

Una mirada al programa HyMeX

P. Quintana¹, V. Homar², M. C. Llasat³, A. Jansà⁴, J. Font⁵ i M. Aran⁶

¹Observatori de l'Ebre (URL CSIC). Horta Alta 38, Roquetes, Tarragona

²Dep. de Física, Universitat de les Illes Balears. Ctra. Valldemossa km 7.5, Palma

³GAMA, Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona. Martí i Franquès 1, Barcelona

⁴AEMET, Moll de Ponent s/n, Palma

⁵Departament d'Oceanografia Física, Institut de Ciències del Mar (CSIC) Pg. Marítim de la Barceloneta 37-49, Barcelona

⁶Servei Meteorològic de Catalunya, Carrer de Berlín 38, Barcelona

Rebut: 26-VI-2012 – Acceptat: 5-XII-2012 – Versió Original

Correspondència a: pquintana@obsebre.es

Resum

El programa internacional HyMeX (Hydrological Mediterranean Experiment) té com a objectiu la millora del nostre coneixement del cicle de l'aigua a la Mediterrània, treballant de manera multidisciplinària, amb una aproximació multi-escala i fent especial èmfasi en els esdeveniments extrems. Aquest programa ha de permetre millorar el nostre coneixement i la nostra capacitat predictiva en relació als riscos hidrometeorològics més importants i la seva evolució durant el proper segle. Un dels resultats més importants del programa seran les seves campanyes d'observació, les quals milloraran fortament les dades disponibles, permetent avenços científics significatius. Es descriu l'interès del programa per als grups de recerca espanyols i la implicació activa d'alguns d'ells en el disseny i l'execució de les activitats d'observació. Al mateix temps, per la seva situació geogràfica, Espanya és clau per al programa, essent una molt bona plataforma d'observació. HyMeX enriqueix la recerca dels grups espanyols, millorarà la capacitat predictiva dels serveis meteorològics, ajudarà a comprendre millor els impactes dels extrems hidrometeorològics sobre la societat i ens permetrà definir millors estratègies d'adaptació al canvi climàtic.

Paraules clau: Mediterrània, cicle hidrològic, extrems, canvi climàtic, observació

1 Introducció

La Mediterrània és geogràficament única (Woodward, 2009): és relativament petita, quasi tancada, amb clima semi-àrid, envoltada de continents amb un fort relleu, densament urbanitzats a les zones litorals i travessats per nombrosos rius. En conseqüència presenta unes característiques meteorològiques peculiars (Jansà, 1966) que fan que les interaccions entre l'oceà, l'atmosfera i les superfícies continentals siguin múltiples i especialment determinants a la regió.

Les precipitacions intenses, les pedregades, les riuades i els forts vents són comuns a la regió (Jansà, 1997; Llasat, 2009). També són importants els incendis forestals, les onades de calor i les sequeres de l'estiu. És possible que en el futur la seva freqüència i la intensitat empitjorin a causa del canvi climàtic (Giorgi, 2006). S'espera que augmenti la temperatura, disminueixi la precipitació mitjana durant l'estiu i que n'augmenti la variabilitat (Giorgi i Lionello, 2008). En

relació als recursos hídrics al canvi climàtic s'uneix un increment de la demanda d'un recurs que pot minvar i esdevenir més variable (Iglesias et al., 2006, 2009).

El coneixement sobre l'evolució futura del clima mediterrani és encara limitat, essent significatives les llacunes sobre tendències i variabilitat a escales regionals i locals. Per millorar és fonamental estudiar de manera conjunta les interaccions del sistema oceà-atmosfera-superfície continental i els processos de retroalimentació associats.

D'altra banda, la capacitat de previsió de fenòmens d'alt impacte és encara insuficient. Cal que millorem el nostre coneixement dels processos a escala molt fina i la seva interacció no lineal amb altres processos de major escala. Cal fer-ho multidisciplinàriament per millorar el coneixement de manera integral, tant dels ambients que condicionen els processos, com la seva evolució i per millorar els sistemes de vigilància i predicció. A més, el coneixement d'aquests fenòmens és important per a l'avaluació dels seus efectes

sobre el medi ambient i els ecosistemes, tant terrestres com marins.

Generalment, aquests tipus d'estudis multidisciplinaris requereixen ser abordats en el context de projectes de gran envergadura, que moltes vegades consisteixen en programes marc avalats per organismes internacionals com poden ser l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) o UNESCO. Exemples d'aquest tipus de programa serien FRIEND (*Flow Regimes from International Experimental and Network Data*), on el pol Mediterrani era tractat inicialment dins del projecte AMHY (*Alpine and Mediterranean Hydrology*) i actualment per MedFriend, GEWEX (*Global Energy and Water Cycle Experiment*), que forma part del WCRP (*World Climate Research Project*), i finalment MEDEX (*Mediterranean Experiment*), que fou un projecte predominantment meteorològic (<http://medex.aemet.uib.es>) que contribuï científicament i en construcció de xarxa de la comunitat meteorològica mediterrània, deixant una valuosa herència per a projectes posteriors com HyMeX.

L'article revisa els objectius del projecte HyMeX, així com les seves diferents àrees temàtiques, concretades en grups de treball. Després, continua revisant l'estratègia d'aplicació, fent especial incidència en la fase d'observació de la tardor de 2012 a la Mediterrània Occidental. Finalment, es presenta un exemple concret d'activitat, relatiu a la temàtica del grup de treball 2, que pretén la modelització hidrològica de la conca de l'Ebre per aplicar-la a escenaris futurs. Un breu sumari i conclusions tanquen l'article.

2 Objectius científics

Els reptes científics mencionats anteriorment han motivat a grups de recerca d'arreu del món a organitzar-se en el programa de recerca internacional HyMeX (*Hydrological Cycle in the Mediterranean Experiment*), els objectius del qual són (Ducrocq et al., 2010):

- 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 l'observació i la modelització del sistema mediterrani acoblat, estudiant la seva variabilitat a diferents escales i les seves característiques al llarg d'una dècada, en el context actual de fort canvi global.
- Avaluar la vulnerabilitat de la societat i del sistema econòmic als esdeveniments extrems i la seva capacitat d'adaptació, fent especial incidència en l'impacte de les inundacions i sequeres. Els aspectes ecològics i els serveis ambientals també queden considerats en aquest objectiu.

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, modelització i predicció, a escales des de les hores fins a les dècades. En darrera instància, permetrà definir mesures

d'adaptació sòlides per fer front als reptes plantejats pels canvis globals previstos per a les properes dècades a la regió mediterrània.

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 la planificació científica d'HyMeX. Cal aclarir que els límits dels grups de treball no són tancats, podent enllaçar-se els diferents temes donades les característiques transversals del projecte.

