



La meteorologia als petits estats d'Europa: entre la mesoescala i la microescala

Guillem MARTÍN i BELLIDO



És un honor per mi participar en aquesta Diada Andorrana a la Universitat Catalana d'Estiu. Agraeixo als organitzadors d'aquesta diada que m'hagin convidat a parlar sobre la meteorologia als petits estats d'Europa, que està entre la mesoescala i la microescala. Primer analitzarem les característiques meteorològiques de cada país així com el funcionament dels diferents serveis meteorològics, i posteriorment explicarem per què els podem classificar entre la mesoescala i la microescala.

A la taula de més amunt podem distingir les característiques d'extensió i població dels petits estats que s'han triat per tractar en aquesta diada, entre els quals n'hi ha vuit que estan considerats com a petits estats d'Europa, mentre que n'hi ha dos (Eslovènia i Suïssa) que s'han inclòs en tenir certes similituds amb el Principat d'Andorra i els altres petits estats. Actualment, en el pla meteorològic no hi ha relació entre el Principat d'Andorra i la resta d'estats que avui tractem. Al final d'aquesta ponència descobrirem si és útil que s'estableixin relacions i amb quins estats.

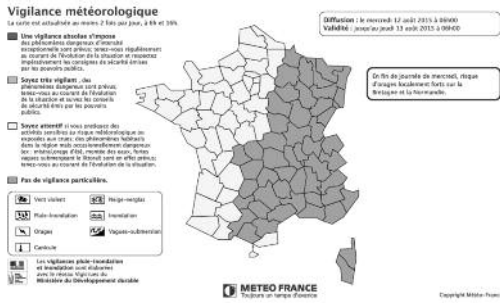
País	Superfície (Km ²)	Habitants (2013)
Mònaco	2	37831
San Marino	61	31448
Liechtenstein	160	36825
Malta	316	423282
Andorra	468	69966
Luxemburg	2586	543202
Xipre	9250	1141000
Eslovènia	20273	2060000
Suïssa	41285	8081000
Islàndia	103125	323002

Aproximació als serveis meteorològics dels petits estats de la 28a Diada d'Andorra a la UCE

Entre aquests estats trobem illes, països costaners, països interiors i països de muntanya i alta muntanya. Bàsicament, el que diferencia el treball dels diferents serveis meteorològics són els fenòmens que han de vigilar. Per tant, per cada tipus d'informació meteorològica es realitza un butlletí diferent. Hi ha tres tipus de butlletins: el butlletí meteorològic, en què es fa la predicció meteorològica; el butlletí d'allaus i el butlletí aeronàutic. A més d'aquests butlletins,

els serveis meteorològics elaboren els mapes de perill meteorològic (com el que podem veure a la imatge 1) per avisar la població dels perills que pot comportar la meteorologia en les activitats quotidianes. Aquests mapes divideixen els països en regions meteorològiques, és a dir que cada regió representa una zona geogràfica que normalment es veu afectada pels mateixos fenòmens. D'aquesta manera, es poden crear difrents avisos de perill meteorològic en diferents zones d'un país, amb l'objectiu d'establir perills només a les zones que ho necessitin.

