

El programa internacional HyMeX¹

Pere Quintana Seguí² i l'equip d'HyMeX³

A la regió Mediterrània hi tenen lloc nombrosos riscos hidrometeorològics, com les precipitacions intenses, les riuades o les sequeres. La freqüència i la intensitat d'aquests riscos es pot veure afectada pel canvi climàtic. Per entendre les causes i el funcionament d'aquests fenòmens, cal estudiar el sistema mediterrani de manera acoblada, incloent el mar, l'atmosfera i les superfícies continentals. El programa internacional HyMeX pretén millorar el nostre coneixement del cicle de l'aigua mediterrani de manera multidisciplinària, amb una aproximació multi-escala, fent especial èmfasi en els esdeveniments extrems. Els resultats científics d'HyMeX han de millorar la nostra capacitat de preveure els riscos hidrometeorològics més importants i la seva evolució en el marc del canvi climàtic. Catalunya i Espanya són clau per al programa. És per això que nombrosos grups de recerca i serveis meteorològics espanyols hi participen activament.

1. Introducció

Les característiques físiques de la Mediterrània són úniques (Woodward, 2009). Es tracta d'un mar força petit, quasi tancat, envoltat de continents, que presenten un fort relleu, que estan densament urbanitzats a les zones litorals i que estan travessats per nombrosos rius. Aquestes característiques fan que les interaccions entre l'oceà, l'atmosfera i superfícies continentals siguin múltiples i juguin un rol important en els processos que determinen el nostre temps i el nostre clima.

La Mediterrània és també una zona d'extrems. Les precipitacions intenses, les riuades, els forts vents, les onades de calor de l'estiu, són tots ells riscos que tots els habitants de la Mediterrània coneixem. Malauradament, és possible que en el futur la freqüència i la intensitat d'aquests riscos empitjorin degut al canvi climàtic, ja que l'entorn mediterrani és una regió molt sensible al canvi global (Giorgi 2006). S'espera que augmenti la temperatura, disminueixi la precipitació mitjana durant els períodes secs, n'augmenti la variabilitat (Giorgi and Lionello, 2008). En relació als recursos hídrics, que és un tema clau per a la societat mediterrània en general i l'espanyola i catalana en concret, al canvi climàtic s'hi uneix un increment de la demanda d'un recurs hídric que pot minvar i esdevenir més variable (Iglesias et al., 2007, 2009).

Malauradament, el nostre coneixement sobre l'evolució futura del clima mediterrani és encara força limitat, essent les incerteses nombroses i importants. Les característiques pròpies de la regió fan que sigui fonamental estudiar de manera conjunta les interaccions del sistema oceà-atmosfera-superfície continental i els processos de retroalimentació associats, si es volen aconseguir avenços significatius en la comprensió i la predicció del cicle de l'aigua mediterrani. És per aquesta raó que cal fer un bon monitoratge i una bona modelització del sistema climàtic mediterrani, per tal de millorar-ne el nostre coneixement, quantificar més acuradament els canvis en curs i millorar la nostra capacitat predictiva, per així poder donar directrius que permetin desenvolupar mesures d'adaptació.

També, la capacitat que tenim de preveure els riscos meteorològics que ens afecten és encara massa feble. Per a millorar la predicció d'aquests riscos és important estudiar la contribució de processos a molt fina escala, que interaccionen no linealment amb altres processos de major escala. Això és fonamental si volem millorar de manera tangible els procediments d'alerta primerenca i les mesures de mitigació destinades a evitar la pèrdua de vides humanes i a la reducció dels danys econòmics. A més, el coneixement d'aquests fenòmens és important per a l'avaluació dels efectes dels esdeveniments d'alt impacte sobre els ecosistemes, tant terrestres com marins.

1 Aquest article fou presentat a les XVII Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè (Barcelona, 25, 26 i 27 de novembre de 2011) i fou publicat al corresponent llibre "XVII Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè", Associació Catalana de Meteorologia, 2011, ISBN: 978-84-934207-6-5.

2 Observatori de l'Ebre (URL – CSIC), Horta Alta 38, 43520 Roquetes (Tarragona). pquintana@obsebre.es.

3 <http://www.hymex.org>

2. Objectius científics

Els problemes científics i de societat mencionats anteriorment, han motivat a científics d'arreu de la mediterrània a organitzar-se en un programa de recerca internacional anomenat HyMeX (*Hydrological Cycle in the Mediterranean Experiment*), els objectius del qual són (Ducrocq et al. 2010, Figura 1):

1. **Millorar la quantificació i la comprensió del cicle de l'aigua a la Mediterrània** fent èmfasi en els esdeveniments intensos. Això s'ha de fer mitjançant la monitorització i modelització del sistema mediterrani acoblat, estudiant la seva variabilitat a diferents escales i les seves característiques al llarg d'una dècada, en el context del canvi global.
2. **Avaluar la vulnerabilitat de la societat i del sistema econòmic als esdeveniments extrems i la seva capacitat d'adaptació.**

En el marc del programa es realitzarà recerca multidisciplinària que, conjuntament amb la base de dades que es crearà, servirà per millorar els sistemes d'observació i modelització, la capacitat de predir esdeveniments extrems, la simulació acurada a llarg terme del cicle de l'aigua i, finalment, la definició de mesures d'adaptació.

