

Capítol 6

Aplicació del model SBDART a la predicció de l'índex UV a Catalunya

6.1 La predicció de l'índex UV a Catalunya (2000-2003)

6.1.1 Breu descripció de la campanya

Després de l'experiència obtinguda a partir dels diferents estudis realitzats sobre la radiació solar UV que incideix a Barcelona en diverses situacions meteorològiques (Lorente et al., 1994) el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya va decidir iniciar al juny de l'any 2000 un programa d'informació al públic dels valors de l'índex UV que es registren a Catalunya. Per això es va difondre un seguit de consells adients per a una millor protecció enfront de l'exposició a la radiació solar UV, juntament amb la previsió diària de l'índex UV.

Aquesta predicció es va dur a terme seguint les següents recomanacions de la Comissió Europea COST-713 UVB Forecasting (Vanicek et al., 2000).

- Les mesures d'UV han de ser contínues i ben documentades en quant a instrumentació i historial de calibratge.

6.1. La predicció de l'índex UV a Catalunya (2000-2003)

- Els radiòmetres eritemàtics per a la mesura d'índex UV han de ser calibrats amb el Sol, almenys un cop l'any i comparar-ne les mesures preferiblement amb un espectroradiòmetre. També cal establir un punt fix per al calibratge i la supervisió d'aquests radiòmetres.
- Sempre que sigui possible, les mesures complementàries com la columna total d'ozó, les propietats dels núvols i dels aerosols, han de ser coincidents en el temps i en l'espai amb les mesures d'UV.
- Es recomana usar models de dispersió múltiple per al càlcul de l'índex UV.
- La previsió de la columna total d'ozó ha de basar-se en models de dinàmica global tenint en compte paràmetres químics. Aquesta previsió ha d'estar validada amb mesures empíriques, ja sigui des de terra o des de satèl·lit.
- En la previsió de l'índex UV, cal utilitzar valors d'espessors òptics d'aerosols diferents segons la zona i l'estació de l'any, a partir de valors climatològics.
- Malgrat que es coneix com els núvols modifiquen la radiació UV, encara no es disposa de previsions de nuvolositat acurades susceptibles d'utilitzar-se en la previsió de l'índex UV.
- S'estableix un centre europeu per a la previsió de l'índex UV a gran escala.
- Es recomana difondre al públic el valor de l'índex UV però no la informació referent als temps d'exposició al sol per evitar transmetre seguretat.
- S'aconsella utilitzar la següent escala de categories i colors per a l'índex UV, per tal de fer-ho més entenedor al públic

Baix 0, 1, 2	Moderat 3, 4, 5	Alt 6, 7	Molt alt 8, 9, 10	Extrem > 10
------------------------	---------------------------	--------------------	-----------------------------	-----------------------

6. Aplicació del model SBDART a la predicció de l'índex UV a Catalunya

- Si es proporciona un valor d'índex UV modificat pels núvols, es recomana difondre un rang amb el màxim valor esperat.

Això es va traduir, per una banda, en la instal·lació d'una xarxa de sensors UV de banda ampla en diversos punts representatius de Catalunya (taula 3.1) que registren de manera contínua els valors observats de l'índex UV. D'altra banda, des de l'estiu de 1999, es mesura de forma automàtica a Barcelona cada 15 minuts la irradiància espectral global i difusa en alta resolució.

La predicció diària de l'índex UV es realitza a partir de la simulació del model SBDART que ha demostrat la seva fiabilitat per a diferents escenaris atmosfèrics (Koepke et al., 1998). Les prediccions de les condicions de transparència atmosfèrica i nuvolositat s'obtenen a partir dels pronòstics realitzats pel Servei Meteorològic de Catalunya.

El pronòstic de l'índex UV es publica diàriament al web del Servei Meteorològic de Catalunya <http://www.meteocat.com/uvi/uvi.htm>, juntament amb informació referent als temps d'exposició i factors de protecció segons dos fototipus principals. Aquesta informació també es difon als mitjans de comunicació (premsa i televisió) en èpoques d'especial interès.

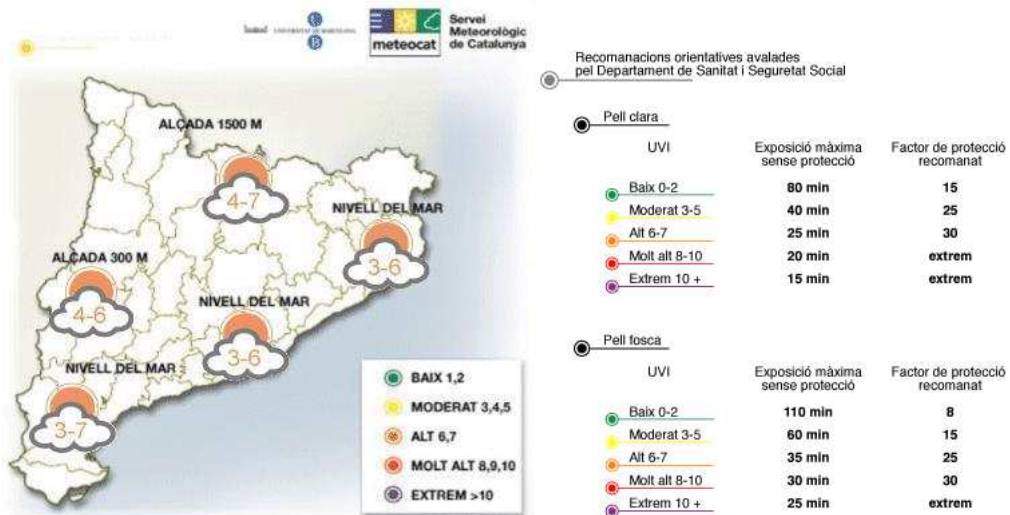


Figura 6.1: Exemple de la predicció de l'índex UV publicada al web del Servei Meteorològic de Catalunya i informació relativa als temps d'exposició i factors de protecció. *Copyright* © UB i SMC.

6.1. La predicció de l'índex UV a Catalunya (2000-2003)

Les campanyes de predicció de l'índex UV es realitzen actualment en la majoria dels països de la Unió Europea. A Espanya, l'Institut Nacional de Meteorologia va engegar el juny de l'any 2001 el seu propi model de predicció de la radiació UV per a tota la Península Ibèrica, i el Deutscher Wetterdienst (DWD) des de 2002 proporciona una predicció a gran escala de l'índex UV a 1 i 3 dies en condicions de cel serè o tenint en compte la nuvolositat.