Les illes (Xipre, Malta i Islàndia) han hagut de desenvolupar serveis meteorològics propis a causa de la seva insularitat i de les singularitats meteorològiques. Xipre i Malta elaboren butlletins meteorològics i butlletins aeronàutics, i Islàndia hi afegeix els d'allaus i també la vigilància per l'erupció de volcans. Pel que fa a Mònaco, l'estat més petit dels que tractem avui, no té servei meteorològic i depèn totalment de Météo France, el servei meteorològic de França. Météo France elabora els butlletins meteorològic i aeronàutic per al Principat de Mònaco. El Servei Meteorològic de Luxemburg rep la informació meteorològica de Météo France i elabora amb independència els butlletins meteorològics i aeronàutics destinats a l'aviació. Pel que fa a San Marino, només elabora el butlletí meteorològic, ja que no té ni aeroport ni mar, ni la necessitat d'elaborar butlletins d'allaus ja que les seves muntanyes no reben prou neu a l'hivern. Com a curiositat, San Marino té el servei meteorològic més jove de tots els que analitzarem avui, format durant la dècada dels 90. Suïssa i Liechtenstein tenen un clima molt similar. Suïssa té el servei meteorològic més ben dotat dels països que tractem avui. S'ha de tenir en compte que és el país amb més població (8 milions d'habitants) i amb més infraestructures, incloses les quatre centrals nuclears que hi ha dins del país. A Suïssa, amb 233 estacions meteorològiques automàtiques, elaboren els butlletins meteorològic, l'aeronàutic i el d'allaus. De la seva banda, Liechtenstein no té servei meteorològic propi i és Suïssa qui subministra els butlletins meteorològics i d'allaus. Eslovènia, l'altre país que genera electricitat amb una central nuclear, té massissos muntanyosos importants dins del país, encara que també és costaner. Per tant, elaboren els butlletins meteorològic, aeronàutic i d'allaus. Per últim, al Servei Meteorològic d'Andorra reben els butlletins meteorològics i d'allaus elaborats des de Météo France i els adaptem a les necessitats del país, gràcies en part a l'extensa xarxa d'estacions meteorològiques automàtiques –disposem de quinze estacions que formen part de la XMB, que són les que utilitza Météo France per fer la previsió; però a més, des del servei meteorològic n'utilitzem sis més d'automàtiques i set de manuals per adaptar les previsions al Principat).



Imatge 1: Mapa de perill meteorològic del Servei meteorològic francès (Météo France). Font: Météo France

Un altre tret característic de cada país són els mapes de perill meteorològic, ja que són diferents a cada país. Els estats que tenen una orografia amb nombroses valls i cims que superen els 2.000 metres, com ara Suïssa, el Principat d'Andorra, Eslovènia, Liechtenstein i Islàndia, tenen més variabilitat meteorològica. A través dels mapes de perill meteorològic podem apreciar aquesta variabilitat. Encara que també ens poden servir per detectar mancances de precisió en la predicció meteorològica d'alguns països. Els mapes de perill meteorològic estableixen diferents nivells de perill, amb una escala de colors consensuada per l'OMM que va del verd al vermell, passant pel groc i el taronja.

Les illes del Mediterrani, Xipre i Malta, es caracteritzen per tenir un clima diferent al de la resta de països, ja que en ser illes del Mediterrani tenen estius extremament secs.

País	Alçada pic més alt (m)	Nom
Suïssa	4634	Pointe Dufour
Andorra	2946	Comapedrosa
Eslovènia	2864	Triglav
Liechtenstein	2599	Vorder-Grauspitze
Islàndia	2109	Hvannadalsh
Xipre	1951	Monte Olimpo
San Marino	755	Monte Titano
Luxemburg	660	Kneiff
Malta	253	Ta'Dmejrek
Mònaco	140	

Aquests dos estats tenen mapes d'una sola zona meteorològica cada un, això ens fa pensar que no tenen gaires variacions meteorològiques entre diferents zones dels països respectius. Aquestes alertes estan establertes pels serveis meteorològics propis de cada país.

El servei meteorològic d'Islàndia té el país dividit en deu zones meteorològiques, on destaca la zona central, que és on hi ha les glaceres i els principals volcans.

Mònaco, en no tenir servei meteorològic, queda inclòs també al mapa de perill meteorològic, a la regió dels Alps marítims de Météo France.

Luxemburg té independència a l'hora d'establir els nivells de perill meteorològic per a les seves dues regions. Com que Luxemburg té un relleu suau, en té prou de diferenciar el país només tenint en compte la latitud.