3. Temes de recerca

La temàtica de recerca que deriva dels objectius definits anteriorment queda estructurada en cinc grans blocs, que es detallen a continuació seguint Ducrocq et al. (2010). Aquests grans blocs coincideixen amb els grups de treball entorn als quals s'organitza HyMeX.

3.1. Balanç hídric de la Mar Mediterrània

El balanç hídric de la Mar Mediterrània, que queda definit per E-P-R (l'evaporació, menys la precipitació, menys l'escorrentia dels rius), és negatiu. Aquest desequilibri és compensat per un doble flux a l'estret de Gibraltar. L'estudi del balanç hídric és clau, perquè aquest governa dos punts bàsics del sistema mediterrani, als quals pot afectar de manera duradora. Aquests són: (1) el ritme de formació d'aigües denses, així com la seva temperatura i salinitat, les quals afecten fortament la circulació termohalina, els cicles biogeoquímics, la pesca i la qualitat de l'aigua, i (2) la densitat i la salinitat del flux d'aigua sortint en profunditat a Gibraltar. Aquest influeix les característiques de l'oceà Atlàntic a profunditats mitjanes.

L'atmosfera afecta fortament el balanç hídric del mar, però el contrari també és cert: el mar afecta l'atmosfera. Per exemple, a nivell local, el mar aporta humitat i energia als esdeveniments precipitants. A l'escala regional, la Mediterrània és una de les fonts principals d'humitat per a les regions que l'envolten (per exemple, el centre d'Europa). De manera que el coneixement dels processos oceànics és important també per a l'estudi dels processos atmosfèrics. També cal tenir en compte l'efecte de les aportacions d'aigua continental al mar (a través dels rius i del subsòl).

Fins ara, el balanç hídric mediterrani no s'ha estudiat mai de manera conjunta, al contrari, s'ha fet de manera separada per cadascun dels compartiments del sistema (atmosfera, oceà, conques hidrològiques continentals) i els resultats no són consistents. Així, HyMeX vol reconciliar les estimacions del balanç utilitzant observacions i models i també vol entendre millor com cadascun dels compartiments afecta els altres, des dels esdeveniments precipitants intensos (d'escala local) al clima (d'escala regional). Per aconseguir-ho caldrà augmentar les observacions en punts clau de la mediterrània que permetran constrènyer millor els models utilitzats per estimar cadascuna de les components del balanç.

3.2. Cicle hidrològic continental

A la zona mediterrània, els processos hidrològics sobre la superfície continental són molt variables en l'espai i en el temps, a causa de la forta variabilitat del règim de precipitació, el marcat relleu, la distribució espacial de les característiques geològiques i els usos dels sòls. Degut a les característiques de la conca mediterrània, l'evaporació juga un rol molt important, però és mal coneguda. Per exemple, encara s'han de fer moltes millores en el coneixement del rol de la vegetació, que és fonamental en l'evapotranspiració. En els darrers anys s'han fet molts avenços amb models de tipus SVAT (*soil-vegetation-atmosphere transfer*), amb models de vegetació i amb la seva combinació, però el camí a recórrer és encara llarg.

A nivell geològic, la mediterrània està envoltada de moltes regions càrstiques, és a dir, regions on s'han creat nombroses cavitats i fractures dins del sòl que afecten fortament la dinàmica de l'aigua subterrània, tot emmagatzemant-la o transportant-la, segons la situació. Aquests sistemes càrstics són altament no lineals i se'n coneix molt malament la geometria, per tant, el càlcul del balanç hídric hi esdevé molt difícil. Tampoc es coneix gaire bé el rol que juguen en les aportacions d'aigua dolça a la mar. La integració d'aquestes estructures en els models és difícil. En general, les característiques pròpies de la regió dificulten la implementació dels models hidrològics regionals necessaris per a estudiar el cicle de l'aigua a aquesta escala. Altres processos que també s'han de tenir en compte són: la neu, la urbanització i el comportament de la humitat del sòl, una variable que cal conèixer bé per a inicialitzar correctament els models hidrològics i meteorològics.

En el context del canvi climàtic, és fonamental que el balanç hídric continental es conegui bé, per així poder preveure'n l'evolució i dissenyar estratègies d'adaptació que siguin eficaces. Això, no es pot fer de manera aïllada i s'ha de fer tenint en compte els altres compartiments del sistema (atmosfera i oceà).

