Capítol 1

Introducció i objectius

1.1 Introducció

La radiació espectral, definida com la radiació monocromàtica associada a cada longitud d'ona, és una variable important en el camp de les ciències atmosfèriques, la fotoquímica i la biologia. La forta dependència de la longitud d'ona dels processos d'interacció de la radiació amb el medi material en què es propaga fa necessari un coneixement acurat de la radiació espectral. Pel que fa a la radiació solar, un gran nombre d'aquests processos, fonamentalment de tipus biològic, té lloc a l'interval de l'ultraviolat (UV).

Pels humans, les conseqüències negatives de la sobreexposició a la radiació solar sense una adequada fotoprotecció han motivat un creixent interès en l'estudi de la radiació solar UV, sobretot la que correspon a l'interval UVB (280-320 nm). Malgrat que la radiació UVB contribueix en menys del 0.5% a la irradiància solar total al nivell de superfície terrestre, sol ser considerada la més important des del punt de vista biològic.

La mesura de la irradiància solar UV és una de les més difícils de dur a terme en física atmosfèrica a causa del baix valor que posseeix i dels possibles errors que té associats. En aquest sentit, la mesura de la irradiància espectral en longituds d'ona per sota del 320 nm, requereix l'ús d'espectroradiòmetres de gran resolució dissenyats per ser sensibles a senyals baixos.

En els darrers anys, els cànons de l'estètica tendeixen a considerar la

pell bronzejada com un tret atractiu, contràriament al que passava al segle passat on la pell pàl·lida era un signe d'aristocràcia. Això ha propiciat l'hàbit d'exposar-se de manera intencionada a la radiació solar UV, ja sigui a la platja o en centres de bronzejat amb làmpades UVA.

Per altra banda i lligat de vegades a aquesta tendència, la comunitat mèdica ha observat que el nombre de casos de càncer de pell sobrepassa la majoria de casos afectats per altres tipus de càncer (Parker et al., 1997) i que el risc de contreure'l és major en persones que s'han sobreexposat a la radiació UV durant la infància (Moan and Dahlback, 1992 i Truhan, 1991). A més del càncer de pell, se sap que altres efectes biològics negatius estan associats a l'exposició a la radiació UV com les cataractes[1] (Taylor et al., 1988), les alteracions en el sistema immunològic (Fabo et al., 1990), l'envelliment prematur de la pell o fotoenvelliment (Lavker et al., 1995) i els danys en l'ADN (Potten et al., 1993). Aquests efectes es presenten en diferent intensitat, depenent sobretot dels nivells d'irradiació però també de les característiques de l'individu i del medi en què es troba (alçada sobre el nivell del mar, albedo i condicions atmosfèriques).

En resposta a això, les organitzacions de salut nacionals i internacionals van iniciar programes especials per a protegir la població dels efectes nocius de la radiació solar UV. En concret, l'Organització Mundial de la Salut (WHO) i l'Organització Meteorològica Mundial (WMO) van introduir l'índex UV (WMO, 1995, 1998 i Vanicek et al., 2000) per tal de descriure l'efectivitat de la radiació solar UV d'una manera estandarditzada i entenedora per al gran públic. Aquest índex, ja sigui en forma de mesura o predicció, ha passat a formar part dels espais informatius de la previsió del temps en molts països. Amb la finalitat de coordinar les metodologies per difondre aquesta informació, es va iniciar l'acció europea COST-713 (COoperation in Science and Technology) UVB Forecasting (Nolan and Amanatidis, 1995 i Vanicek et al., 2000) que va establir un seguit de recomanacions a l'hora de mesurar i predir l'índex UV.

La predicció de l'índex UV consisteix a determinar la irradiància biològicament efectiva (definida a l'apartat 2.2) que incidirà en un lloc determinat

[1] Afecció ocular consistent en l'opacitat, parcial o total, del cristal·lí o de la seva càpsula.

en un temps posterior, a partir del coneixement dels factors que hi intervenen: l'ozó atmosfèric, l'elevació del Sol, l'altitud del lloc, la dispersió atmosfèrica, els núvols i l'albedo.

