica*. H. Blume, Madrid.

Bibliografia

Benzi, R., Deidda, R. i Marrocu, M. 1997. "Characterization of temperature and precipitation fields over Sardinia with principal component analysis and singular spectrum analysis", *International Journal of Climatology*, **17**, 1231-1262.

Berndtsson, R. 1987. "On the use of cross-correlation analysis in studies of patterns of rainfall variability", *Journal of Hidrology*, **93**, 113-134.

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.

Blanco, E., Casado, M.A., Costa, M., Escribano, R., García, M., Génova, M.; Gómez, A., Gómez, F., Moreno, J.C., Morla, C., Regato, P. i Sainz, H. 1997. *Los bosques ibéricos. Una interpretación geobotánica*. Planeta, Barcelona

Blennow, K. i Persson, P. 1998. "Modelling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with a GIS", *Agricultural and Forest Meteorology*, **89**, 59-71.

Blennow, K. 1998. "Modelling minimum air temperature in partially and clear felled forests", *Agricultural and Forest Meteorology*, **91**, 223-235.

Bolòs, O. 1976. *La vegetación del Montseny*. Plan especial del Parque Natural del Montseny. Memoria Informativa. Diputació de Barcelona, Barcelona.

Bolòs, O. 1980. "Els sòls i la vegetació dels Països Catalans". A: *Geografia física dels Països Catalans*. Panareda, J.M i Nuet (coord.). 3a ed. Ketres, Barcelona.

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

Bolòs, O., Vigo, J., Masalles, R.M. i Ninot, J.M. 1990. *Flora manual dels Països Catalans*. Pòrtic, Barcelona.

Bolstad, P.V., Swift, LL., Collins, F. i Régnière, J. 1998. "Measured and predicted air temperatures at basin to regional scales in the southern Appalachian mountains", *Agricultural and Forest Meteorology*, **91**, 161-176.

Burrough, P.A. i McDonnell, R.A. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York.

Campbell, J.B. 1996. *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press. New York i Londres.

Carey, P. i Ullyett, J. 1993. *Modelling the effects of climate change on species distribution*. NERC News, 24-25.

Capel, J.J. 1981. *Los climas de España*. Oikos-Tau, Vilassar de Mar, Barcelona.

Ceballos, L. 1966. *Mapa forestal de España*. Dirección General de Montes, Caza y Pesca fluvial. Ministerio de Agricultura, Madrid.

Chessa, P.A. i Delitala, A.M. 1997. "Objective analysis of daily extreme temperatures of Sardinia (Italy) using distance from sea as independent variable", *International Journal of Climatology*, **17**, 1467-1485.

Chuvienco, E. i Salas, J. 1996. "Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS", *International Journal of Geographical Information Systems*, **10**, 333-345.

CEC. Compilat i preparat per Tavernier, R. i Louis, A. 1986. *Soil Map of European Communities 1:1000000*. Commission of the European Communities. Geological Institute, Ghent.

Clavero, P., Martín Vide, J. i Raso Nadal, J.M. 1996. *Atlas climàtic de Catalunya. Termopluiometria*. Generalitat de Catalunya (Departament de Política Territorial i Obres Públiques), Institut Cartogràfic de Catalunya i Departament de Medi Ambient, Barcelona.

Bibliografia

Collares, M. i Rabl, A. 1979. "The average distribution of solar radiation correlations between diffuses and hemispherical and between daily and hourly insolation values", *Solar Energy*, **22**, 155-164.

Coppock, J.T. i Rhind, D.W. 1991. "The history of GIS". A: *Geographical Information Systems*. Vol 1 (Principles). Maguire, D.J., Goodchild, M.F i Rhind, D.W. (eds.) Longman Scientific and Technical, New York.

Coronas, A., Llorens, M. i Villarubia, M. 1982. *Energia solar a Catalunya: Radiació Solar i Insolació*. Departament d'Indústria i Energia de la Generalitat de Catalunya i Universitat de Barcelona. Universitat de Barcelona, Barcelona.

Cressie, N. 1993. *Statistics for spatial data*. Wiley, New York.