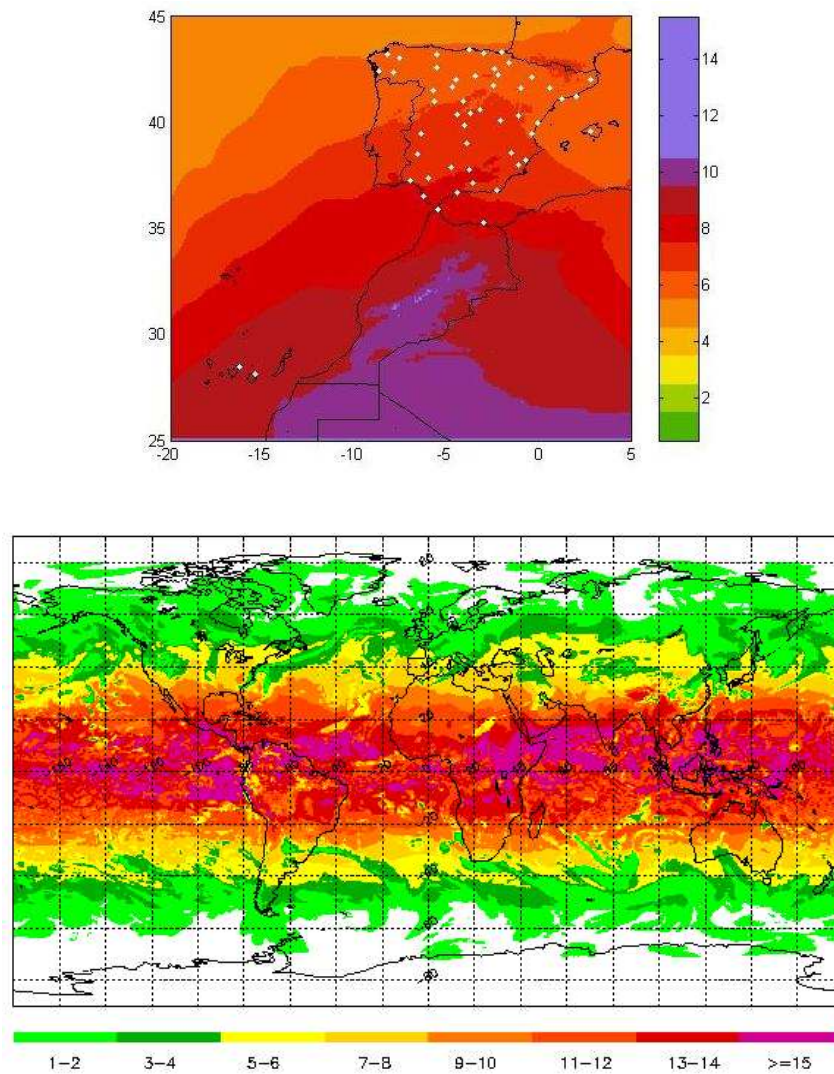


Figura 6.2: Exemples de la predicció de l'índex UV a la Península Ibèrica de l'Institut Nacional de Meteorologia (superior) i de la previsió de l'índex UV a escala global del Deutscher Wetterdienst (inferior). *Copyright* © INM i DWD.

6.1.2 Aplicació de la modificació de l'índex UV per nuvolositat

Seguint una de les recomanacions COST-713 (Vanicek et al., 2000), el model SBDART s'executa en condicions de cel serè i l'espectre resultant s'integra ponderant per l'espectre d'acció CIE per tal d'obtenir un índex UV previst en condicions d'absència de núvols. Posteriorment, se li aplica un coeficient de correcció, el factor de modificació per núvols (CMF) proposat per Vanicek et al. (2000), a partir dels pronòstics realitzats pel Servei Meteorològic de Catalunya.

Taula 6.1: Factor de modificació per núvols (CMF) per a diferents tipus i quantitats de cobertura de núvols, proposat per Vanicek et al. (2000).

Tipus de núvols	Octes de cel cobert			
	0 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8
Alts	1.0	1.0	1.0	0.9
Mitjans	1.0	1.0	0.8	0.5
Baixos	1.0	0.8	0.5	0.2

Aquesta correcció queda reflectida en la predicció de l'índex UV que es publica diàriament:

- Quan la previsió és de cel serè es proporciona directament el valor de l'índex UV generat pel model.
- Quan el pronòstic del SMC és de nuvolositat parcial o feble, de forma local i no generalitzada per a totes les hores del dia, el valor previst de l'índex UV es publica en forma d'interval, és a dir, no es proporciona un únic valor de l'índex UV sinó un rang de valors, que va des d'un valor menor que és el previst en condicions de núvols fins a una cota superior corresponent a cel serè. D'aquesta manera s'evita que una predicció de l'índex UV pogui subestimar durant certes hores del dia el valor mesurat de l'índex UV.

6.1. La predicció de l'índex UV a Catalunya (2000-2003)

- Quan el pronòstic de nuvolositat és de cel tapat durant tot el dia de forma generalitzada, el valor de l'índex UV previst és directament el valor resultant d'aplicar el CMF sense utilitzar intervals.



Figura 6.3: Simbologia emprada en la predicció de l'índex UV publicada al web del Servei Meteorològic de Catalunya.

6.1.3 Aplicació de la hipòtesi de persistència de la columna total d'ozó (2000-2002)

Donat que inicialment no es disposava d'un algoritme adequat per a la predicció d'ozó, en la campanya de predicció de l'índex UV es va emprar la dada d'ozó més recent disponible, aplicant la hipòtesi de persistència en la columna d'ozó, que a l'estiu no sol variar en més d'un 1% (Long et al., 1996).