3.3. Esdeveniments de precipitació intensa i inundacions ràpides

Les precipitacions intenses i les inundacions ràpides són comunes a les costes mediterrànies. Es solen produir a la tardor, quan el mar és relativament càlid i arriben les necessàries depressions sinòptiques que, amb l'ajuda de l'orografia, poden causar les precipitacions intenses. Després, la presència de nombroses petites conques amb un fort pendent, faciliten que les precipitacions intenses esdevinguin inundacions ràpides. Aquestes situacions són molt típiques a les nostres contrades.

L'estudi d'aquests esdeveniments fortament precipitants no és fàcil, ja que hi ha una gran diversitat de mecanismes en joc, que interaccionen de manera no lineal a escales diferents. Degut a la riquesa dels processos involucrats, la simulació i la predicció dels esdeveniments intenses és difícil. Falten observacions sobre el mar, on aquests es formen, i també falten observacions dels processos microfísics i dinàmics que tenen lloc dins dels sistemes convectius. No obstant, els models no hidrostàtics d'alta resolució estan aconseguint simular de manera força realista els sistemes de precipitació intensa. Però, hi ha encara força dificultats, com ara la inicialització dels sistemes i la parametrització de la microfísica dels processos en joc.

Un cop produïts els fenòmens precipitants intenses, és difícil simular-ne bé els efectes en forma d'inundacions ràpides, degut a la manca de conques ben instrumentades on s'hi observin tots els processos rellevants i a la dificultat de la transferibilitat dels models hidrològics d'una conca a una altra degut a la forta heterogeneïtat espacial.

Finalment, el canvi climàtic pot afectar el funcionament de tots aquests sistemes, canviant-ne la freqüència i la intensitat, fent que sigui molt important la comprensió de com aquests es relacionen amb el sistema mediterrani acoblat.

3.4. Interaccions intenses entre el mar i l'atmosfera

Les interaccions entre el mar i l'atmosfera són especialment intenses en alguns punts clau de la Mar Mediterrània. Aquestes interaccions afecten el funcionament tant de l'oceà com de l'atmosfera. Els forts vents són els causants d'interaccions intenses mar-atmosfera, que formen aigües denses i la conseqüent convecció oceànica profunda. Tot i que els ingredients bàsics de la formació d'aquests vents regionals forts són coneguts, encara s'han de respondre moltes qüestions relacionades amb el detall dels mecanismes presents i la seva variabilitat temporal.

Els forts vents, que tenen lloc des de la tardor fins a l'hivern, poden causar la destratificació de la capa de mescla formada durant l'estiu, seguida d'una convecció oceànica a punts específics i/o la formació d'aigües denses. Ara bé, aquests processos també depenen d'altres factors, com el corrent Tirreni (Grignon et al. 2010). Els vents forts també són els responsables de canvis molt ràpids entre els fluxos oceà-atmosfera. No obstant la resposta del mar a aquests canvis, en particular durant els esdeveniments de convecció profunda, no és ben coneguda, ja que les escales dels processos dinàmics relacionats són molt diferents a l'oceà i l'atmosfera.

Després de l'hivern, quan el mar es torna a estratificar, les aigües denses formades es propaguen, contribuint a la circulació termohalina. Aquest és un procés molt variable d'un any a l'altre. Cal remarcar que la jerarquia dels processos i la complexitat de les interaccions no és coneix prou bé degut a la manca

d'observacions adequades.

3.5. Vulnerabilitat social i capacitat d'adaptació

La població a la regió mediterrània està augmentant, incrementant la superfície urbanitzada, especialment a les zones costaneres. En el context del canvi climàtic la població es confronta a canvis ambientals a diferents escales, des dels esdeveniments extrems de petita escala fins a canvis de més llarg terme, com les sequeres. L'impacte humà no només s'ha de considerar des d'un punt de vista de l'augment de la vulnerabilitat, també s'ha d'estudiar com a factor que contribueix en el propi risc.

Per tal de reduir les pèrdues econòmiques i humanes, s'ha de realitzar recerca en diferents àmbits. Per una banda cal entendre millor la física i la previsió dels esdeveniments, per l'altra cal estudiar el comportament dels les persones enfront als riscos, ja que aquest explica l'encara alt nivell de pèrdues humanes. En aquest camp, l'aproximació més típica consisteix en generar bases de dades que incloguin informació sobre les característiques físiques dels esdeveniments i dades sobre els danys causats. Estudis recents mostren que moltes pèrdues humanes es deuen més a comportaments perillosos que a una vulnerabilitat passiva. Així, l'estudi de les circumstàncies concretes de la mort poden ser molt útils per a proposar estratègies d'adaptació.

El concepte de serveis dels ecosistemes (SE) serveix per a connectar els humans amb el seu medi ambient. Els SE i la seva vulnerabilitat depenen molt de l'estat de l'(agro)ecosistema i les seves interaccions bidireccionals amb l'aigua i el clima. Malgrat els SE es poden mesurar de la mateixa manera arreu de la mediterrània, la dependència dels humans dels SE depèn de factors locals. Les sequeres poden tenir un fort impacte en els SE. Així, l'anàlisi dels efectes dels diferents factors dominants en l'estat dels ecosistemes pot generar nova informació sobre la desertificació de la mediterrània.

