

Els processos del sol en els models numèrics de predicció del temps

Isabel Martínez Marco
Ernesto Rodríguez Camino
Meteoròlegs del Servei de Predicció Numèrica
Instituto Nacional de Meteorología
(INM)

Què són els models numèrics per a la predicció del temps?

Des de fa uns anys, en els serveis meteorològics moderns es pot assistir a una silenciosa revolució que afecta dràsticament els hàbits i els mètodes de treball. Aquesta revolució, d'altra banda, no és exclusiva dels serveis meteorològics i està en relació amb el procés d'automatització i d'introducció de la informàtica en gairebé tots els àmbits de la nostra activitat.

Fins fa relativament poc, la predicció del temps es basava essencialment en l'observació, per a determinar l'estat actual de l'atmosfera, i en l'aplicació de tècniques molt senzilles (la major part gràfiques) per a extrapolar aquest estat actual fins a un futur molt proper, que rara vegada ultrapassava un dia. Els meteoròlegs treballaven essencialment sobre les dades observades, a fi d'identificar les estructures de pressió (borrasques, anticiclons, fronts, etc.) a escales de milers de quilòmetres (l'anomenada escala sinòptica en l'argot dels meteoròlegs), i n'extrapolaven el desplaçament i el desenvolupament mitjançant procediments elementals que tenien la base teòrica en la suposada evolució lineal dels fenòmens atmosfèrics.

Com que l'evolució de l'atmosfera és essencialment no lineal (exceptuant-ne períodes de temps molt breus), ha calgut recórrer a la predicció diària del temps basada en els resultats obtinguts de la integració de *models numèrics* que simulen el comportament de l'atmosfera. Aquests models es formulen en termes de les equacions hidrodinàmiques que regeixen l'evolució del fluid atmosfèric, considerat un sistema físic determinista.

Per tant, la *predicció numèrica del temps* és la simulació de l'atmosfera mitjançant models basats en les lleis físiques i en les escales temporals en què aquesta simulació és determinista.

La modelització de l'atmosfera es basa en la resolució d'un conjunt d'equacions termohidrodinàmiques, que, com qualsevol problema matemàtic que simula una evolució temporal, necessita:

- a) Conèixer amb l'exactitud més gran possible l'estat inicial (observacions).
- b) Ús generalitzat de la matemàtica discreta.
- c) L'auxili de potents ordinadors.

La modelització de l'atmosfera presenta una sèrie de problemes específics, com:

- Incertesa en les condicions inicials.
- Multiplicitat d'escales espacials i temporals.
- No linealitat del sistema.
- Insuficient coneixement de les lleis de la física (per exemple, turbulència, microfísica de núvols, termodinàmica del no equilibri, ...).
- Límit de càlcul imposat pels ordinadors de què es pot disposar.

Com s'estudia l'atmosfera mitjançant models numèrics?

L'estudi de l'atmosfera, a l'igual que el de molts altres sistemes físics, es basa essencialment en tres grans pilars: teoria, experimentació i simulació.

La teoria que descriu el comportament i l'evolució de l'atmosfera és conseqüència de les lleis de la mecànica de fluids i de la termodinàmica, així com d'altres lleis d'àmbit més restringit de l'atmosfera que es basen en molts casos en coneixements empírics. Aquests coneixements empírics s'han concretat en forma de models conceptuals, difícilment matemititzables o obtenibles directament a partir de lleis més generals.

L'experimentació, en el cas atmosfèric, és substituïda gairebé exclusivament per l'observació. Atesa la magnitud del sistema, és gairebé impossible aïllar-lo en un laboratori, i, en conseqüència, la repetició d'experiments canviant successivament les condicions externes per tal d'extreure'n conseqüències es troba molt limitada. Cal remarcar que tant l'experimentació com l'observació s'han de fer sobre sistemes reals.

La simulació del comportament de l'atmosfera mitjançant models numèrics

té una sòlida base en les lleis físiques i fa servir potents ordinadors. L'atmosfera real s'assimila a la simulada per mitjà de models, i aleshores és possible repetir experiments amb l'atmosfera simulada en diferents condicions.

Quins tipus de models hi ha?

Per a la simulació de l'atmosfera es fan servir diversos tipus de models, segons les escales espacials i temporals en què s'estigui interessat. Essencialment, però, es tracta en tots els casos de models basats en les mateixes equacions de la termohidrodinàmica considerades com un problema de valors inicials, encara que amb variacions en el forçament extern (figura 2).