L'ozó és el principal absorbent de la radiació UV, fent que a la superfície terrestre hi arribi només una part de la radiació UVB i no es detecti gens de radiació UVC. Precisament la quantitat de radiació UVB que es mesura des del terra és un indicador de la columna total d'ozó present a l'atmosfera (i de l'espessor de la capa d'ozó). Per aquesta raó, el deteriorament de la capa d'ozó observat en àmplies zones del planeta (Molina and Molina, 1986; Frederick, 1990; Stolarski et al., 1991 i Halthore et al., 1997), el qual podria determinar al seu torn l'augment de la radiació UV en aquestes àrees, és un motiu de preocupació a escala mundial en els últims anys. No obstant això, el fet que l'ozó no sigui l'únic factor implicat en la transmissió de la radiació solar UV en el seu pas per l'atmosfera fa problemàtic poder establir possibles tendències en els valors de radiació solar UV.

L'elevació solar, l'angle que formen l'horitzó i el feix de llum (o de manera equivalent, l'angle zenital que seria el complementari de l'anterior) determina la intensitat de la irradiància UV. Així, per angles zenitals petits, la radiació solar és més intensa ja que els raigs solars recorren un camí menor a través de l'atmosfera i per tant interaccionen amb una menor quantitat d'absorbents i dispersors. L'angle zenital ve determinat per la latitud, l'època de l'any i l'hora del dia, sent màxim als tròpics durant l'estiu i al migdia.

L'altitud també afecta la quantitat d'irradiància solar que es rep, sent major a més altitud, ja que la quantitat d'absorbents atmosfèrics també disminueix. Algunes mesures mostren un percentatge d'augment d'un 6-8% per a cada km (Vanicek et al., 2000), tot i que altres autors suggereixen valors més alts (Blumthaler et al., 1997 i McKenzie et al., 2001).

A la superfície terrestre hi arriba la irradiància directa, consistent en els raigs que han arribat sense ser absorbits ni dispersats, i la component difusa, formada per la llum dispersada per les molècules d'aire, els aerosols i les gotes d'aigua. En el cas de l'UV, la irradiància difusa pot arribar a ser tan important com la directa, d'aquí la gran importància de caracteritzar adequadament els aerosols (i la massa d'aigua precipitable relacionada amb

el creixement higroscòpic d'aquests) presents a l'atmosfera, per tal de garantir un càlcul precís de l'índex UV.

Per últim, els núvols generalment redueixen la irradiància UV de manera diferent segons quines siguin les seves característiques, mentre que el terra reflecteix i absorbeix la radiació solar depenent de les propietats de la seva superfície.

La influència de tots aquests factors i la manera com afecten la radiació solar, queda palesa en la formulació de les equacions de transferència radiativa, que expressen com s'atenua la irradiància solar extraterrestre al seu pas per l'atmosfera. Existeixen algunes aproximacions (atmosfera plano-paral·lela, atmosfera d'una sola capa) per tal d'arribar a expressions més senzilles i resolubles analíticament d'aquestes equacions, aplicables només en alguns casos. En el cas més general, es pot recórrer a la solució numèrica que proporcionen els models de simulació d'irradiància solar UV.

Els models d'irradiància espectral resolen l'equació de transferència radiativa separant-la en diferents funcions de transmissivitats per a cada un dels principals processos d'atenuació. Els models es classifiquen a grans trets en models de dispersió simple que consideren l'atmosfera com una sola capa, i models de dispersió múltiple que tenen en compte la no homogeneïtat de l'atmosfera considerant-la una superposició de capes, cadascuna amb una absorció i dispersió.

Per garantir uns resultats dels models que s'ajustin a la realitat, cal executar-los amb un bon coneixement de les variables d'entrada. Per tant, és preferible disposar del màxim nombre de paràmetres determinats a partir de mesures o dades experimentals, tals com: la columna total d'ozó, la massa d'aigua precipitable, l'espessor òptic d'aerosols i altres paràmetres de terbolesa, la temperatura, la pressió, etc. Tot i que en els models cal utilitzar els valors d'aquestes variables en el futur, i per tant caldria fer una previsió d'aquestes, és preferible partir de mesures instrumentals que no pas dels valors per defecte que proporcionen els models.

Per últim, cal disposar també de mesures instrumentals de les variables de sortida, tals com la irradiància espectral global, directa i difusa i l'índex UV mesurat per espectroradiòmetres, espectrofotòmetres i piranòmetres, per

tal de poder fer la validació i el seguiment d'aquestes simulacions.