3.1 Balanç hídric de la Mar Mediterrània

El balanç hídric de la Mar Mediterrània (Mariotti et al., 2002) (E-P-R, l'evaporació, menys la precipitació, menys l'escolament 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, els quals pot afectar de manera duradora: (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, que influeix les característiques de l'oceà Atlàntic a profunditats mitjanes.

L'atmosfera i el mar mediterranis s'afecten mútuament. Per exemple, a nivell local, el mar aporta humitat i energia als esdeveniments precipitants i determina en gran part la inestabilitat atmosfèrica a baixos nivells. A l'escala regional, la Mediterrània és una de les fonts principals d'humitat per a les regions que l'envolten. L'efecte de les aportacions d'aigua continental al mar (a través dels rius i del subsòl) és també un factor important en la dinàmica hídrica mediterrània.

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 i conques hidrològiques continentals) i els resultats no són consistents. 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 sistemes convectius intensos (d'escala local) al clima (d'escala regional). Per aconseguir-ho caldrà augmentar les observacions en punts clau de la Mediterrània, per així fitar 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 de la precipitació, el marcat relleu, la distribució espacial de les característiques

geològiques i els usos del sòl. A causa de les característiques de la conca mediterrània, l'evaporació juga un rol molt important, però és poc coneguda. Per exemple, encara s'han de fer moltes milleres 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 distribuïts basats en models de tipus SVAT (soil-vegetation-atmosphere transfer) (Noilhan i Planton, 1989; Noilhan i Mahfouf, 1996; Boone et al., 1999), amb models de vegetació (Calvet et al., 1998; Gibelin et al., 2006) i amb la seva combinació, però les llacunes en el coneixement d'aquests processos són encara importants.

A nivell geològic, la Mediterrània està envoltada de moltes regions càrstiques que afecten fortament la dinàmica de l'aigua subterrània. Aquests sistemes càrstics són altament no lineals i se'n té un coneixement molt limitat de la geometria, per tant, el càlcul del balanç hídric esdevé molt difícil i especulatiu. Tampoc es coneix gaire el rol que juguen en les aportacions d'aigua dolça a la mar. La integració d'aquestes estructures en els models és complexa. En general, les característiques pròpies de la regió dificulten l'elaboració dels models hidrològics regionals necessaris per a estudiar el cicle de l'aigua a aquesta escala (Habets et al., 2008; Quintana-Seguí et al., 2009). 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 i que recentment s'està podent començar a mesurar des de satèl·lit (Kerr et al., 2010).

En el context actual de fort 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 torrencials

Les precipitacions intenses i les inundacions sobtades són comunes a les conques mediterrànies. Es solen produir a finals d'estiu i a la tardor (sobretot a la part occidental), quan el mar és relativament càlid afavorint una forta inestabilitat latent i una elevada evaporació, en situacions atmosfèriques marcadament meridionals usualment associades a depressions sinòptiques o mesoscalars, que afavoreixen i organitzen l'advecció d'aire càlid i humit a nivells baixos sobre el continent, així com l'alliberació de la inestabilitat latent i el forçament ascendent, factors on juga també un paper molt important l'orografia mediterrània (Jansà et al., 1996; Llasat, 2009). Després, les petites conques amb un fort pendent característiques de la regió faciliten que les precipitacions intenses esdevinguin inundacions torrencials, o, fins i tot, si la situació és estacionària i el procés es va realimentant, poden donar lloc a desbordaments en conques més extenses.

L'estudi d'aquests esdeveniments de precipitacions intenses i abundants no és senzill, ja que hi ha una gran diversitat de mecanismes no lineals en joc, fent que la nostra capacitat predictiva sigui relativament limitada actualment. Ens manquen observacions sobre el mar i també ens manquen observacions dels processos microfísics i dinàmics que tenen lloc dins dels sistemes convectius. No obstant això, els models de recerca no hidrostàtics d'alta resolució estan aconseguint simular de manera força realista aquests sistemes de precipitació intensa (i.e. Chancibault et al., 2006). Però les dificultats són encara importants, com ara la inicialització dels sistemes i la parametrització de la microfísica dels processos.

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

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, afectant el funcionament tant de l'oceà com de l'atmosfera. Els forts vents intensifiquen notablement les interaccions, afavorint la formació d'aigües denses i la convecció oceànica profunda (Marshall i Schott, 1999). 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 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. 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 es coneix prou bé a causa de la manca d'observacions adequades.

3.5 Vulnerabilitat social i capacitat d'adaptació

La població a la regió mediterrània està augmentant especialment a les zones costaneres. Moltes d'aquestes zones es caracteritzen pel seu elevat risc d'inundacions, en conjuntar-se una elevada probabilitat de pluges intenses, amb

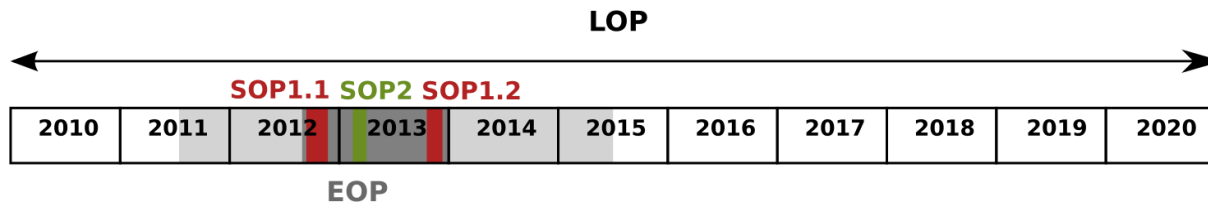


Figura 1. Períodes d'observació a la Mediterrània nord-occidental (Font, HyMeX).

la presència de conques torrencials. Malgrat les mesures preventives preses, usualment amb infraestructures hidràuliques més o menys grans, es tracta d'un risc que augmenta sobretot per l'augment de la vulnerabilitat, inclosa l'exposició (Nepel et al., 2003; Llasat et al., 2008). Una situació similar succeeix amb la sequera.

L'estudi de l'impacte humà no és simple, ja que pot incidir en la vulnerabilitat i la perillositat, generant respostes de molt difícil modelització. 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 al propi risc. En el context del canvi climàtic, la població es confronta a canvis ambientals a diferents escales, des dels esdeveniments extrems de petita escala (tempestes i inundacions torrencials) fins a canvis a més llarg termini, com l'augment en la freqüència de les sequeres.