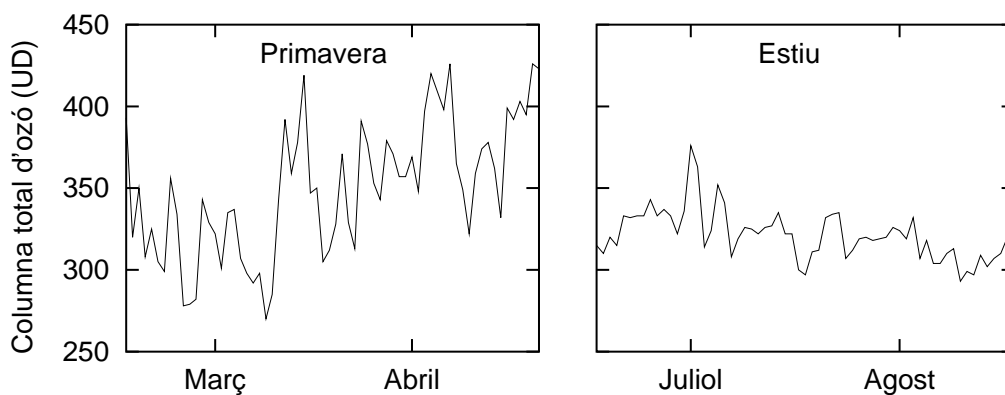


Figura 6.4: Variació de la columna total d'ozó a Barcelona a la primavera i a l'estiu a partir de les dades del TOMS de l'any 2001.

Per a caracteritzar les diferències entre la primavera i l'estiu s'han escollit els mesos de març, abril, juliol i agost de l'any 2001. En total s'han estudiat

123 dies dels quals s'han considerat només els dies amb condicions de cel clar durant el migdia (100 dies). Per a cada dia s'ha executat tres vegades el model SBDART amb l'ozó del mateix dia, l'ozó del dia anterior i l'ozó de dos dies anteriors. A la figura 6.5 es compara la predicció de la irradiància eritemàtica utilitzant el valor de la columna total d'ozó del dia corresponent amb la mesura realitzada per l'espectroradiòmetre Bentham.

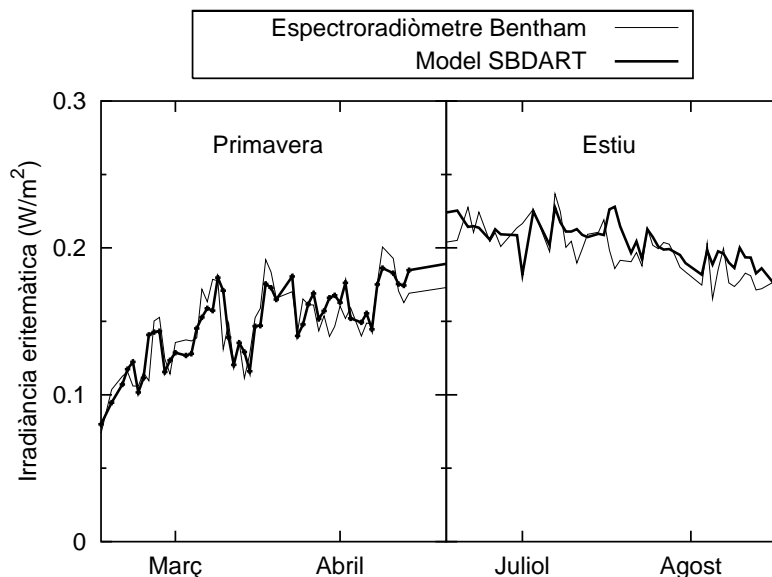


Figura 6.5: Comparació entre la irradiància mesurada i la modelitzada a Barcelona durant la primavera i l'estiu de 2001.

Per avaluar la validesa de les diferents prediccions s'han calculat els errors relatius en tant per cent així com l'error quadràtic mitjà (figura 6.7 i taula 6.2). Si s'observen els resultats es pot concloure que la hipòtesi de persistència de la columna total d'ozó és vàlida a l'estiu, fins i tot per a dos dies, però no per a la primavera. Tenint en compte que l'error relatiu està al voltant del 6%, això es tradueix en un error en l'índex UV menor de mitja unitat, prenent 8 o 9 com a valor típic a l'estiu. Això implica que la predicció de l'índex UV, ja que s'expressa amb una sola xifra significativa, generalment difereix en menys d'una unitat que quan es realitza amb algorismes més precisos per a la predicció d'ozó. Aquestes conclusions van ser exposades a la *3a Asamble*

Hispano-Portuguesa (Lorente et al., 2002).

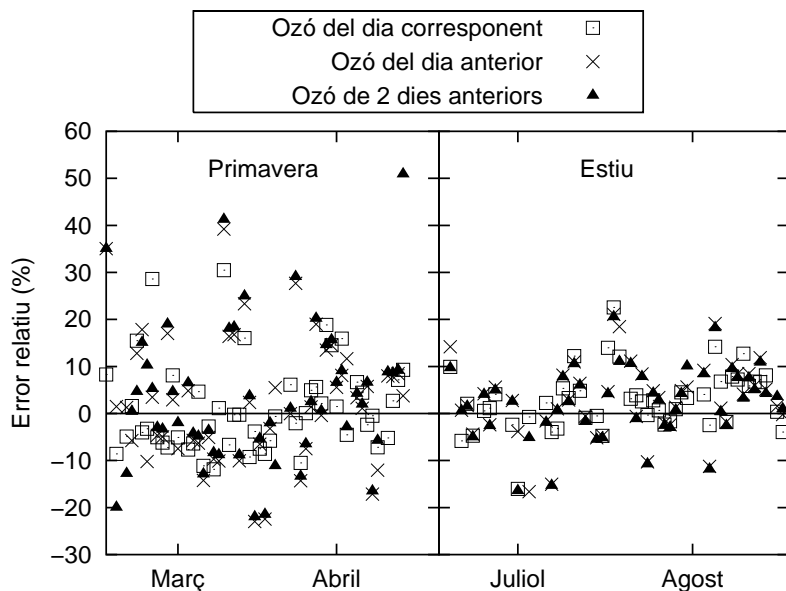


Figura 6.6: Errors relatius entre les tres previsions i les mesures de la irradiància eritemàtica a Barcelona durant la primavera i l'estiu de 2001.