San Marino, tot i tenir servei meteorològic propi, rep les alertes meteorològiques d'Itàlia, ja que queda entre les regions de La Marche i l'Emiglia e Romagna.

Suïssa divideix el país en 159 zones d'alerta meteorològica, i a més tenen una vigilància específica per a llacs i per contaminació nuclear en cas d'accident.

Liechtenstein té una sola zona meteorològica per establir perills meteorològics, que es determinen des del Servei Meteorològic de Suïssa.

De la seva banda, Eslovènia divideix el país en cinc zones d'alerta meteorològica.

I per últim, el Principat d'Andorra rep les alertes meteorològiques homògenes per a tot el país des de Météo France. Tot i així, des del Servei Meteorològic d'Andorra estem treballant, de moment de forma experimental, amb mapes d'alerta meteorològica de fins a sis zones i també altitudinals.

Com hem vist, Suïssa i Liechtenstein tenen serveis meteorològics compartits i Météo France subministra la informació meteorològica a tres petits estats, encara que de forma diferent a cadascun. Els serveis meteorològics, en general, tenen relacions amb altres petits països a través d'organismes internacionals o comunitaris com poden ser l'OMM (Organització Mundial de la Meteorologia), Eumetsat (European Organisation for the Exploration of Meteorological Satellites) o Eumetnet (The Network of European National Meteorological Services); les dues

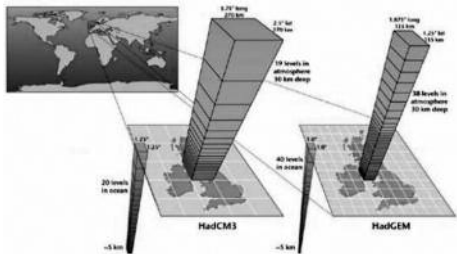
últimes són organitzacions europees d'observació i predicció meteorològica, respectivament. Això ens dona una idea sobre les relacions entre els serveis meteorològics, ja que en meteorologia són molt importants les relacions de veïnatge. Dels estats que avui tractem, tots els que tenen independència a l'hora d'establir les alertes meteorològiques pròpies –és a dir Suïssa, Eslovènia, Luxemburg, Islàndia, Xipre i Malta– pertanyen a aquestes organitzacions. En el cas d'Andorra, només som membres de l'OMM, encara que no hi tenim participació activa ja que no hi tenim dret a vot. En canvi, sí que tenim relació, i fins i tot convenis signats, entre el servei meteorològic del Principat d'Andorra i els serveis meteorològics veïns. I és que per predir els fenòmens atmosfèrics s'ha de caracteritzar l'estat actual de l'atmosfera i després fer una previsió de la seva evolució. Per fer aquests dos processos no només s'han de tenir en compte els valors propis de cada lloc, com ara la temperatura, la humitat o la pressió atmosfèrica, sinó que s'han de prendre les dades de contorn. Per tant, en meteorologia el que és primordial és la relació entre estats veïns. Ara bé, els petits estats comparteixen unes necessitats que són comunes en molts d'ells i que tenen a veure amb la precisió de les previsions meteorològiques.

La precisió dels models meteorològics

Que els estats més grans facin les previsions meteorològiques per als petits estats pot comportar, a vegades, una manca de precisió en la previsió. Per aquest motiu és important que cada país, per petit que sigui, tingui el propi servei meteorològic amb els recursos necessaris per poder adaptar les previsions que arriben des dels països veïns i així poder respondre a les necessitats que es generen dins dels petits estats.

Quan parlem de precisió de la previsió meteorològica, ens referim inevitablement a l'adaptació que es pot fer d'una previsió global en una zona geogràfica determinada. Les previsions globals ens les poden donar, per exemple, els models meteorològics d'escala sinòptica o mesoescalar. Quan augmentem la precisió de la previsió, passem a fer previsions

amb models mesoescalars d'alta resolució i models microescalars.