Per tal de reduir les pèrdues econòmiques i humanes, s'ha de fer recerca en diferents àmbits. Per una banda cal entendre millor la física i el procés de predicció dels esdeveniments, així com les mesures de prevenció. Per l'altra, cal estudiar tots els factors que poden incidir en l'impacte, com seria el comportament de les persones enfront als riscos, el cost de la vida i les assegurances, les característiques dels edificis i estructures exposades, etc. En aquest camp, l'aproximació més típica consisteix a generar bases de dades que incloguin informació sobre les característiques físiques dels esdeveniments i dades sobre els danys causats (i.e. Barnolas i Llasat, 2007; Guzzetti i Tonelli, 2004; Llasat et al., 2009). L'anàlisi dels episodis amb major impacte pot ajudar a determinar els factors que incrementen el risc. Amb aquest objectiu, es treballa també amb indicadors proxy com les peticions rebudes als serveis meteorològics (Amaro et al., 2010). Estudis recents mostren que moltes pèrdues humanes es deuen més a comportaments perillosos que a una vulnerabilitat passiva (i.e. Ruin et al., 2008).

Finalment, 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 que 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'aplicació

D'acord amb els documents bàsics d'HyMeX (www.hymex.org) l'estratègia del programa queda definida sobre dos grans eixos principals: l'observació i la modelització.

4.1 Observació

L'estratègia general d'observació consta de tres nivells (Figura 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 estimar el balanç hídric. El LOP implica una intensificació de les observacions operatives actuals i cobreix tota la Mediterrània. En el cas dels esdeveniments de gran impacte que puguin ocórrer, s'organitzaran estudis dedicats i investigacions post-esdeveniment.
- Períodes d'observacions intensificades (EOP). Aquests estan dedicats a estudiar el balanç hídric i els processos. L'EOP ha de durar 4 anys, de mitjan 2011 fins a mitjan 2015, i inclou períodes 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.
- Períodes d'observació especial (SOP). Han de durar pocs mesos, entre 2012 i 2013. El seu objectiu és recollir dades detallades a les TA per a estudiar processos clau. En aquest cas, a part dels sistemes d'observació disponibles durant l'EOP, es disposarà de mitjans dedicats, fixos, mòbils i aeris.

Tres àrees-objectiu han estat definides: la Mediterrània Nord-occidental, l'Adriàtic i la Mediterrània Sud-oriental (Figura 2).

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 sota la influència dels forts vents i la ciclogènesi al Golf de Lleó. La regió també inclou el Roine i l'Ebre, que són rius mediterranis majors i moltes petites conques que responen amb riuades als esdeveniments precipitants intensos.

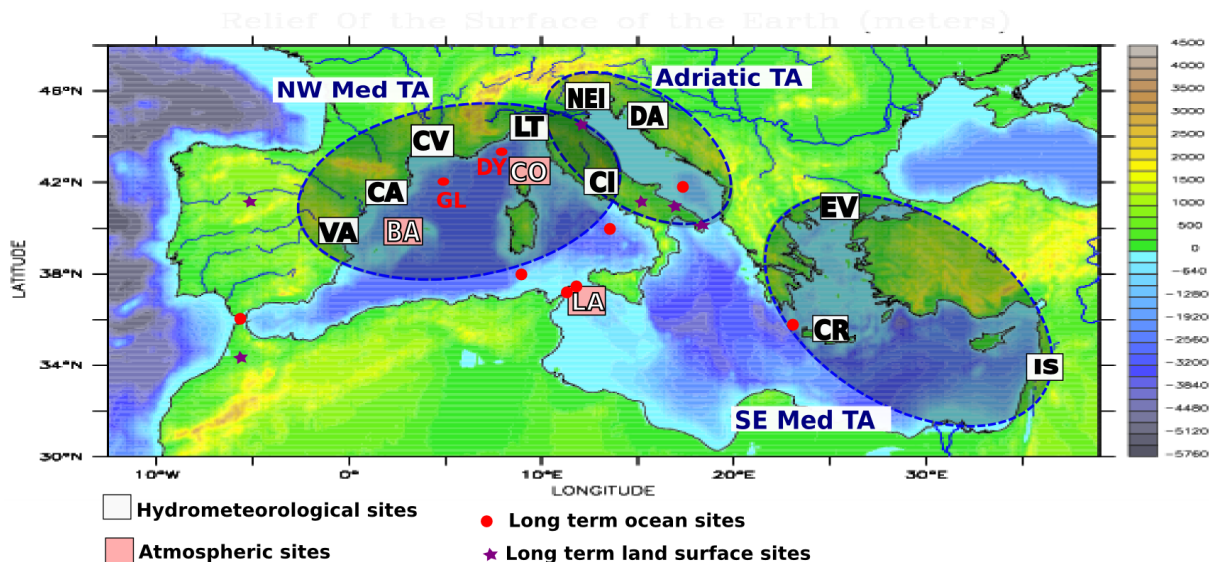


Figura 2. Àrees prioritàries d'estudi (Ducrocq et al., 2010).

Està previst obtenir dades i/o instal·lar instruments en àrees clau del nostre territori, seguint la següent estratègia:

- Zones hidrometeorològiques: País Valencià, Catalunya, Cévennes-Vivarais, Liguria-Toscana, el Lazio i el NE d'Itàlia. L'estat del projecte en aquestes zones és variable. En aquestes àrees també s'hi han de crear zones pilot per a l'aplicació 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 les Illes Balears 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 fer un seguiment de la formació d'aigües denses.

4.2 Modelització

L'estratègia de modelització està molt associada a l'estratègia d'observació, ja que els models han de servir per a millorar l'estratègia d'observació i les observacions han de servir per millorar els models. A les seccions anteriors ja hem mencionat les principals mancances dels sistemes actuals de simulació: millora de la simulació del sistema mediterrani acoblat (incloent atmosfera, mar i superfície continental), millora dels sistemes de simulació de meso-escala, tant a l'atmosfera com a l'oceà, millora dels models hidrològics, per simular millor les riuades sobtades, etc. Aquesta estratègia inclou els següents temes:

- Desenvolupament i millora de models acoblats (AORCM) per obtenir una millor descripció i co-

neixement del cicle mediterrani de l'aigua i la seva variabilitat i tendència. Desenvolupament d'un ventall de projeccions climàtiques regionals.

- Millora dels sistemes de predicció determinista dels esdeveniments convectius de gran impacte.
- Disseny de sistemes de modelització per conjunts, dedicats a l'estudi de la predictibilitat 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 per conjunts amb models hidrològics, per així fer prediccions probabilístiques de la resposta hidrològica i estudiar la predictibilitat de les riuades ràpides.
- 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.
- Modelització de nous processos i millora de les parametrizacions rellevants per als diferents compartiments del sistema Terra. Desenvolupament de tècniques d'assimilació de dades.
- Desenvolupament de models acoblats oceà-atmosfera d'alta resolució per a la Mediterrània occidental.
- Assimilació de dades, atmosfèriques, oceàniques i hidrològiques.