Els *models climàtics* es fan servir a escales temporals que van des de les estacions anuals als centenars d'anys. Incorporen, a més de l'atmosfera, d'altres sistemes els components dels quals interaccionen de forma significativa en aquestes escales temporals, com els oceans, els gels, etc. En el component atmosfèric, les parametritzacions de la física, singularment de la convecció i la radiació, han d'estar formulades molt finament, ja que, en essència, són responsables de l'equilibri final i, per tant, de la climatologia del model, que cal que s'aproximi tant com sigui possible a l'atmosfera real.

Els *models globals de circulació general* emprats per a prediccions a mig termini (1-2 setmanes) tenen només el component atmosfèric, amb el subsistema sol inclòs. A més de les parametritzacions dels processos físics, comença a tenir cada cop més importància una formulació precisa de les condicions inicials. Les parametritzacions

són termes addicionals que s'introdueixen en les equacions, per a donar compte de dos tipus de processos: a) els no resolts explícitament per la retícula del model (per exemple, els fenòmens convectius), i b) els que tindrien necessitat de la introducció de variables i equacions addicionals per a la seva completa descripció, fet que complicaria enormement la resolució del problema (per exemple, els processos radiatius).

Els *models d'àrea limitada* es fan servir per a prediccions a curt termini (1 a 2 dies). En aquests models ja és essencial disposar d'una descripció tan precisa com sigui possible de les condicions inicials, mentre que certes parametritzacions molt costoses, com la de la radiació, es poden simplificar dràsticament, ja que afecten relativament poc les escales temporals petites.

Els *models de mesoescala* es fan servir per a prediccions a molt curt termini (d'hores a un dia). Impliquen un canvi substancial en les equacions en relaxar la hipòtesi d'hidroestaticitat, que difícilment pot mantenir-se a escales temporals d'hores i escales espacials de l'ordre de 10 km.

Quins foren els inicis de la predicció numèrica del temps?

L'objectiu de la predicció numèrica del temps és, doncs, predeterminar l'estat futur de la circulació atmosfèrica a partir del coneixement de l'estat present mitjançant l'ús de les equacions dinàmiques de l'atmosfera. Per a complir aquest objectiu, cal:

- 1) L'estat inicial dels camps considerats variables del model.

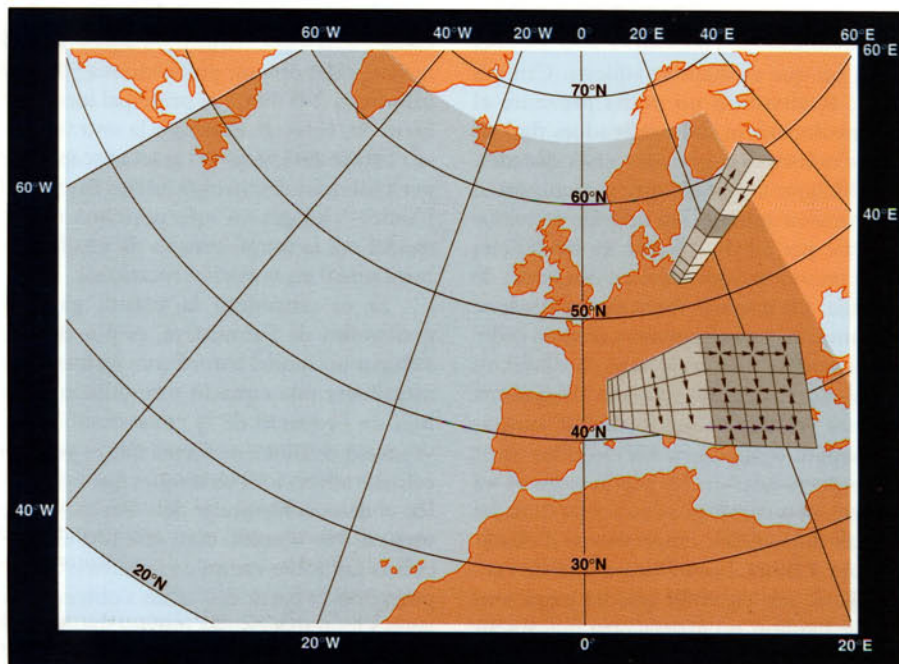
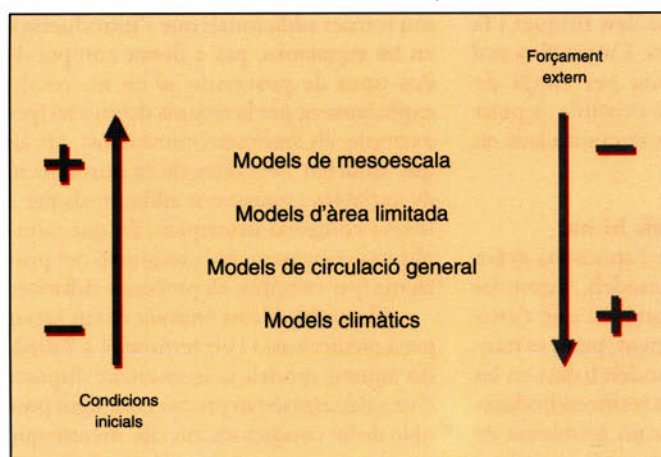