Creutin, J.D. i Obled, C. 1982. "Objective analysis and mapping techniques for rainfall fields: an objective comparison". *Water Resource Research*, **18**, 413-431.

D'Agostino, V. i Zelenka, A. 1992. "Supplementing solar radiation network data by co-kriging with satellite images", *International Journal of Climatology*, **12**, 749-761.

Daley, R. 1991. *Atmospheric Data Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge

Daly, C., Neilson, R.P., i Phillips, D.L. 1994. "A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain", *Journal of Applied Climatology*, **33**, 140-158.

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.

Dozier, J., Bruno, J. i Downey, P. 1981. "A faster solution to the horizon problem", *Computers and Geosciences*, **7**, 145-151.

Dozier, J. 1989. "Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper", *Remote Sensing of Environment*, **28**, 9-22.

- Driscoll, D.M. i Yee Fong, J.M. 1992. "Continentality: a basic climatic parameter re-examined", *International Journal of Climatology*, **12**, 185-192.
- Dubayah, R., Dozier, J. i Davis, F. 1989. "The distribution of clear-sky radiation over varying terrain". A: *Proceedings of IGARSS 1989*, Vancouver.
- Duguay, C. 1993. "Radiation modelling in mountainous terrain: review and status", *Mountain Research and Development*, **13**, 339-357.
- Eastman, J.R. 1999. *Idrisi32. Reference Guide*. Clark Labs, Clark University, Worcester.
- Egido, A., De Pablo, F., Egido, M. i Garmendía, J. 1985. "La precipitación en la cuenca del Duero como función de los factores geográficos y topográficos", *Revista de Geofísica*, **41**, 183-190.
- Emberger, L. 1952. *Sur le quotient pluviothermique*, 2508-2510. C.R. Acad. Sci., París.
- Febrer, J. 1930. *Atlas pluviométric de Catalunya*. Vol 1. Institució Patxot, Barcelona.
- Felicísimo, A.M. 1994. *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Pentalfa, Asturias.
- Felicísimo, A.M. "Modelización de la distribución espacial del bosque. Aplicación al plan forestal de Cantabria". Ponència presentada al Màster en Teledetecció de l'Insitut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC) el maig de 1999.
- Felicísimo, A.M. i Álvarez, M.A. 1982. "Aplicación del análisis de componentes principales al régimen termopluiométrico de Asturias". *Avances sobre la investigación en bioclimatología:565-581. VII Simposio de Bioclimatología*, Sevilla.
- Fitzpatrick, E. i Stern, W. 1970. "Net radiation estimated from global solar radiation". Al *Symposium of Plant response to climatic factors*. UNESCO, Uppsala.
- Folch, R. 1981. *La vegetació dels Països Catalans*. Ketres, Barcelona

Bibliografia

Folch, R., Franquesa, T. i Camarasa, J.M. 1984. *Vegetació. Història Natural dels Països Catalans*. Vol 7. Enciclopèdia Catalana, Barcelona.

Follieri, M., Roure J.M, Giardini, M., Magri, D, Narcisi, B., Pantaleón-Cano, J., Pérez-Obiol, R., Sadori, L. i Yll, E.I. 1996. "Desertification trends in Spain and Italy based on pollen analysis". A: *Mediterranean desertification (Research results and policy implications)*. Vol. 2. Balabanis, P., Peter, D., Ghazi, A. i Tsogas, M. (eds.) Proceedings of the International Conference. European Commission, Creta.

Font Tullot, I. 1983a. *Climatologia de España i Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

Font Tullot, I. 1983b. *Atlas climático de España*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

Frew, J. 1990. *The Image Processing Workbench*. Tesi doctoral. California University, Santa Barbara.

García de Pedraza, L. i Reija, A. 1994. *Tiempo y clima en España (Meteorología de las autonomias)*. Dossat-2000, Madrid.

Gates, D. 1980. *Biophysical Ecology*. Springer-Verlag, New York.

Gausson, H. 1926. *Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. Documents pour la carte des productions végétales*. Serie Pyrénées. Vol 1. Librairie Paul Lechevalier, 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].