4. Estratègia d'implementació

L'estratègia del programa queda definida sobre dos grans eixos principals: la observació i la modelització.

4.1. Observació

L'estratègia general d'observació consta de tres nivells (Figura 2):

- 1. Un període d'observació de llarg terme (LOP).** Ha de durar 10 anys i es va iniciar l'any 2010. Aquest ha de servir per reunir observacions sobre tot el sistema acoblat per tal d'analitzar la variabilitat estacional i interanual del cicle de l'aigua i per a estimar el balanç hídric. El LOP implica una intensificació de les observacions operatives actuals (Figura 3) i cobreix tota la Mediterrània. En el cas dels esdeveniments de gran impacte que puguin ocórrer, s'organitzaran estudis dedicats i investigacions post-esdeveniment.
- 2. Períodes d'observacions intensificades (EOP).** Dedicats a estudiar el balanç hídric i els processos. L'EOP ha de durar 4 anys i inclou període d'observació especial. L'EOP es basa en la intensificació dels sistemes d'observació operativa en algunes àrees-objectiu (*target areas*, TA) per a esdeveniments de fort impacte.
- 3. Períodes d'observació especial (SOP).** Han de durar alguns mesos. El seu objectiu és recollir dades detallades a les TA per a estudiar processos clau. En aquest cas, apart dels sistemes d'observació disponibles durant l'EOP, es disposarà de mitjans dedicats, fixes, mòbils i aeris.

Tres **àrees-objectiu** (*target area*) han estat definides: la mediterrània nord-occidental, l'adriàtic i la mediterrània sud-oriental (Figura 4).

En aquest article ens centrarem en la Mediterrània nord-occidental. Aquesta àrea concentra tots els fenòmens hidrometeorològics que són d'interès per a HyMeX: precipitacions intenses, formació d'aigües denses al Golf de Lleó sota la influència dels forts vents i la ciclogènesi. La regió també inclou el Roine i l'Ebre, que són rius mediterranis majors i moltes petites conques que responen amb riudes als esdeveniments de precipitacions intenses.

Està previst instal·lar instruments en àrees clau de la nostra àrea, seguint la següent estratègia:

- **Cinc zones hidrometeorològiques:** València, Catalunya, Cévennes-Vivarais, Liguria-Toscana i el Lazio. L'estat d'organització i d'implementació del projecte en aquestes zones és variable. En aquestes àrees també s'hi han d'implementar zones pilot per a la implementació de models hidrològics distribuïts a l'escala regional. L'Ebre n'és un exemple. Dins d'aquestes zones hi poden haver super-zones, que tenen una escala d'1 a 10 km² i que serviran per a estudiar processos a petita escala.
- **Dues zones atmosfèriques** ben situades per observar el flux que alimenta els sistemes precipitants costaners. Aquestes zones són Menorca i Còrsega.
- **El Golf de Lleó** és una zona per a l'**estudi oceanogràfic** amb dues super-zones equipades amb boies i ancoratges. Aquesta zona servirà per a la monitorització de la formació d'aigües denses.

4.2. Modelització

L'estratègia de modelització està molt associada a l'estratègia d'observació i inclou:

1. Desenvolupament i millora de models acoblats (AORCM) per obtenir una millor descripció i coneixement del cicle de l'aigua mediterrani i la seva variabilitat i tendència. Desenvolupament d'un joc de projeccions climàtiques regionals.
2. Millora dels sistemes de predicció determinista dels esdeveniments convectius de gran impacte.
3. Disseny de sistemes de modelització d'*ensemble* dedicats a l'estudi de la precipitació intensa i la ciclogènesi severa. Quantificar i avaluar les diferents fonts d'incertesa per a la predicció d'esdeveniments intensos a diferents escales. Acoblar sistemes de previsió d'*ensemble* amb models hidrològics per així fer prediccions probabilístiques de la resposta hidrològica i estudiar la predictibilitat de les riuades ràpides.
4. Simulació hidrològica de tota la conca mediterrània amb assimilació de dades. Simulació de conques pilot, com l'Ebre, a l'escala regional, i simulació dels processos a petites conques. Millora del coneixement de la resposta hidrològica i l'estat de la humitat del sòl abans i durant els esdeveniments intensos, per millorar la inicialització i la representació dels processos en els models hidrològics.
5. Modelització de nous processos i millora de les parametritzacions rellevants per als diferents compartiments del sistema Terra. Desenvolupament de tècniques d'assimilació.
6. Desenvolupament de models acoblats oceà-atmosfera d'alta resolució per a la Mediterrània occidental.
7. Assimilació de dades, atmosfèrica, oceànica i hidrològica.