Figura 1: Tal com s'observa a la figura, els models numèrics de predicció del temps discretitzen l'atmosfera en l'horitzontal i en la vertical

Figura 2: Diferents tipus de models atmosfèrics



- 2) Un conjunt tancat d'equacions de predicció que relacionin les variables del model.
- 3) Un mètode per a integrar les equacions en el temps a fi d'obtenir la distribució futura de les noves variables.

El primer intent de predicció numèrica del temps fou obra de L.F. Richardson. El seu llibre *Weather Prediction by Numerical Process*, publicat el 1922 (Cambridge University Press, reimprès per Dover, 1965), és el tractat clàssic en aquesta matèria. Richardson mostrà en el seu llibre que les equacions que governen els moviments atmosfèrics es podien discretitzar, és a dir, aproximar per un conjunt d'equacions algebraïques en diferències i calcular valors previstos dels camps considerats com a variables fonamentals dels models. Fins i tot per a prediccions a curt termini sobre una zona petita de la Terra, aquest procediment requeria un nombre enorme d'operacions aritmètiques. Va estimar que necessitaria unes 64 000 persones només per a calcular l'evolució de l'atmosfera a la mateixa velocitat que evoluciona aquesta. Com és obvi, Richardson no podia preveure el desenvolupament dels ordinadors digitals que s'esdevindria passades unes dècades.

Malgrat la feinada que va comportar, Richardson aplicà el seu mètode en un cas concret per tal de calcular les tendències de la pressió en superfície en dos punts de retícula. Els resultats foren descoratjadors: els canvis de pressió previstos eren un ordre de magnitud més grans que els observats realment. El resultat fou que s'abandonà aquesta via d'investigació durant aproximadament trenta anys. La raó d'un error tan espectacular en les prediccions es va atribuir en un principi a l'escassetat de dades inicials disponibles, especialment d'observacions d'altura. La raó fonamental de l'error, però, rau en el fet que les equacions de Richardson no governaven únicament els moviments lents que afecten l'evolució

meteorològica, sinó que incloïen també ones gravimètriques i sonores de gran velocitat entre les possibles solucions. A l'atmosfera real aquestes oscil·lacions ràpides tenen una amplitud molt petita a causa de diversos mecanismes que controlen el seu creixement. En el seu model aquestes oscil·lacions es van amplificar espúriament, i van introduir tant de soroll en la solució, que emascarà les solucions meteorològicament rellevants.

Com va evolucionar la predicció numèrica?

Durant els anys 20 i 30 els mètodes de predicció del temps prengueren altres rumbos, fins a la introducció, a finals dels anys 40, dels ordinadors electrònics.

El 1949, Neumann, Charney i Fjortoft van obtenir la primera predicció numèrica mitjançant un model barotròpic; per a fer-ho van emprar simplement l'equació de conservació de la vorticitat absoluta en 500 mb, nivell que coincideix de forma aproximada amb el nivell de no divergència de l'atmosfera. Mitjançant aquest model es van poder obtenir prediccions a 500 mb útils fins a 2-3 dies, i el principal inconvenient era el fet de restringir la seva validesa a l'atmosfera mitjana i la seva incapacitat per a modelar desenvolupaments baroclins. L'única "ciclogènesi" que permetia aquest model era la transformació de cisalladura horitzontal en vorticitat rotacional.

Si es considera la natura gairebé geostròfica de l'atmosfera, es pot desenvolupar un model baroclí més realista, que introdueix una equació termodinàmica a més de l'equació de la conservació de la vorticitat absoluta, de forma que es puguin calcular adveccions tèrmiques que controlen el desenvolupament dels sistemes de la vertical. No obstant, com que tots els càlculs es fan sobre camps de superfícies geopotencials (a partir dels quals s'obtenen els vents i les temperatures mitjançant derivades espacials), les conversions entre energia

potencial i cinètica apareixen profundament alterades respecte de l'evolució real.