Així doncs, amb aquest rang tan ampli d'actuacions en la millora dels models, es pretén millorar la nostra capacitat de simular els diferents aspectes del sistema mediterrani, per així millorar-ne la nostra comprensió i la nostra capaci-

Taula 1. Mitjans extraordinaris per al SOP1 en territori espanyol, a part d'avions, o utilització extraordinària de mitjans operatius.

Mitjà	Lloc	Institució	Estat	Observacions
Base de llançament de globus de nivell constant (capa límit)	Menorca	CNES (Centre National d'Etudes Spatiales)	FRA	Mitjà extraordinari. Observacions de P, T, U i vent en un trajecte d'alguns centenars de kms en baixa cota
Lidar de vapor d'aigua i aerosols	Menorca	LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement)	FRA	Mitjà extraordinari. Observació contínua de perfils d'aerosols i de vapor d'aigua
Radio sondes	Corunya Madrid Múrcia Mallorca Tenerife	AEMET (Agencia Estatal de Meteorología)	ESP	Mitjà ordinari, però amb realització extraordinària de radiosondatges per al DTS (veure text) o fora del DTS
Radio sondes	Barcelona	SMC (Servei Meteorològic de Catalunya)	ESP	Mitjà ordinari, però amb realització extraordinària de radiosondatges per al DTS (veure text) o fora del DTS
Xarxa d'estacions automàtiques en superfície	Més de 400 emplaçaments	AEMET	ESP	Difusió extraordinària en temps real
Xarxa d'estacions automàtiques en superfície	Catalunya	SMC	ESP	Difusió extraordinària horària de 180 estacions amb pluja, 169 temperatura i humitat i 17 amb vent
Xarxa de descàrregues elèctriques	Catalunya	SMC	ESP	Difusió extraordinària en temps real
Planadors marins	Mar Mediterrània	SOCIB (Sistema d'Observació Costanera d'Illes Balears)	ESP	Mesura de la temperatura, conductivitat, pressió, fluorescència i oxigen dissolt de l'aigua

tat predictiva, aprofitant totes les sinèrgides possibles entre oceà, atmosfera i superfícies continentals.

5 Organització

El llibre blanc d'HyMeX (Drobinski i Ducrocq, 2008) va ser el primer pas abans de la redacció de l'*International Science Plan* (Ducrocq et al., 2010). L'execució del projecte es recull a l'*International Implementation Plan*, que no constitueix un document únic i tancat. El pla científic està organitzat en els cinc grans temes científics mencionats anteriorment. El pla d'execució s'ha realitzat en base a task teams i team support 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. Drobinski. També hi ha un Comitè Executiu Internacional per a l'Execució i la Coordinació Científica i una oficina del projecte. HyMeX està molt internacionalitzat i s'han creat comitès executius na-

cionals a diferents països. Des de l'any 2007 s'han organitzat anualment *workshops* internacionals d'HyMeX. El programa ha rebut el suport de l'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 dels resultats científics que se'n deriven. La costa est de la Península Ibèrica i les Illes Balears estan molt ben situades i posseeixen una gran varietat de conques hidrològiques interessants. 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.es (<http://hymex.uib.es>) estableix un marc que facilita l'intercanvi i la transferència de coneixements i plans

Taula 2. Avions sobrevolant l'espai aeri espanyol (zones de Balears, Catalunya i País Valencià).

Aviò	Adscripció	Característiques de vol	Observacions
ATR42	SAFIRE (Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement), França	4 hores autonomia 100 m s ⁻¹ velocitat de creuer 5 km d'altura de creuer	P, T, U, vent Lidar Leandre (PBL, WV) Fluxos turbulents
	Falcon F20	SAFIRE, França 3 h 30 m autonomia 200 m s ⁻¹ velocitat de creuer 10 km d'altura de creuer	P, T, U, vent Radar núvols RASTA Microfísica de núvols Dropsondes

d'execució entre grups i ofereix un únic interlocutor organitzat.

Respecte del SOP, amb tot el desplegament de mitjans extraordinaris i l'obtenció extraordinària d'observació s'espera aconseguir descripcions molt detallades d'una varietat de situacions meteorològiques d'interès, especialment pel que fa a pluges fortes, en tot l'àmbit de la Mediterrània nord occidental i, en particular, de les que hauran afectat a l'àmbit territorial espanyol, per al millor coneixement d'aquestes situacions. Aquestes descripcions detallades seran d'un gran interès per a validar models de predicció mesoscalars en desenvolupament. Els models mesoscalars validats en casos concrets serviran per a estudis de diagnòstic de les situacions d'interès. La campanya és una ocasió més per a realitzar estudis d'impacte en la predicció de les observacions extraordinàries, com els radiosondatges, per tal d'avançar en la optimització de mitjans d'observacions, especialment en situacions d'alt impacte.

6 Període d'Observació Especial 1

Aquesta tardor de 2012, s'ha iniciat la primera campanya d'observacions especials del programa (SOP-1). El focus es posa sobre la Mediterrània Occidental i les precipitacions intenses característiques d'aquesta regió. S'espera poder comptar amb una mostra d'uns 13 dies amb precipitacions "fortes" (més de 100 mm dia⁻¹) i uns 31 dies amb precipitacions "significants" (més de 60 mm dia⁻¹).

Els mitjans desplegats inclouen avions de recerca instrumentats (Taula 1 i 2), per dur a terme missions de seguiment i observació de les condicions precursoras dels episodis d'avingudes sobtades i inundacions al sud de França i la façana Mediterrània peninsular i també missions d'investigació *in situ* dels sistemes convectius ja formats. Dins del plans de vol previstos se'n poden destacar tres que tenen lloc a Catalunya, País Valencià i les Illes Balears. També s'utilitzen globus lliures, d'alçada constant, per investigar el corrent d'alimentació dels sistemes convectius. La base de llançament és a les Illes Balears, prop de Maó (Menorca), que pot ser origen o lloc de pas dels corrents

alimentadors dels sistemes convectius a França, Catalunya, Còrsega, la Liguria o la Toscana.

Els plans de campanya inclouen el desplegament de radars mòbils amb capacitat d'escombratge ràpid. La implicació d'institucions com Météo France, l'ERSL de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suïssa), el NOAA/National Severe Storms Laboratory (USA) o la Universitat de Delft (Països Baixos), aportant radars mòbils, demostra l'interès que té aquesta campanya per a la comunitat científica internacional. Les dades que es recolliran permetran una anàlisi de l'evolució de l'estructura fina dels sistemes precipitants. Els resultats haurien de permetre fer prediccions més precises a través de la millora de la seva representació als models.