Giorgi, F., Hewitson, B., Christensen, J., Hulme, M., Von Storch, H., Whetton, P., Jones, R., Mearns, L. i Fu, C. *Climate change 2000*. Houghton, J.T. (ed.). Cambridge University Press. (en premsa).

- Gràcia, C. 1983. *La clorofila en los encinares del Montseny: Interpretación como una optimización del aprovechamiento de la luz. (Contribución a una teoría del árbol.)* Tesis doctoral, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Gregory, S. 1982. Review de White, E.J. i Smith, R.I. 1982. "Climatological maps of Great Britain", *Weather*, **38**, 284.
- Gutiérrez Puebla, J. i Gould, M. 1994. *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Síntesis, Madrid.
- Hallett, S.H. i Jones, R.J.A. 1993. "Compilation of an accumulated temperature database for use in an environmental information system", *Agricultural and Forest Meteorology*, **63**, 21-34.
- Hamilton, J.E., Lennon, P. i O'Donnell, B. 1988. "Objective analysis of monthly climatological fields of temperature, sunshine, rainfall percentage and rainfall amount", *Journal of Climatology*, **8**, 109-124.
- Hargy, V.T. 1997. "Objectively mapping accumulated temperature for Ireland", *International Journal of Climatology*, **17**, 909-927.
- Hernández, J.A., Garmendía, J., Hernández, E. i Sánchez, J.F. 1975. "Importancia de la laplaciana de la altitud en las precipitaciones", *Revista de Geofísica*, **35**.
- Hetrick, W., Rich, P. i Weiss, S. 1993. "Modelling insolation on complex surfaces." A: *Proceedings of the Thirteenth Annual ESRI User Conference* (Redlands:ESRI) Vol.2. 447-458.
- Hevesi, J.A., Istok, J.D. i Flint, A.L. 1992. "Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics", *Journal of Applied Meteorology*, **31**, 661-676.
- Ho_evar, A. 1970. "A topographic parameter for evaluation of minimum temperature distribution on clear calm mornings". A: *Symposium of Plant response to climatic factors*. UNESCO, Uppsala.

Holdridge, L.R. 1947. "Determination of world plant formations from simple climatic data", *Science*, **105**, 367-368.

Hubbard, K.G. 1994. "Spatial variability of daily weather variables in the high plains of the USA", *Agricultural and Forest Meteorology*, **68**, 29-41.

Hudson, G. i Wackernagel, H. 1994. "Mapping temperature using kriging with external drift: theory and an example from Scotland", *International Journal of Climatology*, **14**, 77-91.

Huntley, B., Berry, P.M, Cramer, W. i McDonald, A.P. 1995. "Modelling present and potential future ranges of some European higher plants using climate response surfaces", *Journal of Biogeography*, **22**, 967-1001.

Hutchinson, M.F. 1995. "Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines", *International Journal of Geographical Information Systems*, **9**, 385-403.

Instituto Geográfico Nacional. 1991a. *Atlas Nacional de España. Climatología*, Sección II, Grupo 9. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid.

Instituto Geográfico Nacional. 1991b. *Atlas Nacional de España. Edafología*, Sección II, Grupo 7. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid.

INM. 1986. *Radiación Solar en España. Año 1983*. Publicación Serie D (Estadísticas), 45. Centro de Estudios Meteorológicos, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

Inventario Nacional de Hábitats. 1992. Directiva de Hábitats. 92/43 CEE, Brusel·les.

Isaaks, E.H. i Srivastava, R.J. 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, New York.

Ishida, T. i Kawashima, S. 1993. "Use of cokriging to estimate surface air temperature from elevation", *Theoretical Applied Climatology*, **47**, 147-157.

Jansà Guardiola, J.M. 1969. *Curso de climatología*. Ciudad Universitaria Madrid-3, Madrid.