5. Organització

El programa HyMeX va redactar un llibre blanc (Ducrocq i Drobinski, 2008) que va ser el primer pas abans de redactar un *International Science Plan* (Ducrocq et al. 2010). La implementació del projecte s'està especificant actualment a l'*International Implementation Plan* (que encara no és públic). El pla científic està organitzat en els cinc grans temes científics mencionats anteriorment. En canvi, el pla d'implementació s'està redactant en base *task teams* que treballen en les plataformes d'observació i modelització i en tasques transversals. La coherència del projecte està supervisada per l'*International Scientific Steering Committee*, presidit per P. Lionello i P. Drobinski. També hi ha un comitè executiu internacional per a la implementació i la coordinació científica i una oficina del projecte. HyMeX està molt internacionalitzat (Figura 5) i s'han creat comitès executius nacionals a diferents països. Des de l'any 2007 s'han organitzat anualment *workshops* d'HyMeX. El programa ha rebut el suport de la OMM, de WWRP-THORPEX, de WCRP-GEWEX i Med-CORDEX fet que el situa molt bé en el context internacional.

Espanya és un dels majors contribuïdors a les activitats d'HyMeX i també un beneficiari directe dels resultats científics que se'n deriven. Geogràficament, Espanya està molt ben situada: és zona d'interfície entre l'Atlàntic i la Mediterrània, posseeix una gran varietat de conques hidrològiques interessants i les Illes Balears estan estratègicament situades. Moltes de les disciplines que tracta el programa són línies de recerca pròpies de grups espanyols i les observacions que realitzen actualment els diferents serveis meteorològics i confederacions hidrogràfiques són de gran utilitat per al projecte. Recentment, prop de 25 grups de serveis

meteorològics, universitats i instituts de recerca espanyols han mostrat explícitament el seu compromís amb el programa i s'han coordinat amb la finalitat de promoure accions concertades de caràcter científic. HyMeX.es⁴ estableix un marc que facilita l'intercanvi i la transferència de coneixements i plans d'implementació entre grups i ofereix un únic interlocutor organitzat.

6. Exemple: Balanç hídric de la conca de l'Ebre i Catalunya

Són diversos els projectes científics que es desenvolupen en el nostre país en el marc d'HyMeX. A continuació presentarem, a mode d'exemple, un projecte en curs que va néixer dins l'òrbita HyMeX i mostra l'interès que pot tenir aquest programa a les nostres contrades.

La Conca de l'Ebre és la segona conca més important de la mediterrània occidental, després del Roine, i juga un rol fonamental per a la gestió dels recursos hídrics a la Península Ibèrica. Les seves característiques són típicament mediterrànies: (1) és fortament heterogènia, hi ha una gran variabilitat espacial i temporal de la precipitació, l'evapotranspiració i la humitat del sòl; (2) està molt influïda per l'home, via els canvis en els usos dels sòls i la gestió hidràulica (López-Moreno et al., 2011); (3) el canvi climàtic la pot afectar negativament allargant els períodes secs, reduint la massa de neu acumulada al Pirineu durant l'hivern, etc. (Altava-Ortiz et al., 2011; Quiroga et al. 2011); (4) les seves aportacions d'aigua i nutrients a la Mediterrània són rellevants per a nombrosos processos costaners i oceanogràfics (Ludwig et al. 2010); i (5) pateix esdeveniments de precipitació intensa a la seva part oriental (Llasat et al. 2005). Això fa que sigui una conca molt interessant des del punt de vista d'HyMeX.

Actualment, l'Observatori de l'Ebre (URL - CSIC), en col·laboració amb AEMET, Météo-France i la Universitat de Barcelona està treballant en la implementació d'un model hidrològic distribuït que ha de cobrir la conca de l'Ebre i Catalunya (Quintana-Seguí et al, 2011b). El projecte té diverses finalitats. Per una banda, mitjançant la implementació d'un sistema d'anàlisi meteorològica (Quintana-Seguí et al., 2008; Figura 6) i d'un model de superfície continental (Noilhan i Mahfouf, 1996), es vol estudiar el balanç hídric de la conca a una resolució de 5 km. Això ha de permetre conèixer millor els termes del balanç i el rol de la humitat del sòl, una variable que és fonamental per a la inicialització de models hidrològics i meteorològics. Per l'altra banda, s'està treballant en mètodes de desagregació estadística (Turco et al., 2011), que han de permetre forçar el model de superfície amb escenaris futurs de qualitat per així conèixer l'evolució futura del balanç hídric de la conca en un context de canvi climàtic. Això serà molt útil per a l'estudi dels recursos hídrics futurs a la conca, però també per a conèixer millor l'evolució futura dels extrems hidrometeorològics que afecten la zona (Quintana-Seguí et al., 2011a). Aquest estudi s'està fent amb les mateixes eines que s'estan utilitzant França (Habets et al., 2008), el que permetrà transferir coneixements i comparar resultats de manera efectiva per així arribar a conclusions que siguin transversals a la Mediterrània i no només limitades a les diferents conques.