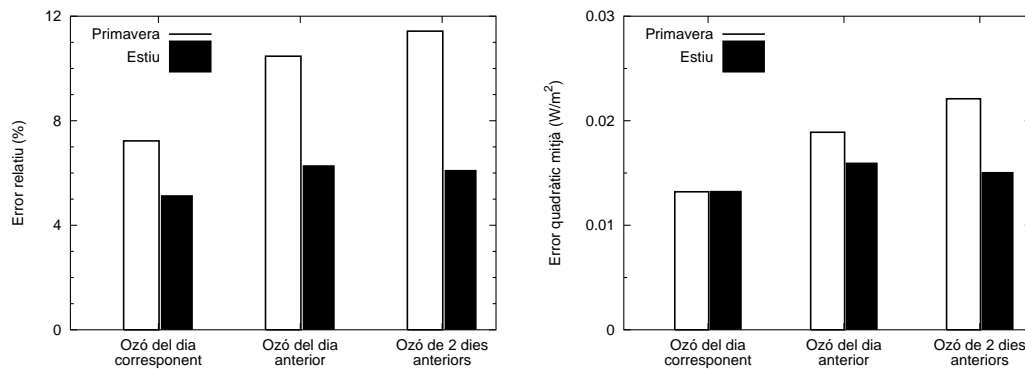


Figura 6.7: Mitjana dels errors relatius (esquerra) i error quadràtic mitjà (dreta) en les tres previsions de la irradiància eritemàtica a Barcelona durant la primavera i l'estiu de 2001.

Taula 6.2: Mitjana dels errors relatius i error quadràtic mitjà (RMSE) en la predicció de la irradiància eritemàtica a Barcelona durant la primavera i l'estiu de 2001.

Input	Error relatiu (%)		RMSE (mW/m^2)	
	Primavera	Estiu	Primavera	Estiu
Ozó del dia corresponent	7.23	5.15	13.2	13.3
Ozó del dia anterior	10.47	6.30	18.9	16.0
Ozó de dos dies anteriors	11.43	6.12	22.1	15.1

6.1.4 Incorporació de la previsió d'ozó del DWD (2003)

Des de l'agost de 2002 el Deutscher Wetterdienst (DWD) proporciona prediccions de l'índex UV i de la columna total d'ozó a 12, 36 i 72 hores. La predicció dinàmica d'ozó es realitza a partir del model de predicció numèrica global GME del DWD (Majewski et al., 2002). El fet que la major part de la massa d'ozó està transportada a la baixa estratosfera, fa que l'ozó pugui ser tractat com un traçador inert en prediccions curtes de fins a 3 dies. Els camps inicials per a la predicció estan proporcionats pel Centre Europeu de Predicció del Temps a Mig Termini (ECMWF). La predicció de l'índex UV es realitza a partir del model STAR.

La previsió d'ozó es realitza a escala mundial per a latituds de -90 a $+90^\circ$ amb un pas de 0.5° i longituds de -180° a $+179.25^\circ$ amb un pas de 0.75° . Els resultats es proporcionen en tres fitxers ASCII (per a les 12, 36 i 72 hores, respectivament) que contenen 16 columnes i 10.830 files amb els valors de la columna total d'ozó. Per assignar a aquests valors una latitud i una longitud, cal passar-los a una malla de 480 columnes (longituds) per 360 files (latituds), establint la primera columna i fila del fitxer com l'element (1,1) de la malla, la segona columna i primera fila com l'element (2,1), etc., de manera que per a cada 30 files del fitxer es completa una fila de la malla. Un cop es té la malla sencera, s'assigna la columna total d'ozó a -180° de longitud i -90° de latitud a l'element (1,1) de la malla i així successivament fins a l'element

6.1. La predicció de l'índex UV a Catalunya (2000-2003)

(480,361) que correspondrà a la columna total d'ozó a $+179.25^\circ$ de longitud i $+90^\circ$ de latitud. Pel cas de Barcelona, s'ha assignat el punt de malla més proper (41° N, 2° E) a les coordenades de la Facultat de Física ($41^\circ 23'$ N, $2^\circ 7'$ E). Aquesta predicció d'ozó es va incorporar com a entrada del model per a la predicció de l'índex UV a partir del gener de 2003.

Total column ozone at noon, 07.03.05 00:00 UTC period= +36 h

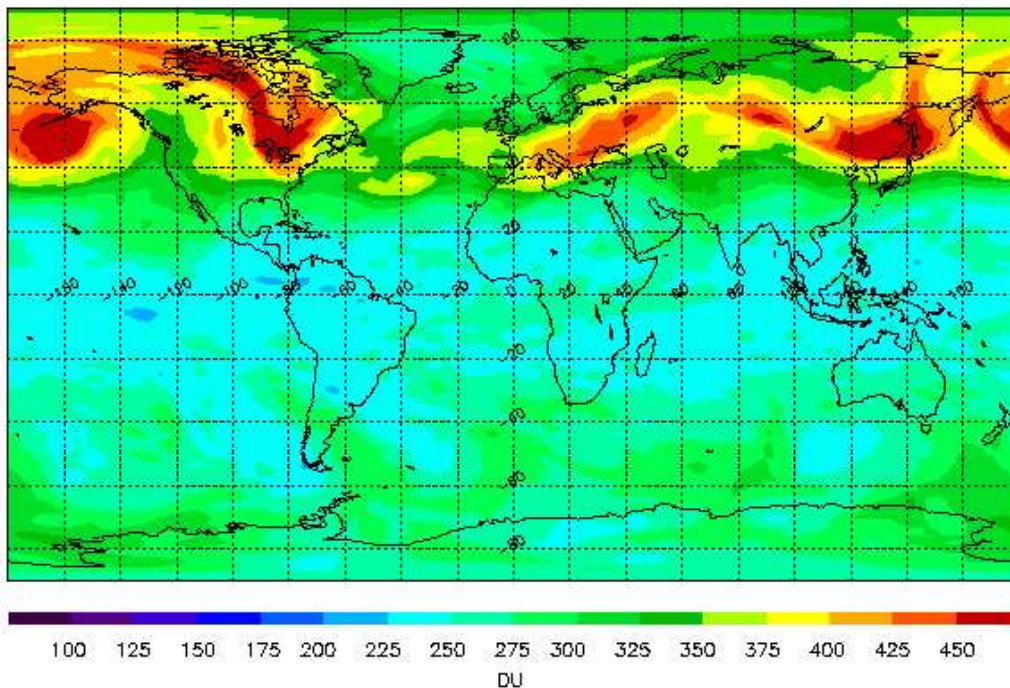


Figura 6.8: Previsió de la columna total d'ozó a 36 hores (migdia de l'endemà) realitzada pel DWD (Majewski et al., 2002). *Copyright* © 1996-2005 Deutscher Wetterdienst (DWD).