-
- Journel, A.G. i Huijbregts, C.J. 1978. *Mining Geostatistics*. Academic Press, New York.
- Kleinbaum, D. G. 1992. *Logistic regression: a self learning text*. Springer, New York.
- Kondratyev, K. 1969. *Radiation in the atmosphere*. Academic Press, New York.
- Köppen, W. 1931. *Die klimate der erde*. Grundriß der klimakunde. 2a ed. Berlin und Leipzig.
- Kumar, L, Skidmore, A.K. i Knowles, E. 1997. "Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment", *International Journal of Geographical Information Science*, **11**, 475-497.
- Kuye, A. i Jagtap, S.S. 1994. "Correlation of solar radiation with climatological data for Port Harcourt, Nigeria", *International Journal of Climatology*, **14**, 815-825
- Lacoste, A. i Salanon, R. 1973. *Biogeografía*. Oikos-tau, Barcelona
- Lanzante, J.R. 1996. "Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climate data: theory and examples, including applications to historical radiosonde station data", *International Journal of Climatology*, **16**, 1197-1226.
- Laurini, R. i Thompson, D. 1992. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press, London.
- Legendre, L. i Legendre, P. 1998. *Numerical Ecology*. 2a ed. Elsevier, Amsterdam.
- Lennon, J.J., Turner, J.R.G. 1995. "Predicting the spatial distribution of climate temperature in Great Britain", *Journal of Animal Ecology*, **64**, 370-392.
- Lieth, H. 1988. "Interaction between biosphere and climate". A: *Climatic change and impacts: a general introduction*. Fantechi, R., Maracchi, G., Almeida-Teixeira, M.E. (eds.) Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards course. Commission of the european Communities, Florence.
- Lillesand, T.M. i Kiefer, R. W. 2000. *Remote sensing and image interpretation*. 4a ed. Wiley & Sons, New York.

Bibliografia

- Linés, A. 1970. "The climate of the Iberian Peninsula". A: *World survey of climatology. Climates of the Northern and Western Europe*, Wallen, C.C. (ed.) Elsevier, Amsterdam.
- Liu, B. i Jordan, R. 1960. "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation." *Solar Energy*, **4**, 1-19.
- London, J. i Frohlich, C. 1982. "Extended abstracts presented at the symposium on the solar constant and the spectral distribution of solar irradiance". A: *Third Scientific Assembly of the International Association of Meteorology and Atmospheric Physics*. IAMAP, Innsbruck.
- Lorente, J.M. 1946. "Climas Españoles", *Revista de Geofísica*, **18**, 204-231.
- 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*. Tesis Doctoral. Institut Cartogràfic de Catalunya, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- Martínez, J. Modelización de la vegetación potencial en la cuenca alta de río Narcea (Asturias-España). Memoria de investigación. [http:// www.etsimo.uniovi.es/~juantxo/Seminario/Seminario.html](http://www.etsimo.uniovi.es/~juantxo/Seminario/Seminario.html). [visitada el 15-01-2000].
- McLain, D. H. 1974. "Drawing contours from arbitrary data points", *The Computer journal*, **17**, 318-324.
- Melillo, J.M., Callaghan, T.V., Woodward, F.I., Salati, E. i Sinha, S.K. 1990. "Effects on ecosystems". A: *Climatic change*. The IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental panel on climate change. Houghton, J.T, Jenkins, G. J. i Ephramus, J.J (eds.) Cambridge University Press, Cambridge.
- Menz, G. 1997. "Regionalization of precipitation models in east Africa using meteosat data", *International Journal of Climatology*, **17**, 1011-1027.

Ministerio de Agricultura. 1978. *Mapa de cultivos y aprovechamientos. 1:50000*. Dirección General de la Producción Agraria, Ministerio de Agricultura, Madrid.

Mitjà, A. i Batalla, E. 1982. *Manual de radiació solar. Tablas para Catalunya*. Vol.1. Universitat Politècnica de Catalunya i Instituto de Ciencias Energéticas, Prensa XXI, Barcelona.

Narumalani, S., Jensen, J.R., Althausen, J.D., Burkhalter, S. i Mackey, H.E. 1997. "Aquatic macrophyte modelling using GIS and logistic multiple regression", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **63**, 41-49.

Newman, J. E. 1980. "Climate change impacts on the growing season of the north american corn belt", *Biometeorology*, **2**, 128- 142.

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. "A methodological approach of climatological modelling of temperature and precipitation through GIS techniques", *International Journal of Climatology*, en premsa.