7. Conclusions

HyMeX és un programa molt ambiciós que pretén abordar el cicle hidrològic mediterrani des de tots els punts de vista i escales necessàries per comprendre els detalls del seu funcionament. El programa ha d'aconseguir millorar la quantitat i la qualitat de les dades disponibles, per així millorar les eines de modelització necessàries per a comprendre els processos implicats. Els resultats científics d'HyMeX han de millorar la nostra capacitat de preveure els riscos hidrometeorològics més importants a la Mediterrània, incloent les precipitacions intenses i les conseqüents riuades. La millora en el coneixement del sistema acoblat permetrà millorar la comprensió del sistema climàtic mediterrani i la producció d'escenaris climàtics més fiables. Espanya és clau en el programa, per la seva situació geogràfica i pels interessos científics dels nostres investigadors. Els grups de recerca i serveis meteorològics del nostre país podran aportar una quantitat important de dades i de coneixements al projecte i, al mateix temps, en rebran els fruits. A la vegada, HyMeX és una oportunitat per continuar en la internacionalització dels nostres grups de recerca i per a influir en l'agenda de recerca internacional sobre temes científics que tenen conseqüències importants per a la nostra societat.

4 <http://www.hymex.es>

8. Referències

- Altava-Ortiz, Vicent, María-Carmen Llasat, Ennio Ferrari, Aitor Atencia, and Beniamino Sirangelo. 2011. "Monthly rainfall changes in Central and Western Mediterranean basins, at the end of the 20th and beginning of the 21st centuries." *International Journal of Climatology* 31(13):1943-1958. (<http://doi.wiley.com/10.1002/joc.2204>).
- Drobinski, Philippe, and Véronique Ducrocq. 2008. *HyMeX White Book*. (http://www.hymex.org/public/documents/WB_1.3.2.pdf).
- Ducrocq, V. et al. 2010. *HyMeX International Science Plan*. (http://www.hymex.org/public/documents/HyMeX_Science_Plan.pdf).
- Giorgi, F, and P Lionello. 2008. "Climate change projections for the Mediterranean region." *Global and Planetary Change* 63(2-3):90-104. (<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921818107001750>).
- Giorgi, F. 2006. "Climate change hot-spots." *Geophysical Research Letters* 33(8). (<http://www.agu.org/pubs/crossref/2006/2006GL025734.shtml>).
- Habets, F. et al. 2008. "The SAFRAN-ISBA-MODCOU hydrometeorological model applied over France." *Journal of Geophysical Research* 113:D06113. (<http://www.agu.org/pubs/crossref/2008/2007JD008548.shtml>).
- Iglesias, Ana, Luis Garrote, Antonio Cancelliere, Francisco Cubillo, and Donald A. Wilhite. 2009. *Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply: Drought Management Guidelines for the Mediterranean*. Springer.
- Iglesias, Ana, Luis Garrote, Francisco Flores, and Marta Moneo. 2006. "Challenges to Manage the Risk of Water Scarcity and Climate Change in the Mediterranean." *Water Resources Management* 21(5):775-788. (<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11269-006-9111-6>).
- Llasat, Maria-Carmen, Mariano Barriendos, Antonio Barrera, and Tomeu Rigo. 2005. "Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records." *Journal of Hydrology* 313(1-2):32-47. (<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169405000272>).
- Ludwig, W., A. F. Bouwman, E. Dumont, and F. Lespinas. 2010. "Water and nutrient fluxes from major Mediterranean and Black Sea rivers: Past and future trends and their implications for the basin-scale budgets." *Global Biogeochemical Cycles* 24. (<http://www.agu.org/pubs/crossref/2010/2009GB003594.shtml>).
- López-Moreno, J. I. et al. 2011. "Impact of climate evolution and land use changes on water yield in the Ebro basin." *Hydrology and Earth System Sciences* 15(1):311-322. (<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/15/311/2011/>).
- Noilhan, J, and J Mahfouf. 1996. "The ISBA land surface parameterisation scheme." *Global and Planetary Change* 13(1-4):145-159.
- Quintana-Seguí, P. et al. 2008. "Analysis of Near-Surface Atmospheric Variables: Validation of the SAFRAN Analysis over France." *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47:92-107. (<http://ams.allenpress.com/perlserv/?request=get-abstract&doi=10.1175/2007JAMC1636.1>).
- Quintana-Seguí, Pere, Florence Habets, and Eric Martin. 2011a. "Comparison of past and future Mediterranean high and low extremes of precipitation and river flow projected using different statistical downscaling methods." *Natural Hazards and Earth System Science* 11(5):1411-1432. (<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/1411/2011/>).
- Quintana-Seguí, Pere, Marco Turco, and Maria-Carmen Llasat. 2011b. "Implementation of a distributed model for the simulation of the past, present and future water balance of the NE Iberian Peninsula." *Geophysical Research Abstracts* 13:6700-6700.
- Quiroga, S. et al. 2011. "The economic value of drought information for water management under climate change: a case study in the Ebro basin." *Natural Hazards and Earth System Science* 11(3):643-657. (<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/643/2011/>).