Per comprovar l'exactitud d'aquesta predicció s'ha calculat la diferència entre la mesura de la columna total d'ozó realitzada pel TOMS d'un dia determinat i la mesura de 2 dies abans, i la diferència entre la mesura del TOMS i la predicció del DWD feta 36 hores abans. Com s'observa a la figura 6.9 els dos procediments obtenen resultats semblants, si bé a la taula 6.3 s'observa que els resultats quan s'empra la predicció del DWD són sensiblement

millors que els de la hipòtesi de persistència. Aquesta millora es traduirà en una millor previsió de l'índex UV com es podrà comprovar a l'apartat 6.2.

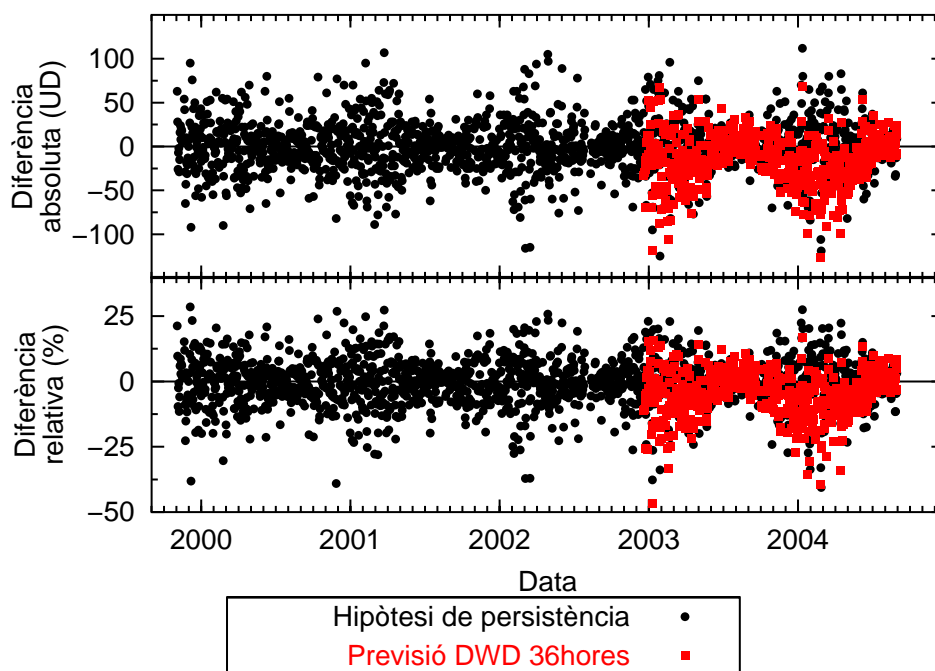


Figura 6.9: Diferència absoluta (UD) i relativa (%) de la previsió d'ozó del DWD i de la hipòtesi de persistència respecte de la mesura del TOMS.

Taula 6.3: Biaix (MBE) i error quadràtic mitjà (RMSE) de les diferències relatives i absolutes entre la mesura de la columna total d'ozó del TOMS i la previsió del DWD de 36 hores abans, i la previsió prenent la mesura del TOMS de 2 dies anteriors (hipòtesi de persistència) per a l'any 2003.

	Dif. absolutes		Dif. relatives		Coincidències #
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	
	[UD]	[UD]	[%]	[%]	
Hipòtesi de persistència	-0.065	28.52	-0.38	8.56	5
Previsió DWD 36 hores	-11.08	27.18	-3.65	8.42	6

6.1.5 Anàlisi i control de qualitat de la xarxa de piranòmetres de l'índex UV

A la figura 6.10 es poden observar les mesures semihoràries (no només els màxims diaris) des de l'estiu de 2000 fins a finals de 2003. Com s'aprecia, les sèries no són contínues i presenten períodes no vàlids de dades. Des de finals de l'any 2002 fins a principis de 2003, els tres piranòmetres del SMC van ser sotmesos a un recalibratge, aprofitant que el piranòmetre de Roses va ser retornat d'una reparació calibrat de fàbrica.

- Molló El sensor presenta un problema de saturació fins a finals de l'any 2002 que fa que el senyal enregistrat no pugui superar $0.17 W/m^2$ d'irradiància eritemàtica. Això invalida pràcticament totes les mesures d'estiu de l'any 2000 i 2001. A més, a principis de l'any 2001, es pot apreciar un *offset* que fa que en absència de radiació solar s'obtingui un senyal no nul, és a dir, de nit el piranòmetre detecta irradiància.
- Roses L'aparell va restar inoperatiu des de finals de 2000 fins a principis de 2001 a causa dels desperfectes ocasionats per un seguit d'actes incívics. A finals de 2001, va tornar a restar inoperatiu per les mateixes causes i aquest cop s'envià a la fàbrica per tal que en reparessin la cúpula de quars.
- El Perelló El piranòmetre mesura de forma continuada fins a mitjan de 2002, exceptuant uns dies de setembre de 2001. Tot i que les mesures són consistents presenten un petit error d'escala (estan sobreestimades) que es corregeix amb el recalibratge de principis de 2003.
- Barcelona La sèrie és quasi contínua tret d'un parèntesi a finals de l'any 2000 i no presenta cap mena d'errors d'escala.