Nuñez, J. i Pérez, J. 1977. *Distribució del balanç de la radiació a Catalunya*. Institut d'Estudis Catalans, Arxius de la Secció de Ciències, LVI, Barcelona.

Ojeda, F., Arroyo, J. i Marañón, T. 1998. "The phytogeography of European and Mediterranean heath species (Ericoideae, Ericaceae): a quantitative analysis", *Journal of Biogeography*, **25**, 165-178.

Oliver, M.A. i Webster, R., 1990. "Kriging: a method of interpolation for geographical information systems", *International Journal of Geographical Information Systems*, **4**, 313-332.

Page, J. 1986. *Prediction of Solar Radiation on inclined Surfaces*. Solar Energy, R&D in the European Community. Series F: Solar Radiation Data, 3. Reidel Publishing Company, Dordrecht.

Bibliografia

- Pausas, J.G. i Carreras, J. 1999. "Relationship between vegetation units and terrain parameters in vegetation maps using GIS tools: a case study in the eastern Pyrenees", *Ecologia mediterranea*, **25**, 57-73.
- Peinado, A. 1985. *Lecciones de climatología. Conceptos y técnicas*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.
- Peinado, M. i Rivas-Martínez, S. (eds.) i Alcaraz, F.; Asensi, A.; Bolòs, O.; Costa, M.; Arco, M.; Díaz, T.; Díez, B.; Fernández, J.A.; Fernández, F.; Izco, J.; Ladero, M.; Loidi, J.; Martínez, J.M.; Navarro, F.; Ninot, J.M.; Sánchez-Mata, M.; Valle, C.; Vigo, J. i Wildpret, W. 1987. *La vegetación de España*. Universidad de Alcalá de Henares, Madrid.
- Perring, F.H. i Walters, S.M. (eds) 1962. *Atlas of the British Flora*. Botanical Society of the British Isles. Nelson, London.
- Phillips, D.L., Dolph, J. i Marks, D. 1992. "A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain", *Agricultural and Forest Meteorology*, **58**, 119-141.
- Pigott, C.D. i Huntley, J.P. 1981. "Factors controlling the distribution of *Tilia cordata* at the northern limits of its geographical range", *New Phytologist*. **87**, 817-839.
- 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.
- Pita, A. 1968. *Clima y vegetación arbórea. Aplicaciones a la Península Ibérica*. Sección de Meteorología Agraria, Servicio Meteorológico Nacional. Ministerio del Aire, Madrid.
- Pons, X. 1996a. "Els sistemes d'informació geogràfica: la nova carta". *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, **64**, 37-52.

Pons, X. 1996b. “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.

Pons, X. 1998. *Manual de MiraMon. Programari de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Bellaterra. (<http://www.creaf.uab.es/miramon>).

Prentice, C.I., Cramer, W., Harrison, S. P., Leemans, R., Monserud, R. A. i Solomon, A. M. 1992. “A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate”, *Journal of biogeography*, **19**, 117-134.

Quereda, J. 1982. *Castellón. Precipitaciones y Radiación Solar*. Ayuntamiento de Castellón de la Plana, Castellón.

Rivas-Martínez, S. 1981. “Les étages bioclimatiques de la végétation de la Péninsule Ibérique”, *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, **37**, 251-268.

Rivas-Martínez, S. 1982. “Etages bioclimatiques, secteurs chorologiques et séries de végétation de l’Espagne méditerranéenne”, *Ecologia Mediterranea*, **8**, 275-288.

Rivas-Martínez, S. 1983. “Pisos bioclimáticos de España”, *Lazaroa*, **5**, 33-43.

Rivas-Martínez, S. 1987. *Mapas y Memoria del mapa de series de vegetación de España. 1:400000*. I.C.O.N.A., Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Riera, S. 1994. *Evolució del paisatge vegetal holocè al Pla de Barcelona a partir de les dades pol·líniques*. Tesi doctoral, Universitat de Barcelona.

Rothermel, R., Wilson, R.A., Morris, G.A. i Sackett S.S. 1986. *Modelling moisture content of fine dead wildland fuels. Input to the BEHAVE Fire Prediction System*. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Research Paper INT-359, Ogden.