Imatge 2: Representació de la partició de l'atmosfera en columnes. Font: UB

amb models mesoescalars d'alta resolució i models microescalars. La meteorologia tracta la Terra com si fos una quadrícula o una malla, i amb l'alçada en resulten columnes d'aire, com veiem en aquest esquema. Per tant, a l'hora de parlar de la resolució d'un model meteorològic ens referirem al pas de malla, que és la distància entre cada node d'aquesta quadrícula o el que és el mateix, l'amplada dels quadrats. Cada quadrat té unes característiques de temperatura, humitat, pressió atmosfèrica i velocitat del vent

diferents. Un cop es tenen les mesures preses per les estacions meteorològiques, per les boies dels mars, pels radiosondatges i pels avions, i que caracteritzen l'estat inicial de l'atmosfera, s'introdueixen en unes equacions monitoritzades per ordinadors molt potents i en surt la

predicció meteorològica. Aproximadament, per a una previsió a 24 hores vista utilitzant un model de 2,2 km de pas de malla, són necessàries 250.000 milions d'operacions matemàtiques.

En funció de la mida de la quadrícula o del pas de malla, classificarem el model meteorològic en tres tipus. En ordre creixent de precisió, tenim l'escala sinòptica, la mesoescala i la microescala.

L'escala sinòptica o de circulació general té un pas de malla >50 km. Aquesta escala permet diferenciar zones d'altres i baixes pressions, masses d'aire o fluxos generals de vent. Aquests models s'utilitzen per realitzar, per exemple, els mapes isobàrics que estem acostumats a veure per televisió.

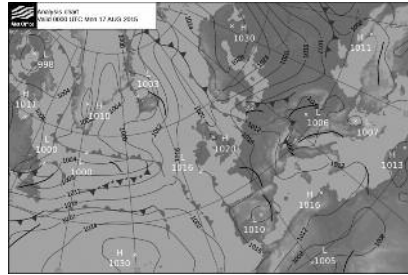
La mesoescala té un pas de malla de fins a 5 km, com a molt petit. Aquests models augmenten la resolució, encara que en zones amb valls estretes i amb fort pendent poden no caracteritzar prou bé les característiques del terreny.

La microescala divideix les parcel·les d'aire de l'atmosfera i la Terra en quadrats de fins a 1 quilòmetre, o fins i tot menys. Aquesta escala permet caracteritzar fenòmens que es veuen influïts per l'orografia del terreny, com poden ser els corrents de vent a les valls, la formació de núvols convectius o boires locals. Per poder ser tan precisos, aquests models tenen en compte les reaccions químiques entre l'atmosfera i la superfície de la Terra.

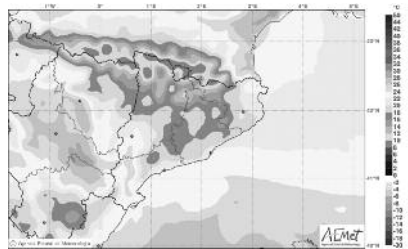
A la imatge 3 podem veure un mapa isobàric. Entre la imatge 4 i la imatge 5 podem apreciar clarament l'augment de precisió en la previsió de temperatura.

Els petits estats dins de les escales de predicció meteorològica

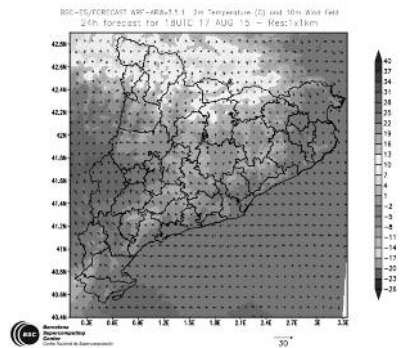
El Principat d'Andorra té una superfície de 468 km². Aquesta àrea és l'equivalent a un quadrat de 21,6 quilòmetres de costat. Aquesta superfície no és la més petita dels petits estats, i com veiem a la següent taula, la majoria d'aquests petits estats



Imatge 3: Mapa isobàric. Font: MetOffice



Imatge 4: Mapa meteorològic mesoescalar de 5 km de pas de malla. Font: AEMET



Imatge 5: Mapa meteorològic microescalar d'1km de pas de malla. Font: Barcelona Supercomputing Center (BSC)

requereixen models mesoescalars i microescalars per poder diferenciar diferents fenòmens dins del país.