La campanya es complementa amb mesures innovadores del camp tridimensional de llamps, la distribució de mides i energies dels hidrometeors o la mesura de fluxos de calor amb instruments de darrera generació com els escintil·lòmetres. Cal destacar també el rol dels "vaixells d'oportunitat" que prenen mesures directes i llancen radiosondes segons la seva posició i els interessos científics de la campanya. A Menorca s'ha instal·lat, prop de Ciutadella, un lidar de vapor d'aigua i aerosols. A més de les observacions atmosfèriques, s'han incorporat a la campanya alguns instruments de mesura marítima com planadors marins (*gliders*) del SOCIB, centre d'oceanografia operacional establert a Mallorca.

També s'utilitzen les xarxes de radiosondatges operatives amb filosofia DT (*data targeting*), que consisteix a fer sondatges extraordinaris, fora de les hores estàndard, a les estacions situades en zones especialment sensibles a la predicció, en funció de la situació meteorològica (Jansà et al., 2011). Com a la campanya DTS de MEDEX, EUMETNET/EUCOS, el programa d'observació de la xarxa europea de serveis meteorològics, finança i dona suport tècnic a aquest capítol de la campanya SOP-1 d'HyMeX. L'aplicació de la filosofia DT es fa mitjançant una eina DTS (*Data Targeting System*), desenvolupada entre l'ECMWF i el Met Office britànic. Mig centenar d'estacions meteorològiques han estat seleccionades dins del DTS. D'Espanya s'han inclòs cinc estacions de la xarxa d'AEMET (A Coruña, Madrid,

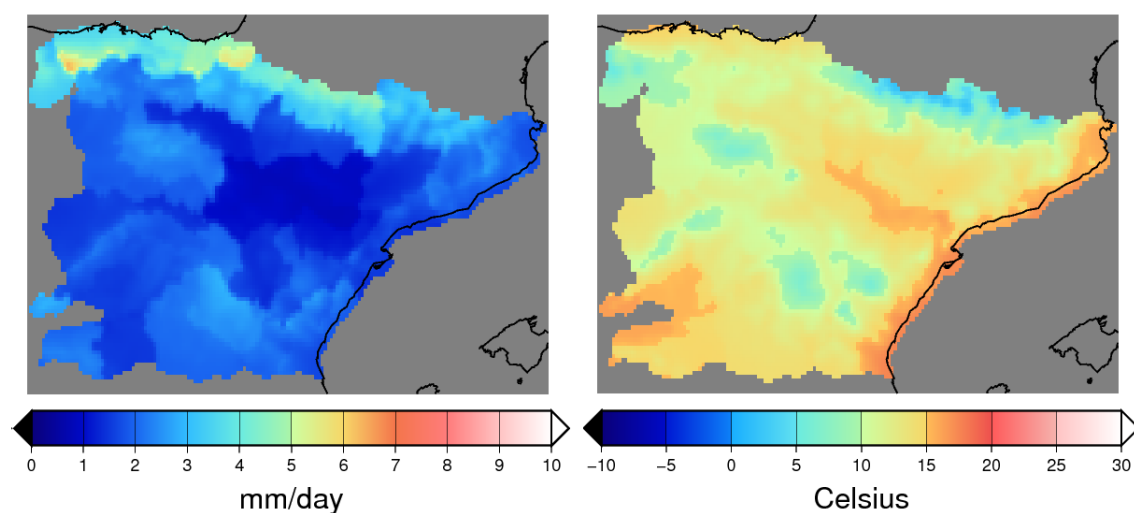


Figura 3. Precipitació (esquerra) i Temperatura (dreta) mitjanes per l'any hidrològic 2009/2010 al nord-est de la Península Ibèrica reproduïdes pel sistema d'anàlisi atmosfèrica SAFRAN.

Múrcia, Mallorca i Tenerife) i una estació del Servei Meteorològic de Catalunya (Barcelona). A més de tot això, per al SOP-1 s'utilitzen les dades ordinàries de les xarxes operatives dels diferents països, incloses les dades que no es difonen normalment a l'àmbit internacional, tant per decidir les observacions addicionals que cal fer, com per a la millora del models meteorològics. També s'envien dades originals dels radars operatius a Catalunya i de la xarxa de descàrregues elèctriques. La llista completa de mitjans es troba a la Taula 1.

Pel què fa als mitjans aeris, s'han desplegat dos avions a la zona (Taula 2). Els vols de l'ATR42 estan orientats a documentar el flux d'alimentació dels sistemes convectius, especialment en la fase de formació, però també una volta formats. El coneixement climatològic de les zones d'alimentació ha servit per a establir els models de pla de vol, que s'han coordinat entre Espanya i França en el nostre cas i entre Itàlia i França, en el cas dels vols dins l'espai aeri italià. Els vols del segon avió, l'F20, estan orientats a documentar els sistemes convectius formats i el seu entorn, *in situ*.

Tots aquests mitjans es coordinen des del centre d'operacions (HOC) situat a Montpeller, que serà el punt neuràlgic d'altres centres secundaris, situats a Palma, Còrsega i Tolosa de Llenguadoc. Aquest centre estarà actiu en continu, amb predictors de Météo-France que disposen, a més de prediccions operatives rutinàries, de les prediccions experimentals d'alta resolució. En base al diagnòstic de la situació i les prediccions disponibles, l'HOC s'encarrega d'emetre prealertes i alertes a la comunitat, i pren decisions sobre l'activació dels anomenats Períodes d'Observació Intensiva (IOPs). Durant aquests períodes tots els instruments

s'han d'activar a fi d'aconseguir un seguiment integral de la situació d'interès científic identificada. Les operacions de vol es coordinen també des d'aquest centre. El Centre Secundari de Palma, en contacte diari amb l'HOC, presta especial atenció als problemes meteorològics que afectin o puguin afectar Catalunya, País Valencià o les Illes Balears, per a assessorar l'HOC en matèria de predicció i per a donar-li recomanacions quant a la declaració, d'IOPs, alertes i prealertes i sobre l'engegada i definició d'algunes operacions, especialment les aeronàutiques en espai aeri espanyol o proper. El Centre Secundari s'ha instal·lat a la seu de la Delegació d'AEMET a les Balears, però està obert als investigadors o institucions interessats.

La campanya de la tardor de 2012 és una magnífica oportunitat, que posarà a l'abast dels grups de recerca del programa totes les dades recollides durant la campanya a través de la Base de Dades HyMeX, que esdevindrà el referent en recerca atmosfèrica a la regió mediterrània durant la propera dècada.