Bibliografía

Sánchez Palomares, O., Sánchez Serrano, F. i Carretero Carrero, M^a.P. 1999. *Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplúviométricas para la España peninsular*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid.

Schermerhorn, V.P 1967. “Relations between topography and annual precipitation in western Oregon and Washington”, *Water Resource Research*, **3**, 707-711.

Servicio de Inventario Forestal. 1993. *Segundo Inventario Forestal Nacional*. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid

SMN. 1968. *Situación geográfica e Indicativos de las estaciones pluviométricas españolas*. Servicio Meteorológico Nacional, Madrid.

Sinclair, M.R. 1994. “A diagnostic model for estimating orographic precipitation”, *Journal of Applied Meteorology*, **33**, 1163-1175.

Sokal, R. R. i Rohlf, F. J. 1995. *Biometry*. 3a ed. W.H. Freeman and Company, New York.

StatSoft, Inc. 1995. STATISTICA for Windows [Computer program manual].Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, e-mail: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>

Stephenson, N.L. 1990. “Climatic control of vegetation distribution; the role of the water balance”, *American naturalist*, **135**, 649-670.

Stone, R.C. 1989. “Weather type at Brisbane, Queensland: an example of the use of principal components and cluster analysis”, *International Journal of Climatology*, **9**, 3-32.

Sykes, M.T., Prentice, C. i Cramer, W. 1996. “A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates”, *Journal of biogeography*, **23**, 203-233.

Solé Sabarís, L., Font i Quer, P., Llopis, N. i Masachs, V. 1952. *España Geografía Física. A: Geografía de España y Portugal* (Terán, M. ed.). Vol 1 i 2. Montaner y Simón S.A., Barcelona.

Sowell, J.B. 1985. "A predictive model relating North American plant formations and climate", *Vegetatio*, **60**, 103-111.

Thompson, C.S., Sinclair, M.R. i Gray, W.R. 1997. "Estimating long-term annual precipitation in a mountainous region from a diagnostic model", *International Journal of Climatology*, **17**, 997-1007

Thompson, R.S., Anderson, H. i Barlein, P.J. 1998. *Atlas of relations between climatic parameters and distributions of important trees and shrubs in North America. Introduction and Conifers*. R.W.Scott (ed.) U.S. Geological Survey, Denver.

Tomlin, C.D. 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Tormo Molina, R., Ruiz Téllez, T., Devesa Alcaraz, J. A. 1992. "Aportación a la bioclimatología de Portugal", *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, **49**, 245-264.

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.

USGS (United States Geological Survey). 1996. GTOPO30. <http://edcwww.cr.usgs.gov/landdacc/gtopo30/gtopo30.html>. EROS Data Center. [visitada el 07-09-2000].

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.

Vigo, J. 1976. *L'alta muntanya catalana. Flora i vegetació*. C.E.C./Montblanc, Barcelona

Bibliografia

Vogt, J.V., Viau, A.A. i Paquet, F. 1997. "Mapping regional air temperature fields using satellite-derived surface skin temperatures", *International Journal of Climatology*, **17**, 1559-1579.

Walter, H. 1979. *Vegetation of the Earth*. Springer-Verlag, New York.

Walter, H. i Box, E.O. 1976. "Global classification of natural terrestrial ecosystems", *Vegetatio*, **32**, 2:76-81.

White, E.J. 1979. "The prediction and selection climatological data for ecological purposes in Great Britain", *Journal of Applied Ecology*, **16**, 141-160.

White, E.J i Smith, R.I. 1982. *Climatological maps of Great Britain*. Institute of Terrestrial Ecology, Midlothian.

Willmott, C.J., Rowe, C.M., i Mintz, Y. 1985. "Climatology of the terrestrial seasonal water cycle", *Journal of Climatology*, **5**, 589-606.

Woodward, F.I. 1987. *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press. Cambridge.

WMO. 1967. *A note on climatological normals*, World Meteorologic Organization-280, Geneva.

WMO. 1982. *Comission for instruments and methods of observation*. A: Abridged final report of the 8th Session, WMO-590, Geneva.