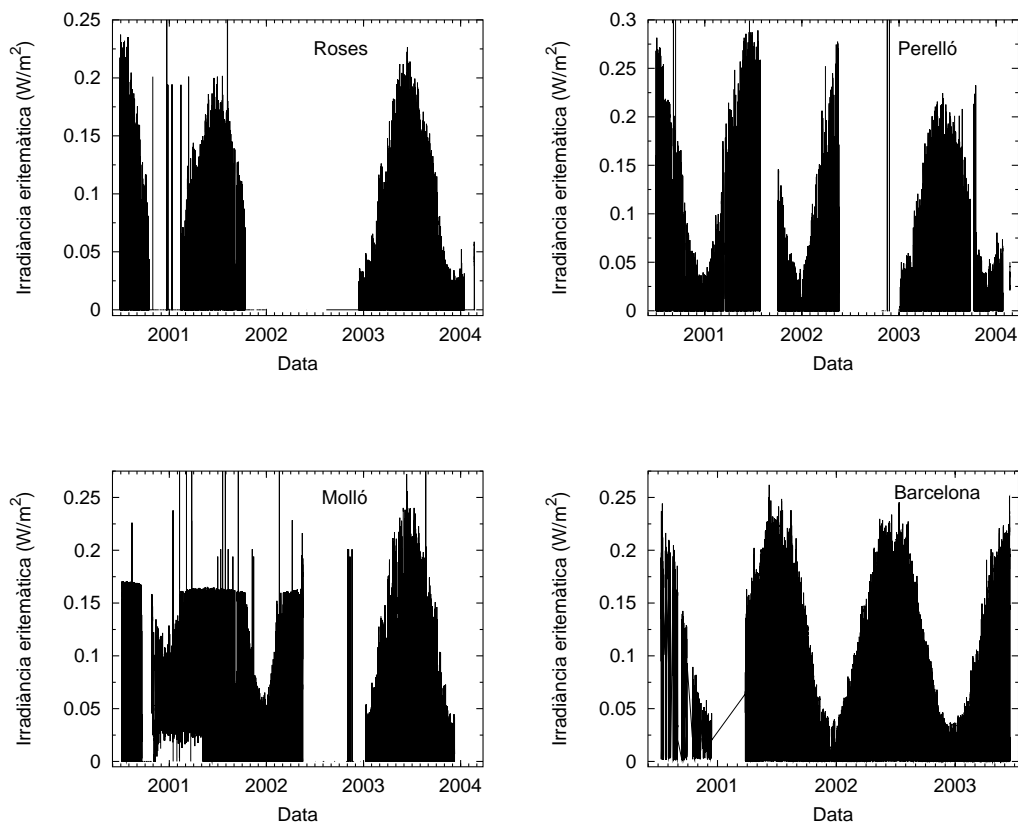


Figura 6.10: Mesures dels tres piranòmetres del SMC: Roses , Perelló , Molló i del piranòmetre de l'INM a Barcelona.

Per fer un estudi més rigorós del comportament dels piranòmetres és útil treballar només amb els màxims diaris de cada estació i comparar-los amb la previsió de l'índex UV, per poder observar si es desvien gaire del valor esperat. En el cas dels piranòmetres Solar Light, l'estudi es realitza per a l'any 2003 ja que anteriorment els piranòmetres presenten serioses irregularitats.

Com es pot comprovar a la figura 6.11 els 3 piranòmetres Solar Light tendeixen a subestimar la irradiància eritemàtica a partir del mes de juny i presenten un desajust considerable durant tot l'estiu. És per aquest motiu que es pren per la seva continuïtat, qualitat i validesa, la sèrie de Barcelona del piranòmetre YES.

6.2. Anàlisi de la millora introduïda per la predicció del DWD

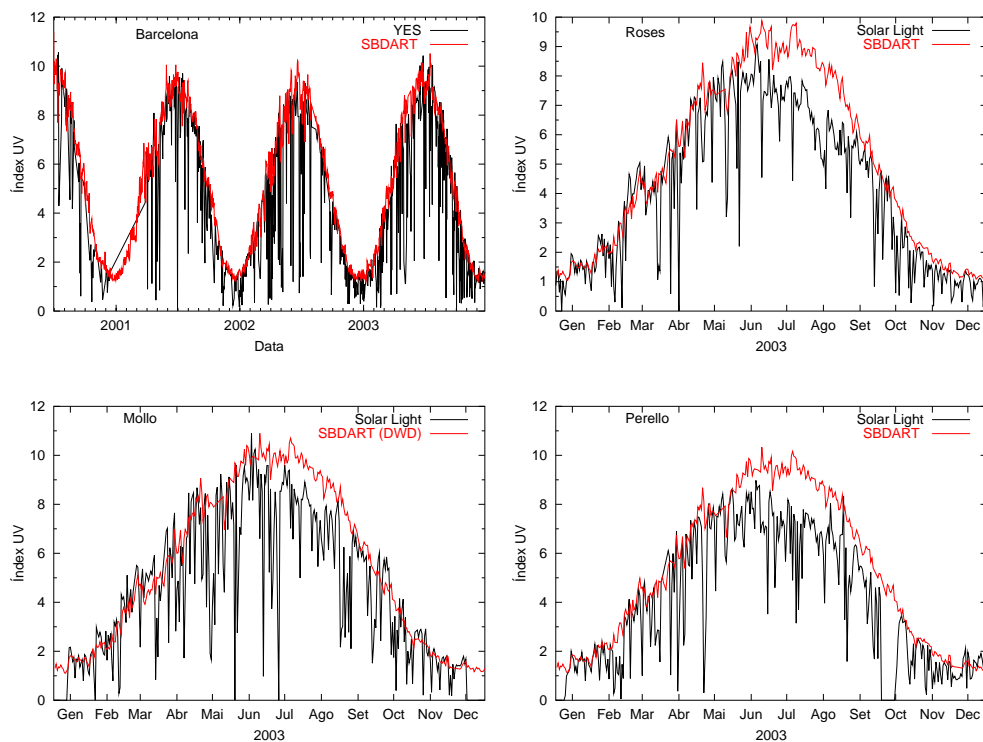


Figura 6.11: Comparació entre la predicció de l'índex UV i els màxims diaris dels piranòmetres al 2003.

6.2 Anàlisi de la millora introduïda per la predicció del DWD

El fet que de les quatre sèries de mesures piranomètriques de què es disposa l'única que presenta en tot el seu període certa validesa i continuïtat sigui la de Barcelona, fa que aquesta estació sigui idònia per avaluar la millora introduïda en utilitzar la predicció d'ozó del DWD en lloc de la hipòtesi de persistència de la columna total d'ozó. A l'apartat 6.1.4 ja es va comprovar que la predicció del DWD tenia més encert que la hipòtesi de persistència a l'hora de predir l'ozó del dia següent, ara es veurà com afecta aquesta millora a l'hora de predir l'índex UV.

6.2.1 Període 2000-2002 (hipòtesi de persistència de l'ozó)

La predicció de l'índex UV es va calcular amb el model SBDART 1.5 introduint l'ozó del TOMS de dos dies anteriors i les dades de pressió, massa d'aigua precipitable i espessor òptic d'aerosols mesurats el dia abans pel Microtops. La predicció es fa sense considerar la nuvolositat i posteriorment s'aplica el factor de modificació per núvols (CMF) al valor obtingut en condicions de cel serè. La figura 6.12 mostra la comparació entre les mesures de l'índex UV (màxim diari) del piranòmetre YES i la sortida del model SBDART (sense aplicar la correcció de núvols) a Barcelona. Com es pot apreciar el model acota superiorment totes les mesures i en dies serens proporciona una predicció força acudara.