Per aquest motiu són els petits països, i sobretot els que tenen massissos muntanyosos, els que necessiten models meteorològics amb passos de malla més petits, entre la mesoescala i la microescala. Per posar un exemple,

País	Superfície (Km ²)	Costat quadrat (km)
Mònaco	2	1,4
San Marino	61	7,8
Liechtenstein	160	12,7
Malta	316	17,8
Andorra	468	21,6
Luxemburg	2586	50,9
Xipre	9250	96,2
Eslovènia	20273	142,4
Suïssa	41285	203,2
Islàndia	103125	321,1

un model meteorològic que no tingués en compte l'alçada del terreny o l'albedo (reflexió de la llum que pot causar la neu) ens seria de poca utilitat. Aquests seran majoritàriament mesoescalars d'alta resolució i microescalars. En haver-hi més punts representats, els models han d'incloure més càlculs i alhora són necessàries més mesures per caracteritzar millor l'estat inicial de l'atmosfera. Per tant, seran necessàries unes computadores més potents per fer la predicció meteorològica; així com també ha d'haver-hi més estacions meteorològiques repartides pel territori.

Si tenim en compte que als petits estats hi sol haver més densitat de població i més activitat sobre el conjunt del país en comparació dels països grans, com veiem en aquesta taula, vol dir que totes les zones geogràfiques d'aquests estats han d'estar ben representades en els models.

Això representa una dificultat afegida, ja que les zones que poden ser més vulnerables a fenòmens extrems moltes vegades són les més difícils de caracteritzar als models meteorològics, com poden ser terrenys molt alts o valls amb un fort gradient altitudinal.

Fenòmens extrems com poden ser les tempestes posen de manifest la necessitat dels petits estats a no deixar zones geogràfiques sense caracteritzar en els models meteorològics i la necessitat que tenen d'utilitzar tecnologies de detecció i previsió meteorològica d'última generació, per així poder preveure fenòmens extrems amb la màxima antelació possible.

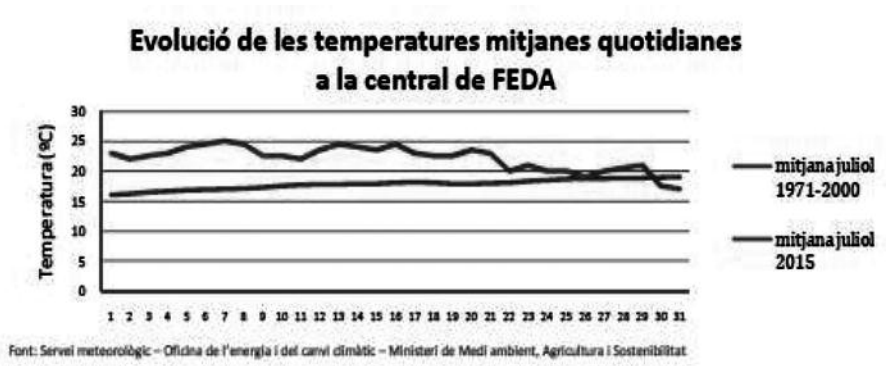
País	Densitat població (hab/km ²)
Islàndia	3
Xipre	76
Eslovènia	102
Andorra	150
Suïssa	196
Luxemburg	210
Liechtenstein	236
San Marino	514
Malta	1340
Mònaco	18728
Espanya	80
França	95