Tant el model barotròpic introduït per Charney *et al.* (1949) com els models posteriors basats en aproximacions quasigeostrofiques pertanyen a la categoria d'*equacions filtrades*. El nom prové del fet que mitjançant la inclusió d'aproximacions (especialment aproximacions quasigeostrofiques i/o lligadures sobre la divergència del vent) s'ha eliminat (filtrat) la part de les solucions de les equacions bàsiques de l'atmosfera que emmascara les solucions meteorològiques.

Les equacions bàsiques o *primitives* que regeixen el comportament de l'atmosfera són molt complexes, i, per tant, incorporen una gran varietat de tipus de moviment i d'escala, moltes de les quals són alienes al tipus d'evolució característic de l'escala sinòptica en la que ens volem centrar.

En principi, es pot enfocar de dues maneres diferents el problema d'estudiar les equacions que regeixen l'evolució sinòptica de l'atmosfera:

- a) Simplificar les equacions bàsiques de forma que entre les seves solucions només s'incloguin els tipus de moviment i escala sinòptica que ens interessin: equacions filtrades.
- b) Considerar el problema en la seva generalitat, encara que això comporti haver de treballar amb solucions que en principi no ens interessin, per més que afectin escales que ens interessin (les equacions són fortament no lineals!). Aquestes solucions tot sovint es manifesten com a soroll de fons que ha de ser, si no eliminat, al menys controlat en la seva amplitud: equacions primitives.

Com ja hem vist, Richardson començà a treballar amb equacions primitives, però a causa dels problemes que li plantejava el "soroll" que predominava sobre les solucions "sinòptiques" en què estava interessat, considerà acabada aquesta via de desenvolupament.

Més tard, en els anys 50 i 60, es desenvoluparen els models filtrats fins que es va tocar sostre en l'abast de la predicció (2-3 dies) perquè les aproximacions incloses en les equacions impossibiliten qualsevol millora mitjançant aquesta via.

Molts d'aquests inconvenients es van superar en els anys 70 amb la introducció d'una versió augmentada i refinada del model d'equacions primitives de Richardson. Els vents i els camps de geopotencial són tractats, en principi, com a variables independents, i els processos no adiabàtics, com la radiació, la condensació i el "fregament" a la superfície terrestre, s'incorporen de manera realista als models. S'han renovat paulatinament els coneixements en les tècniques numèriques més eficients i en el tractament

de les dades inicials (procés d'inicialització) que permeten controlar a nivells acceptables la presència de "soroll" sobre les solucions de tipus meteorològic.

Com es simulen els processos en què intervé el sòl en els models numèrics?

L'atmosfera és limitada per la part inferior pels oceans, els gels o la superfície terrestre. Com a conseqüència, cal simular les interaccions que hi ha entre aquesta frontera interior i l'atmosfera. Pel que fa a la superfície terrestre, la descripció de la seva interacció amb l'atmosfera ha de fer palesos els fluxos de calor sensible, de calor latent i de moment que hi ha entre el sòl i l'atmosfera. És a dir, cal saber si l'atmosfera es refreda o s'escalfa, i quant, en estar en contacte amb el sòl, si l'atmosfera rep una aportació d'humitat, i la seva magnitud, per evapotranspiració des del sòl, o si l'atmosfera es "frena" per fregament, i quant, en desplaçar-se sobre el sòl.

Per a la descripció d'aquests fluxos cal disposar d'una completa base de dades fisiogràfica del terreny que inclogui una descripció de la topografia, de la quantitat i tipus de vegetació i de la seva variació anual, i del tipus de sòl pel que fa a textura i constants tèrmiques i radiatives (per exemple, emissivitat, capacitat calorífica, conductivitat, albedo, ...).

Fins una època molt recent els models numèrics de predicció tenien una descripció bastant simplificada del sòl i de la seva interacció amb l'atmosfera. Lògicament, a escales prou grans, els elements diferencials que introdueix el sòl quedaven prou difuminats perquè no fos considerat prioritari enfront d'altres processos que eren dominants a grans escales. De fet, inicialment, els models de circulació simulaven la interacció amb el sòl mitjançant la descripció d'aquest amb dues variables (temperatura i contingut d'aigua) i dos o tres nivells, el més inferior dels quals era de tipus climàtic.