A causa del fet que la nuvolositat varia al llarg del dia i que sovint es fa difícil caracteritzar amb un sol tipus de núvol i una sola alçada la nuvolositat present al cel, l'aplicació del factor de modificació de l'índex UV per núvols no sempre és encertada. Si, a més, s'afegeix el fet que es treballa amb la predicció de núvols del dia anterior i no pas amb dades d'observació, les probabilitats d'error poden ser encara majors.

Per tal d'analitzar l'exactitud del model SBDART en la predicció de l'índex UV, deixant de banda l'encert en l'aplicació del factor de modificació per núvols (CMF) i en la predicció de núvols —que no és fruit d'aquest treball—, és útil treballar únicament amb els dies amb condicions de cel serè. Per tal de procedir al filtratge de dies amb núvols es disposa d'una base de dades on consta l'estat del cel (nuvolositat —morfologia, alçada i cobertura—, visibilitat i terbolesa), determinat a partir d'observacions realitzades al migdia (que sol ser també quan s'arriba al valor de major índex UV), coincidint amb la realització del radiosondatge i la mesura del Microtops.

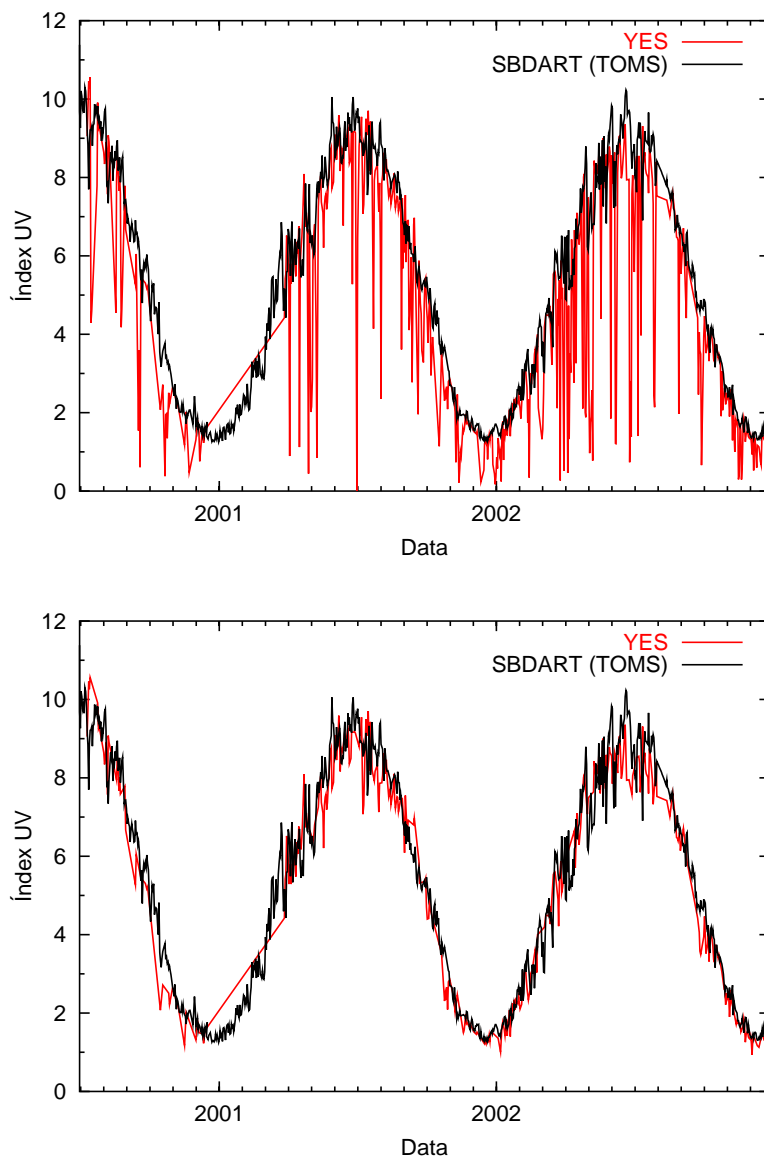


Figura 6.12: Comparació entre la predicció de l'índex UV i les mesures del piranòmetre YES a Barcelona durant el període 2000-2002 per a tots els dies (superior) i només per a dies sense núvols (inferior).

6.2.2 Període 2003 (predicció d'ozó del DWD)

Durant aquest període, s'incorpora la predicció d'ozó del DWD i les mesures del fotòmetre CIMEL en l'execució del model SBDART 1.5. Tot i així a la

6. Aplicació del model SBDART a la predicció de l'índex UV a Catalunya

figura 6.13 s'afegeix també la predicció de l'índex UV a partir de les dades del satèl·lit TOMS per tal de poder fer la comparació entre les dues metodologies sota les mateixes condicions (l'any 2003 per exemple, va tenir més dies amb nuvolositat que l'any 2001 o 2002).