- Turco, Marco, Pere Quintana-Seguí, M. C. Llasat, Sixto Herrera, and José Manuel Gutiérrez. 2011. "Testing MOS precipitation downscaling for ENSEMBLES regional climate models over Spain." *Journal of Geophysical Research* 116(D18). (<http://www.agu.org/pubs/crossref/2011/2011JD016166.shtml>).
- Woodward, J C. 2009. *The physical geography of the Mediterranean*. Oxford University Press.

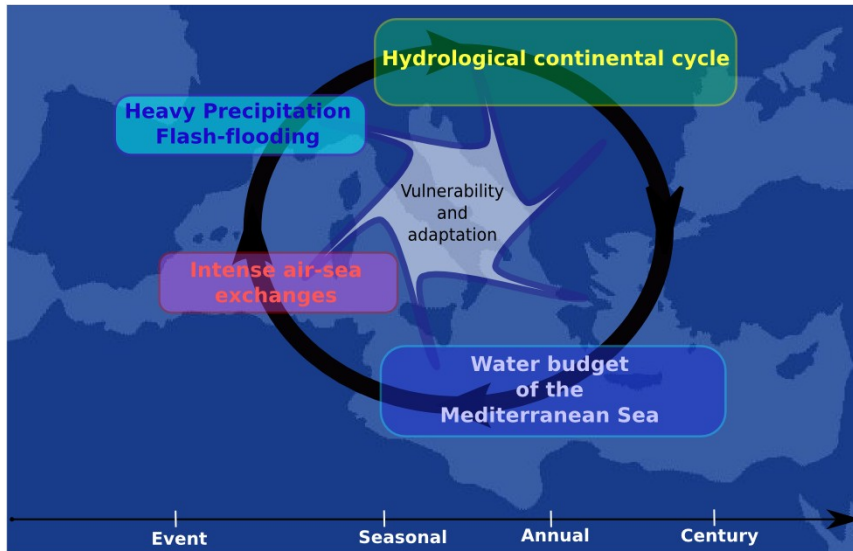


Figura 1. Temàtica científica d'HyMeX i escales de temps involucrades.

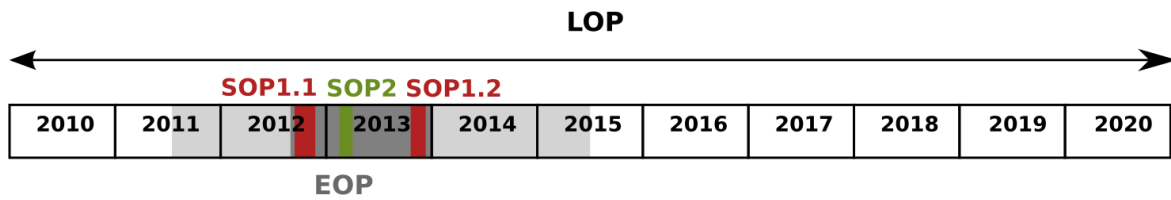


Figura 2. Períodes d'observació a la Mediterrània nord-occidental.

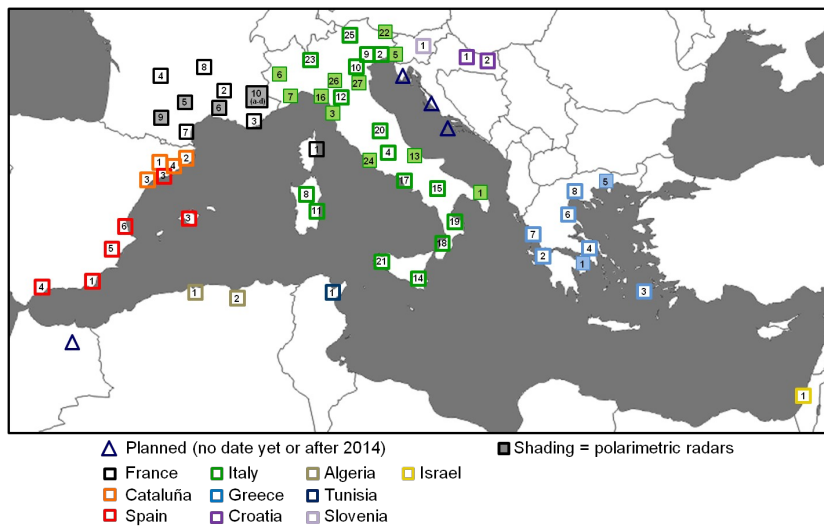


Figura 3. Xarxes de radars a la Mediterrània.