Yll, E.I., Pérez-Obiol, R., Pantaleón-Cano, J. i Roure, J.M. 1997. "Palynological evidence for climatic change and human activity during the Holocene on Minorca (Balearic islands)", *Quaternary Research*, **48**, 339-347.

LLISTAT D'ABREVIACIONS

ABSNUV	Absència de nuvolositat
ACE	Atlas Climático de España
ACP	Anàlisi de components principals
ALT	Altitud
ca	<i>circa</i> (al voltant de, càlcul aproximat)
CEC	Comission of the European Communities
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
COSLAT	Cosinus de la latitud
DARP	Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca
DATL	Distància lineal a l'Atlàntic
DBF	Data Base Format
DLGATL	Distància logarítmica a l'Atlàntic
DLGCAN	Distància logarítmica al Cantàbric
DLGMED	Distància logarítmica al Mediterrani
DMA	Departament de Medi Ambient
DMED	Distància lineal al Mediterrani
DN	Digital number
DQATL	Distància quadràtica a l'Atlàntic
DQCAN	Distància quadràtica al Cantàbric
DQMED	Distància quadràtica al Mediterrani

DU	Conca del Duero
EB	Conca de l'Ebre
EP	Model global (per a tota l'Espanya peninsular)
ETP	Evapotranspiració Potencial
GDD	Growing Degree Days
GQ	Conca del Guadalquivir
GU	Conca del Guadiana
ICAEN	Institut Català de l'Energia
ID2	Invers de la distància al quadrat
IFN-2	Segundo Inventario Forestal Nacional
IFN-3	Tercer Inventario Forestal Nacional
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INM	Instituto Nacional Meteorológico
IT	Índex de Termicitat
IRM	Regressió múltiple com a tècnica d'interpolació
KR	Kriging
LE	Conca de Llevant
MDE	Model Digital d'Elevacions
ME	Conca del Sud o Meridional
MI	Model d'isolínies
NO	Conca del Nord

PC	Personal Computer
PO	Conca del Pirineu oriental
R_c^2	Coefficient de determinació del model corregit
R_{nc}^2	Coefficient de determinació del model no corregit
R_p	Radiació potencial
R_{ph}	Radiació potencial sobre superfície horitzontal
R_r	Radiació real
R_{rh}	Radiació real sobre superfície horitzontal
RAD	Radiació
SE	Conca del Segura
SGE	Servicio Geográfico del Ejército
SIG	Sistema d'Informació Geogràfica
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
TA	Conca del Tajo
UA	Unitat Astronòmica
UAB	Universitat Autònoma de Barcelona
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
UTM-30N	Fus UTM número 30 de l'hemisferi nord
UTM-31N	Fus UTM número 31 de l'hemisferi nord
WMO	World Meteorological Organization

LLISTAT DE *SOFTWARE*

EXCEL97

©Microsoft Corporation, 1985-1997

IDRISI32 v. 2.008

Eastman, J.R. 1999. *Idrisi32. Reference Guide*. Clark Labs, Clark University, Worcester.

Mòduls utilitzats: INTERCON, COST, MAKESIG, PCA i BAYCLASS

©Idrisi Source Code J. Ronald Eastman, 1987-1998

©Idrisi Production Clark University, 1987-1998

MIRADADES v. 3.0

Pons, X. 1998. *Manual de MiraMon. Programari de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Bellaterra. (<http://www.creaf.uab.es/miramon>).

©Xavier Pons, 1997-1999

MIRAMON v. 3.5i

Pons, X. 1998. *Manual de MiraMon. Programari de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció*. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Bellaterra. (<http://www.creaf.uab.es/miramon>).

Mòduls utilitzats: BUFDIST, XY_DBF, ISOMDE, OMBRA, INSOLDIA, CALCIMG, INTERPNT, PENDENT i COMBICAP.

©Xavier Pons, 1994-2000

STATISTICA99 v. 4.0

StatSoft, Inc. 1995. STATISTICA for Windows [Computer program manual].Tulsa, OK: StatSoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, OK, 74104-4442, (918) 749-1119, fax: (918) 749-2217, e-mail: info@statsoft.com, WEB: <http://www.statsoft.com>

©StatSoft Inc., 1984-1999