Relació entre meteorologia i climatologia

Per últim, repassarem com es coordina la gestió de la climatologia des dels diferents petits estats. La meteorologia alimenta la climatologia, ja que la primera ciència estudia els fenòmens més immediats, mentre que la segona estudia les característiques meteorològiques típiques de cada regió i n'estudia l'evolució al llarg del temps. Tots els serveis meteorològics, menys el de San Marino, tenen la seva secció de climatologia; alguns la tenen incorporada al servei, com Suïssa, Islàndia, Eslovènia, Xipre i Malta, mentre que d'altres estats, com Liechtenstein i Andorra, tenen una oficina que s'encarrega de la climatologia, també

anomenada oficina o agència del desenvolupament sostenible o del canvi climàtic. En el cas de Liechtenstein treballen amb dades de Météo Suisse, mentre que a Andorra és el Servei Meteorològic que hi està adscrit, en aquest cas a l'Oficina de l'Energia i del Canvi Climàtic del ministeri de Medi Ambient, Agricultura i Sostenibilitat. En el cas de Mònaco, tenen un departament governamental de desenvolupament sostenible.

El següent gràfic (imatge 6) expressa la diferència entre la climatologia i la meteorologia. La línia que segueix una evolució més suau al llarg del mes caracteritza la climatologia, com a mitjana mòbil (amb una amplitud de 5 dies) de la mitjana climàtica diària del mes de juliol del període de referència 1971-2000. De la seva banda, la línia més irregular caracteritza la meteorologia, ja que representa el valor diari de la temperatura mitjana durant el mes de juliol de 2015.



Imatge 6: Gràfic que expressa l'anomalia diària de la temperatura respecte la mitjana climàtica d'un període de referència, en aquest cas s'utilitza el trentenni 1971-2000

En conclusió, els petits estats tenen més necessitats meteorològiques però en canvi no tenen la capacitat per desenvolupar models meteorològics propis, com fan els països grans, a causa de la seva mida. Per tant, o bé es beneficien dels models desenvolupats pels països grans com des d'Andorra utilitzem els models de Météo France, o bé utilitzen els models desenvolupats pels centres de predicció europeu com Eumetsat (European Organisation for the Exploration of Meteorological Satellites) o Eumetnet (The Network of European National Meteorological Services), com fan Suïssa i per extensió Liechtenstein, Eslovènia, Islàndia, Xipre, Malta o San Marino. Establir relacions amb aquests països ens podria servir, per exemple, per perfeccionar els nostres sistemes d'alerta meteorològica com poden ser les onades de calor, ja que són els fenòmens més estranys al Principat d'Andorra.

Per tant, si Andorra vol tenir relacions amb els serveis meteorològics d'algun dels estats hauria d'entrar a formar part d'aquestes organitzacions i participar-hi activament, ja que són

organitzacions més locals que l'OMM (Organització Mundial de la Meteorologia) i en què es tracten temes d'àmbits més similars als d'Andorra.

Com hem vist, els serveis meteorològics dels petits estats s'han anat adaptant a la vigilància meteorològica que han requerit. Andorra no n'és cap excepció. El servei meteorològic es va formar l'any 1982, amb la previsió meteorològica només a l'hivern i en francès. Al llarg d'aquests 33 anys el servei ha evolucionat i avui en dia som el país amb més densitat d'estacions meteorològiques automàtiques del món. El fet d'afrontar el futur al costat d'un gran servei meteorològic com és Météo France i d'altres serveis meteorològics veïns amb tecnologies punteres com són Aemet i Meteocat segur que ens ajudarà a evolucionar i a créixer com a servei meteorològic per donar resposta a les noves necessitats que demanarà el país, encara que no podem donar l'esquena als estats que tenen més similituds i comparteixen més característiques amb el Principat d'Andorra.

Guillem Martín i Bellido,
físic i tècnic al Servei Meteorològic d'Andorra