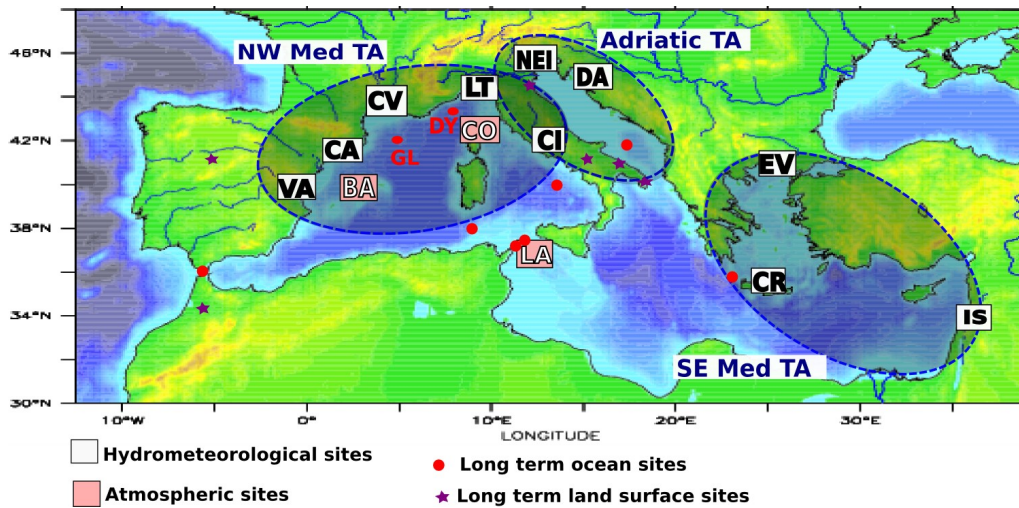


Figura 4. Àrees prioritàries d'estudi.

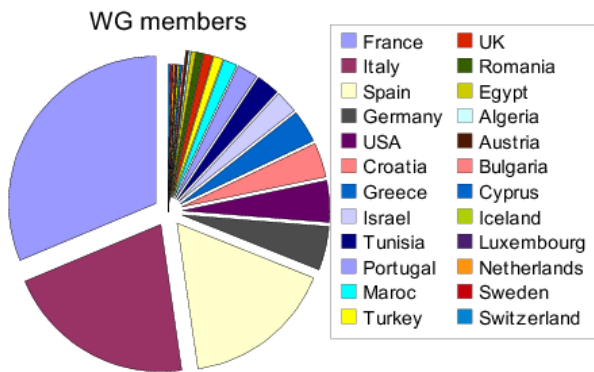


Figura 5. Distribució en països dels membres dels grups de treball d'HyMeX. Espanya és el tercer país en nombre de participants.

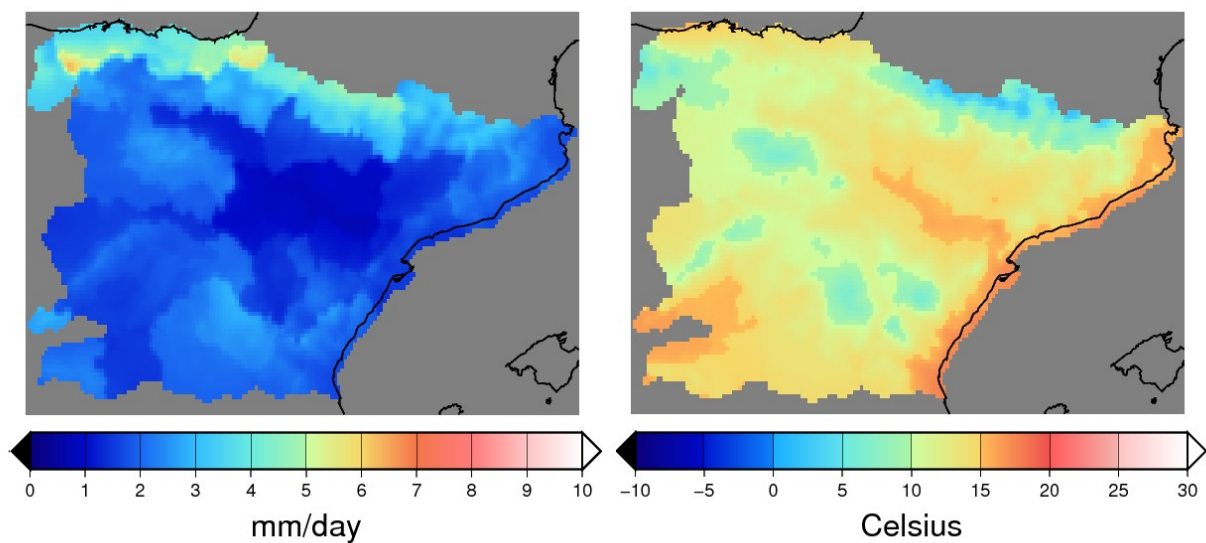


Figura 6: Precipitació (esquerra) i Temperatura (dreta) mitjanes per l'any hidrològic 2009/2010 al nord-est de la Península Ibèrica reproduïdes pel sistema d'anàlisi atmosfèrica SAFRAN.