7 Exemple d'estudi del balanç hídric a la Conca de l'Ebre

Són diversos els projectes científics que es desenvolupen en Espanya en el marc d'HyMeX (veure Apèndix). Aquests projectes inclouen una gran diversitat de temes, com ara la simulació climàtica, les teleconnexions relacionades amb la Mediterrània, la predicció decennal, la desagregació climàtica, l'assimilació de dades, la millora de l'observació meteorològica amb instruments remots, la predicció d'esdeveniments extrems, incloent riudes, sequeres i els seus impactes socials i econòmics, hidrologia de

conques mediterrànies, influència de la vegetació i els seus canvis, simulació de la dinàmica de la mar Mediterrània, la formació d'aigües denses, millores en l'observació dels oceans, el flux de Gibraltar, etc.

A continuació es presenta, a mode d'exemple, un projecte en curs que va néixer dins l'òrbita d'HyMeX.

La Conca de l'Ebre és la segona conca més important de la Mediterrània occidental 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 (López-Moreno et al., 2011); (3) el canvi climàtic la pot afectar negativament (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).

Actualment, l'Observatori de l'Ebre (URL - CSIC), en col·laboració amb AEMET, Météo-France i la Universitat de Barcelona està treballant en l'aplicació 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 l'aplicació d'un sistema d'anàlisi meteorològica (Quintana-Seguí et al., 2008; Figura 3) 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).

8 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 torrencials. La millora en el coneixement del sistema acoblat permetrà millorar la comprensió del sistema climàtic mediterrani i la producció d'escenaris climàtics més fiables i robustos. Es-

panya és clau en el programa, per la seva situació geogràfica i pels interessos científics dels investigadors espanyols. Els grups de recerca i serveis meteorològics d'Espanya podran aportar una quantitat important de dades i de coneixements al projecte i, al mateix temps, en rebran els fruits. La vinculació a HyMeX.es, la participació als Workshops Internacionals Anuals i la implicació en activitats de recerca planificades dins el programa HyMeX, com el SOP I de la tardor de 2012 són una oportunitat per continuar en la internacionalització dels grups de recerca espanyols i per a influir en l'agenda de recerca internacional sobre temes científics que tenen conseqüències importants per a la nostra societat.

HyMeX ha esdevingut el marc d'estudi integral de referència internacional per al cicle de l'aigua a la Mediterrània. Els equips de recerca espanyols no poden perdre l'oportunitat de vincular-s'hi i participar activament en aquest programa per a créixer i reivindicar la seva tasca a nivell nacional i internacional. És per això que HyMeX està obert a integrar nous grups i punts de vista a les seves activitats.

Apèndix A Objectius específics de cadascun dels grups participants a HyMeX.es

- *Climate Forecasting Unit (CFU). Institut Català de Ciències del Clima (IC3):* predicció decennal del clima. Investigació de la variabilitat interanual de la precipitació i la temperatura.
- *Grup d'Oceanografia Física, Dep. d'Ecologia i Recursos Marins, IMEDEA (Universitat de les Illes Balears CSIC):* caracterització i comprensió del cicle hidrològic de la Mediterrània a partir d'un millor coneixement de la variabilitat del nivell del mar. Ús de les observacions del nivell del mar per a la validació dels models de circulació. Balanç hídric en massa de la Mediterrània.
- *Grup de Meteorologia. Departament de Física. Universitat de les Illes Balears:* meteorologia de fenòmens extrems i els seus processos. Caracterització de MEDICANES i determinació de la seva freqüència i intensitat en el segle XXI. Fonts d'error en els mecanismes de predicció hidrometeorològica. Millora de la predicció mitjançant observacions dirigides.
- *Grup de recerca de climatologia, hidrologia, riscos i territori. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears:* evolució històrica dels riscos d'inundació. Creació d'una base de dades històrica de sequeres i inundacions. Estudi de l'impacte econòmic i social d'esdeveniments extrems mitjançant GIS a Mallorca. Desenvolupament d'enquestes posteriors a esdeveniments d'inundació sobtada.
- *EOLO Group. Universidad del País Vasco:* anàlisi del transport de vapor d'aigua a la conca de l'Ebre. Determinació de camps 3D del vent i dels perfils verticals d'humitat mitjançant perfiladors de vent.
- *Observatori de l'Ebre (Universitat Ramon Llull CSIC):* simulació del cicle hidrològic continental de les con-