1.2 Objectius

L'objectiu general d'aquesta tesi és l'aplicació de models de dispersió múltiple en la predicció de la radiació solar espectral UV a Catalunya. Prèviament s'havien fet diversos treballs pel grup que investiga en aquesta temàtica, mitjançant models de transferència radiativa de dispersió simple, (Cabo de, 1997) però ara s'ha realitzat utilitzant també models de dispersió múltiple.

Aquest objectiu principal s'ha traduït en uns objectius concrets com l'automatització de la incorporació de les variables d'entrada dels models, tals com la columna total d'ozó, la massa d'aigua precipitable i l'espessor òptic d'aerosols. Tot i que els models suggereixen uns valors per defecte per aquests paràmetres, el fet de disposar directament de mesures, o fins i tot, de previsions d'aquests valors, proporciona una execució dels models més fidedigna a la realitat. Per tal d'implementar aquest procediment, ha estat necessari disposar de mesures amb l'instrumental adequat i amb un cert control de qualitat. En concret, s'han utilitzat mesures d'irradiància global i difusa de l'espectroradiòmetre Bentham DTMc300F, des del 1999 fins al 2004; mesures de la columna total d'ozó de l'heliofotòmetre Microtops des de l'any 2000 fins a l'any 2003; mesures d'irradiància directa del fotòmetre CIMEL de l'any 2003 i mesures dels intruments a bord de satèl·lit (TOMS i GOME) des de l'any 1999 fins al 2004.

Un altre objectiu específic ha estat la comparació entre diferents models de transferència radiativa, ja sigui entre models d'un mateix tipus o comparant els de diferent metodologia (dispersió simple i dispersió múltiple). Per durho a terme s'ha realitzat una anàlisi de sensibilitat a les diferents variables d'entrada implicades, així com un estudi dels paràmetres de sortida en funció de quina hagi estat la variable utilitzada per a caracteritzar els resultats: índex UV, UVA, UVB, irradiància global, etc.

Per últim, un objectiu primordial en aquesta tesi, ha estat la validació del model escollit per a realitzar la previsió de l'índex UV, SBDART, amb les dades observacionals, utilitzant les mesures de banda ampla d'irradiància

eritemàtica d'un piranòmetre des de l'any 2000 fins al 2003.

Pel que fa a l'estruturació d'aquesta memòria, el desglossament per capítols és el següent:

En el capítol 2 es presenta de manera resumida la radiació UV i el seu efecte biològic i s'introdueix l'índex UV i l'espectre d'acció. També es descriu l'espectre de la radiació extraterrestre i l'atenuació de la irradiància espectral en passar per l'atmosfera, a partir dels procesos d'absorció per part de l'ozó, del vapor d'aigua, del nitrogen i de la mescla de gasos, i dels processos de dispersió per part de les molècules i dels aerosols.

En el capítol 3 es resumeixen les metodologies utilitzades per a la mesura de la irradiància UV i s'aprofundeix en la descripció i caracterització de l'instrumental concret que s'ha utilitzat per aquest treball.

En el capítol 4 es comparen diferents models de transferència radiativa a partir de les mesures obtingudes durant una campanya experimental (tant per inicialitzar els models com per comparar els resultats) a fi de determinar les diferències, entre models i entre models i mesures, en el càlcul de l'índex UV, UVA i UVB. En concret, s'han comparat els models SMARTS2 i UVAGOA de dispersió simple i els models STAR i SBDART de dispersió múltiple.

En el capítol 5 es descriuen les metodologies emprades per caracteritzar les propietats òptiques de l'atmosfera que s'utilitzen en els models de simulació de la irradiància espectral. Així, s'obté la columna total d'ozó a partir de les mesures del fotòmetre Microtops, de les mesures de l'espectroradiòmetre Bentham i per teledetecció a partir de les mesures del TOMS i GOME. També es determina l'espessor òptic d'aerosols a partir de les mesures dels fotòmetres CIMEL i Microtops i per últim, es calcula la massa d'aigua precipitable a partir de les dades obtingudes del radiosondatge i també a partir de les mesures dels fotòmetres CIMEL i Microtops.

Finalment, en el capítol 6 s'analitzen els resultats de l'aplicació dels models en la predicció de l'índex UV, comparant les simulacions del model SBDART amb mesures de banda ampla d'irradiància UVB contrastades, així com a partir de la determinació de les diferències a l'hora d'utilitzar com a variable d'entrada la mesura de la columna total d'ozó del TOMS del dia anterior o la previsió d'ozó estratosfèric a 36 hores del Deutscher Wetterdienst (DWD).