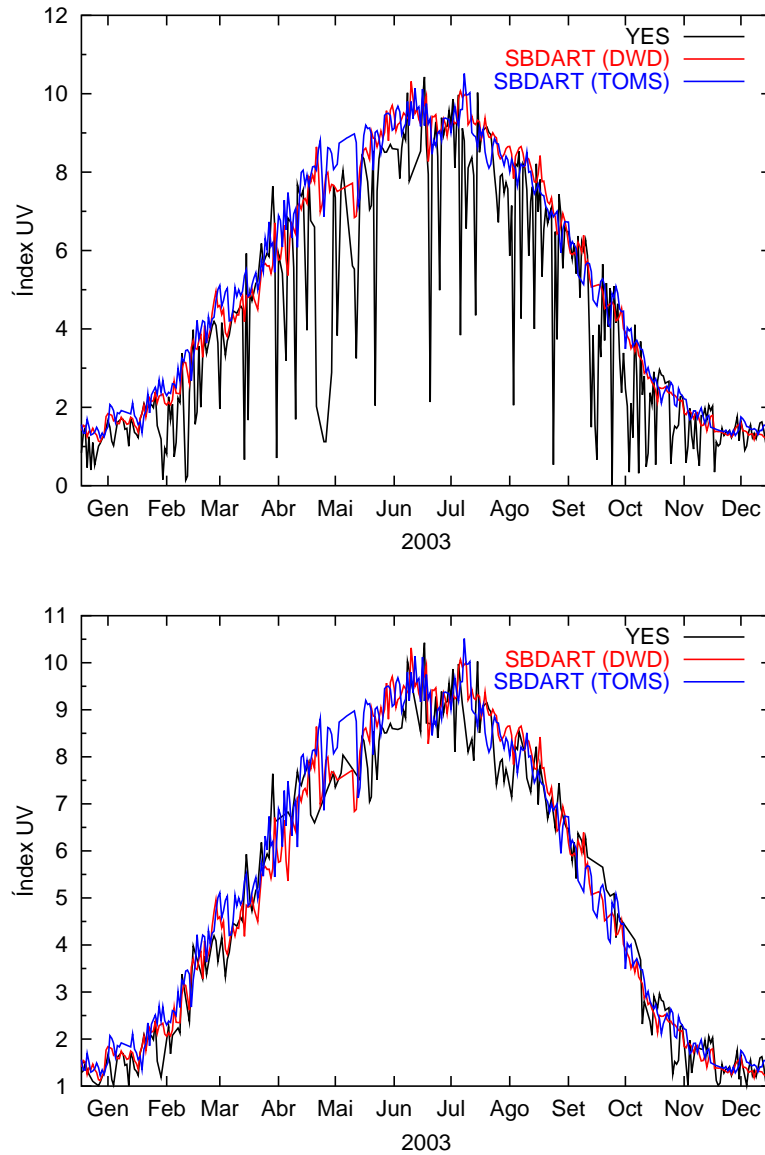


Figura 6.13: Comparació entre la previsió de l'índex UV i les mesures del piranòmetre YES a Barcelona, durant l'any 2003 per a tots els dies (inferior) i només per a dies sense núvols (superior).

6.2. Anàlisi de la millora introduïda per la predicció del DWD

Com es pot apreciar a la figura 6.13 la predicció d'ozó del DWD introdueix una lleugera millora, especialment al mes de maig, on la previsió de l'índex UV feta a partir de les dades del TOMS sobreestima excessivament l'índex UV mesurat, mentre que la predicció realitzada a partir de l'ozó previst pel DWD s'aproxima més a les mesures. Per tal d'avaluar millor les discrepàncies s'ha calculat les diferències absolutes i relatives entre el model i les mesures. Com es pot comprovar a la figura 6.14 els errors absoluts es mantenen per sota d'una unitat d'índex UV en la majoria dels casos, i els errors relatius són més importants a l'hivern (a causa del valor menor que té l'índex UV) que és quan precisament aquesta magnitud té una importància menor de cara al pronòstic emès al públic.

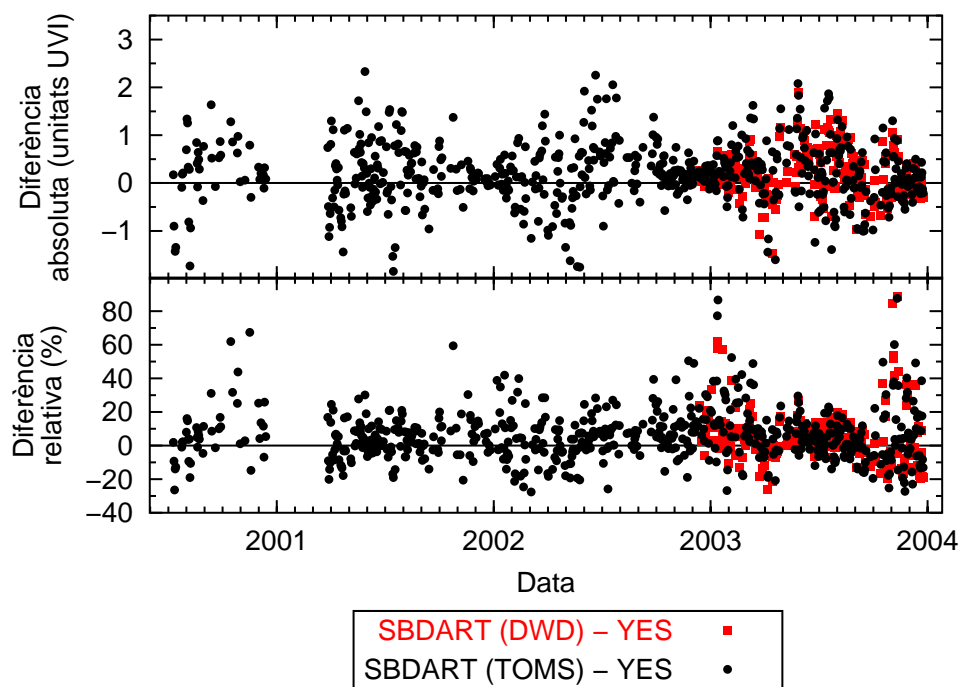


Figura 6.14: Diferències absolutes i relatives en la previsió de l'índex UV a Barcelona a partir de l'ozó del TOMS i la predicció d'ozó del DWD.

A la taula 6.4 ¹ és pot veure quantitativament la millora introduïda per

¹En la columna de coincidències s'han computat tots els casos en què les diferències absolutes són menors que $0.025 W/m^2$, això és, una unitat d'índex UV.

6. Aplicació del model SBDART a la predicció de l'índex UV a Catalunya

la predicció d'ozó del DWD. En tots els casos s'obté un biaix positiu, és a dir, la previsió sempre és superior a la mesura. Pel que fa a l'error quadràtic mitjà, és d'un 16% si es fa servir l'ozó proporcionat pel DWD, mentre que si s'utilitza la columna total mesurada pel TOMS, l'error arriba fins a un 20%.

Taula 6.4: Biaix (MBE) i error quadràtic mitjà (RMSE) de les diferències absolutes i relatives entre la predicció i la mesura de l'índex UV segons l'ozó utilitzat.

	Dif. absolutes		Dif. relatives		Coincidències # (total)
	MBE	RMSE	MBE	RMSE	
	[UVI]	[UVI]	[%]	[%]	
TOMS (2000-2002)	0.18	0.68	5.34	13.7	339 (389)
TOMS (2003)	0.20	0.63	7.81	20.1	201 (225)
DWD (2003)	0.17	0.52	5.03	16.3	203 (225)