- ques mediterrànies mitjançant un model físic distribuït. Anàlisi de variables atmosfèriques prop de la superfície. Impactes del canvi climàtic sobre les conques mediterrànies. Desagregació estadística.
- *Water Resources Research Group. Universidad de Salamanca*: anàlisi del canvi en els usos dels sòls i processos hidrològics involucrats. Variabilitat climàtica dels recursos hídrics. Processos sòl-aigua-vegetació en entorns amb limitacions hídriques. Teledetecció aplicada a la hidrologia.
 - *TROPA Research Group. Departament de Geofísica i Meteorologia. Universidad Complutense de Madrid*: estudi de les influències remotes a la Mediterrània. Estudi de la influència de la Mediterrània sobre el clima global. Modes de variabilitat atmosfèrica interanual a la Mediterrània. Modulació decennal natural. Influència de l'escalfament global.
 - *MOMAC Group. Universidad de Castilla-La Mancha*: avaluació de l'impacte de l'emparellament en el modelat del balanç hídric mediterrani. Anàlisi de risc del desenvolupament de ciclons tropicals a la Mediterrània durant el segle XXI. Millora del coneixement del canvi climàtic a la regió mediterrània mitjançant la simulació de situacions. Anàlisi dels intercanvis Mar Negre - Mar Egeu i els seus efectes sobre la Mediterrània. Anàlisi de la influència de l'escolament dels rius sobre el balanç hídric mediterrani.
 - *Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)*: modelat oceà-atmosfera amb inclusió de factors del cicle hidrològic. Avaluació i simulació de les condicions del cicle hidrològic continental. Variabilitat climàtica observada i projectada i tendències seculares. Millor comprensió i previsió de les precipitacions intenses. Millor comprensió i previsió dels vents forts, ciclons i cilogènesi a la Mediterrània.
 - *Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)*: assimilació de dades en els models de predicció meteorològica numèrica (NWP). Millora de l'estimació quantitativa de la precipitació a partir de dades de radar. *Nowcasting*. Millora de la vigilància de situacions meteorològiques mitjançant la combinació de dades de diversos sensors remots. Anàlisi de fenòmens meteorològics extrems. Projeccions climàtiques per al segle XXI usant el mètode de desagregació dinàmica d'escala.
 - *Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera*: dinàmiques de la vegetació a escala regional i continental. Anàlisi de les teleconnexions de la temperatura superficial del mar, els indicadors de vegetació continental i índexs del clima a la conca mediterrània i Àfrica.
 - *GAMA Group. Departament d'Astronomia i Meteorologia. Universitat de Barcelona*: desagregació d'escenaris climàtics. Estudi de l'efecte del canvi climàtic previst en els recursos hídrics. Anàlisi de fenòmens meteorològics extrems, principalment inundacions i sequeres. Estudi de l'impacte social, vulnerabilitat i adaptació al canvi climàtic i de les tendències de danys causats per inundacions i sequeres.
 - *Institut de Ciències del Mar/Unitat de Tecnologia Marina. Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals. CSIC i Meteoestartit*: estudi dels processos de formació d'aigua densa. Estudi de l'evolució de la temperatura de la capa superior de la mar i de l'intercanvi aire-mar. Estudi de l'evolució de la temperatura i la salinitat a les profunditats marines. Millora en la recopilació de dades de salinitat marina superficial a partir de les observacions del satèl·lit SMOS. Lliurament de mapes reticulars d'humitat del sòl i salinitat dels oceans a partir de mesuraments SMOS. Millora de la relació mar-atmosfera (calor, massa i moment) en els models oceànics, utilitzant mètodes d'assimilació de dades.
 - *Grup de Làsers, Espectroscopia Mol·lecular i Química Quàntica. Departament de Química Física. Universidad de Murcia*: determinació de les variacions estacionals i anuals de la humitat atmosfèrica a Múrcia. Avaluació de l'efecte de la pols del Sàhara a la humitat de l'aire i les precipitacions.
 - *Environmental Physics Laboratory (Ephyslab). Universidade de Vigo. Unitat Associada al Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC)*: transport d'humitat a partir d'aproximacions Lagrangianes. Diagnòstic i anàlisi física de fenòmens meteorològics extrems. Diagnòstic i mecanismes físics de les sequeres.
 - *Unitat de Dinàmica i Impacte del Clima (CDIU). Institut Català de Ciències del Clima (IC3)*: comprendre l'impacte de la SST de la Mediterrània sobre la circulació atmosfèrica regional. Millorar les habilitats de predicció estacional a la regió euromediterrània. Desenvolupar un metasistema fiable de predicció estacional del clima de la regió mediterrània.
 - *Grup d'Investigació sobre Aigua, Territori i Sostenibilitat. Universitat Autònoma de Barcelona*: estudi de la vulnerabilitat social i territorial a les inundacions i les sequeres. Desenvolupament de mapes de vulnerabilitat que integrin informació física i social. Estimació dels costos econòmics absoluts i relatius de les inundacions i les sequeres. Desenvolupar patrons de consum d'aigua per als diferents tipus d'assentaments urbans i turístics.
 - *Grup d'Oceanografia Física de Màlaga (GOFIMA). Universidad de Málaga*: registre de la variabilitat del flux de sortida de la Mediterrània i de les propietats de les aigües properes al fons marí en un ampli rang d'escala temporal, des de cicles de mareas a interanuals. Millora de les estimacions del flux de sortida. Seguiment de la propagació dels senyals que ocorren a la Mediterrània a escala de conca cap a l'oceà obert. La formació d'aigües profundes del Mediterrani occidental tindrà especial interès com a índex de les condicions climàtiques a la conca occidental.

Referències

- Altava-Ortiz, V., Llasat, M. C., Ferrari, E., Atencia, A., i Sirangelo, B., 2011: *Monthly rainfall changes in Central and Western Mediterranean basins, at the end of the 20th and beginning of the 21st centuries*, *Int J Climatol*, **31**, 1943–1958.
- Amaro, J., Gayà, M., Aran, M., i Llasat, M. C., 2010: *Preliminary results of the Social Impact Research Group of MEDEX: the request database (2000–2002) of two Meteorological Services*, *Nat Hazards Earth Syst Sci*, **10**, 2643–2652.
- Barnolas, M. i Llasat, M. C., 2007: *A flood geodatabase and its climatological applications: The case of Catalonia for the last century*, *Nat Hazards Earth Syst Sci*, **7**, 271–281.
- Boone, A., Calvet, J. C., i Noilhan, J., 1999: *Inclusion of a Third Soil Layer in a Land Surface Scheme Using the Force-Restore Method*, *J Appl Meteorol*, **38**, 1611–1630.
- Calvet, J. C., Noilhan, J., Roujean, J. L., Bessemoulin, P., Cabelluene, M., Olioso, A., i Wigneron, J. P., 1998: *An interactive vegetation SVAT model tested against data from six contrasting sites*, *Agric For Meteorol*, **92**, 73–95.
- Chancibault, K., Anquetin, S., Ducrocq, V., i Saulnier, G. M., 2006: *Hydrological evaluation of high-resolution precipitation forecasts of the Gard flash-flood event (8–9 September 2002)*, *Q J R Meteorol Soc*, **617**, 1091–1117.
- Drobinski, P. i Ducrocq, V., 2008: *HyMeX White Book*, <http://www.hymex.org/public/documents/WB.1.3.2.pdf>.
- Ducrocq, V., Roussot, O., Béranger, K., Braud, I., Chanzy, A., Delrieu, G., Drobinski, P., Estournel, C., Ivancan-Picek, B., Josey, S., Lagouvardos, K., Lionello, P., Llasat, M. C., Ludwig, W., Lutoff, C., Mariotti, A., Montanari, A., Richard, E., Romero, R., Ruin, I., i Somot, S., 2010: *HyMeX International Science Plan*, http://www.hymex.org/public/documents/HyMeX_Science_Plan.pdf.
- Gibelin, A. L., Calvet, J. C., Roujean, J. L., Jarlan, L., i Los, S. O., 2006: *Ability of the land surface model ISBA-A-gs to simulate leaf area index at the global scale: Comparison with satellite products*, *J Geophys Res*, **111**.
- Giorgi, F., 2006: *Climate change hot-spots*, *Geophys Res Lett*, **33**.
- Giorgi, F. i Lionello, P., 2008: *Climate change projections for the Mediterranean region*, *Glob Planet Change*, **63**, 90–104.
- Grignon, L., Smeed, D. A., Bryden, H. L., i Schroeder, K., 2010: *Importance of the variability of hydrographic preconditioning for deep convection in the Gulf of Lion, NW Mediterranean*, *Ocean Science*, **6**, 573–586.
- Guzzetti, F. i Tonelli, G., 2004: *SICI: an information system on historical landslides and floods in Italy*, *Nat Hazards Earth Syst Sci*, **4**, 213–232, SRef-ID:1684–9981/nhess/2004–4–213.
- Habets, F., Boone, A., Champeaux, J. L., Etchevers, P., Franchisteguy, L., Leblois, E., Ledoux, E., Le Moigne, P., Martin, E., Morel, S., Noilhan, J., Quintana-Seguí, P., Rousset-Regimbeau, F., i Viennot, P., 2008: *The SAFRAN-ISBA-MODCOU hydrometeorological model applied over France*, *J Geophys Res*, **113**, D06 113.
- Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F., i Moneo, M., 2006: *Challenges to Manage the Risk of Water Scarcity and Climate Change in the Mediterranean*, *Water Resour Manag*, **21**, 775–788.
- Iglesias, A., Garrote, L., Cancelliere, A., Cubillo, F., i Wilhite, D. A., 2009: *Coping with Drought Risk in Agriculture and Water Supply: Drought Management Guidelines for the Mediterranean*, Springer.
- Jansà, A., 1997: *A general view about Mediterranean meteorology: cyclones and hazardous weather*. Proceedings of the INM/WMO International Symposium on Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean, Palma de Mallorca, Instituto Nacional de Meteorología and Universitat de les Illes Balears, 3342.
- Jansà, A., Genovés, A., Riosalido, R., i Carretero, O., 1996: *Mesoscale cyclones vs heavy rain and MCS in the Western Mediterranean*, *MAP Newsletter*, **5**, 245.
- Jansà, A., Arbogast, P., Doerenbecher, A., Garcies, L., Genovés, A., Homar, V., Klink, S., Richardson, D., i Sahin, C., 2011: *A new approach to sensitivity climatologies: the DTS.MEDEX-2009 campaign*, *Nat Hazards Earth Syst Sci*, **11**, 2381–2390.
- Jansà, J. M., 1966: *Meteorología del Mediterráneo Occidental*. Tercer Ciclo de Conferencias, desarrollado en el Instituto Nacional de Meteorología durante el año 1964, Servicio Meteorológico Nacional, Madrid, series A (Memorias) 43.
- Kerr, Y., Waldteufel, P., Wigneron, J. P., Cabot, F., Boutin, J., Escorihuela, M. J., Font, J., Reul, N., Gruhier, C., Juglea, S., Delwart, S., Drinkwater, M., Hahne, A., i Martín-Neira, M., 2010: *The SMOS mission: new tool for monitoring key elements of the global water cycle*, *P IEEE*, **98**, 666–687.
- Llasat, M. C., 2009: *Chapter 18: Storms and floods*. In *The Physical Geography of the Mediterranean basin*. Edited by Jamie Woodward, Oxford University Press, ISBN: 978-0-19-926803-0, pp. 504–531.
- Llasat, M. C., Barriendos, M., Barrera, A., i Rigo, T., 2005: *Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records*, *J Hydrol*, **313**, 32–47.
- Llasat, M. C., López, L., Barnolas, M., i Llasat-Botija, M., 2008: *Flash-floods in Catalonia: the social perception in a context of changing vulnerability*, *Advances in Geosciences*, **17**, 63–70.
- Llasat, M. C., Llasat-Botija, M., i López, L., 2009: *A press database on natural risks and its application in the study of floods in north-eastern Spain*, *Nat Hazards Earth Syst Sci*, **9**, 2049–2061.
- López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Moran-Tejeda, E., Zabalza, J., Lorenzo-Lacruz, J., i García-Ruiz, J. M., 2011: *Impact of climate evolution and land use changes on water yield in the ebro basin*, *Hydrol Earth Syst Sci*, **15**, 311–322.
- Ludwig, W., Bouwman, A. F., Dumont, E., i Lespinas, F., 2010: *Water and nutrient fluxes from major Mediterranean and Black Sea rivers: Past and future trends and their implications for the basin-scale budgets*, *Glob Biogeochem Cycle*, **24**, GB0A13.
- Mariotti, A., Struglia, M. V., Zeng, N., i Lau, K. M., 2002: *The Hydrological Cycle in the Mediterranean Region and Implications for the Water Budget of the Mediterranean Sea*, *J Climate*, **15**, 1674–1690.
- Marshall, J. i Schott, F., 1999: *Open ocean convection: observations, theory, and models*, *Rev Geophys*, **37**, 1–64.
- Neppel, L., Bouvier, C., Vinet, F., i Desbordes, M., 2003: *Sur l'origine de l'augmentation des inondations en région méditerranéenne*, *Revue des Sciences de l'Eau*, **16**, 475–494.
- Noilhan, J. i Mahfouf, J., 1996: *The ISBA land surface parameterization scheme*, *Glob Planet Change*, **13**, 145–159.
- Noilhan, J. i Planton, S., 1989: *A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models*, *Mon Weather Rev*, **117**, 536–549.
- Quintana-Seguí, P., Le Moigne, P., Durand, Y., Martin, E., Habets, F., Baillon, M., Canellas, C., Franchisteguy, L., i Morel, S., 2008: *Analysis of Near-Surface Atmospheric Variables: Validation of the SAFRAN Analysis over France*, *J Appl Meteorol Climatol*, **47**, 92–107.

- Quintana-Seguí, P., Martin, E., Habets, F., i Noilhan, J., 2009: *Improvement, calibration and validation of a distributed hydrological model over France*, Hydrol Earth Syst Sci, **13**, 163–181.
- Quintana-Seguí, P., Habets, F., i Martin, E., 2011a: *Comparison of past and future Mediterranean high and low extremes of precipitation and river flow projected using different statistical downscaling methods*, Nat Hazards Earth Syst Sci, **11**, 1411–1432.
- Quintana-Seguí, P., Turco, M., i Llasat, M. C., 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., Garrote, L., Iglesias, A., Fernández-Haddad, Z., Schlickerieder, J., de Lama, B., Mosso, C., i Sánchez-Arcilla, A., 2011: *The economic value of drought information for water management under climate change: a case study in the Ebro basin*, Nat Hazards Earth Syst Sci, **11**, 643–657.
- Ruin, I., Creutin, J. D., Anquetin, S., i Lutoff, C., 2008: *Human exposure to flash-floods relation between flood parameters and human vulnerability during a storm of September 2002 in Southern France*, J Hydrol, **361**, doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.07.044.
- Turco, M., Quintana-Seguí, P., Llasat, M. C., Herrera, S., i Gutiérrez, J. M., 2011: *Testing MOS precipitation downscaling for ENSEMBLES regional climate models over Spain*, J Geophys Res, **116**.
- Woodward, J. C., 2009: *The physical geography of the Mediterranean*, Oxford University Press.