Al nivell superior (el que es troba en contacte amb l'atmosfera) la temperatura se determina mitjançant una equació de balanç energètic (*figura 3*), és a dir, la variació de temperatura és fixada pel balanç de les energies radiatives (solar i terrestre) incidents i emeses pel sòl, pel flux de calor sensible, pel flux de calor latent i per la transferència de calor cap a nivells inferiors. Aquesta transferència se suposa, habitualment, que té lloc per processos de conducció, i es menyspreen els possibles efectes convectius o radiatius.

D'una manera anàloga, el contingut d'aigua del nivell superior es determina mitjançant una equació de balanç hídric per al nivell en qüestió (*figura 4*). La variació de contingut d'aigua al sòl és fixada per les aportacions positives dels diversos tipus de

Figura 3: Esquema del balanç d'energia superficial en una retícula d'un model

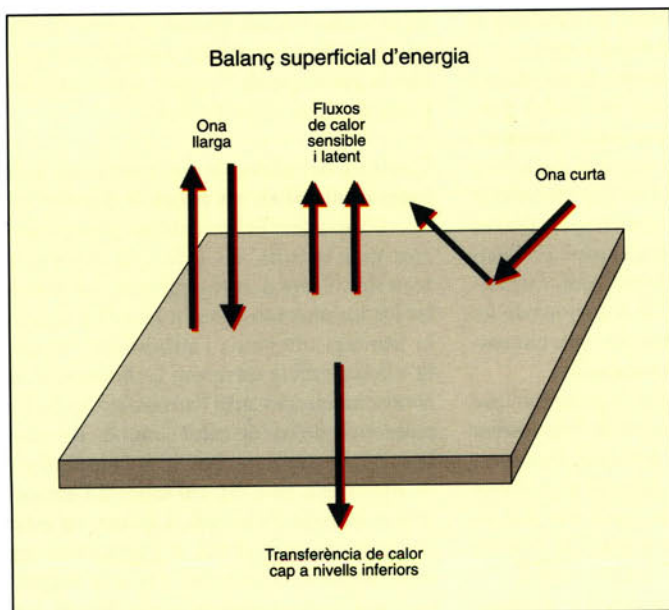
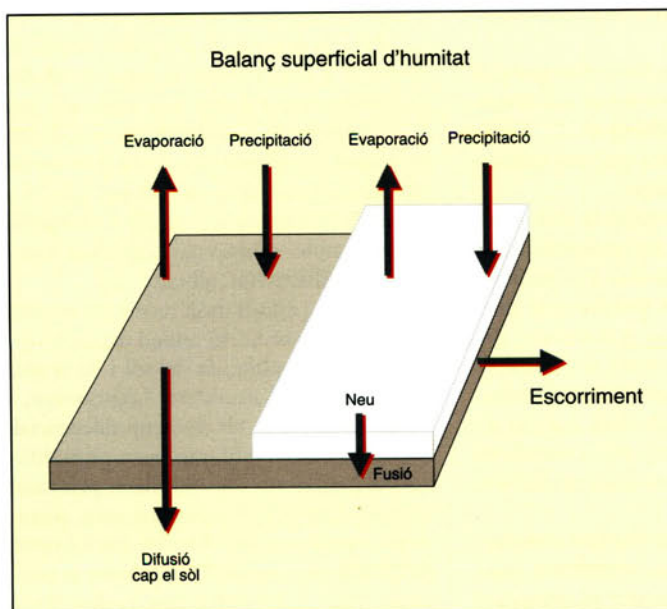


Figura 4: Esquema del balanç superficial d'humitat en una retícula d'un model



precipitació i per la fusió de la neu sobre el sòl, si n'hi ha, i per les aportacions negatives de l'evaporació cap a l'atmosfera, del vessament horitzontal i de la percolació (que habitualment es tracten plegats en els models) i de la difusió cap a l'interior del sòl.

Els processos de difusió a les capes inferiors, tant pel que fa a la temperatura com al contingut d'aigua, poden menysprear-se directament o bé calcular-se mitjançant la corresponent equació de la difusió. Una alternativa senzilla a la resolució de l'equació de la difusió, ja que per tal de resoldre-la calen forçosament diverses capes, és l'anomenat mètode de "força-restauració", per mitjà del qual una variable es força cap al valor prescrit tant del nivell inferior com del nivell superior amb un temps de relaxació donat per a cada nivell. El nivell més inferior es prescriu climàticament.

Esquemes recents de sòl en els models operatius de predicció

Els models de sòl que es fan servir actualment en els models de predicció del temps consten, d'una banda, d'equacions de balanç per a la predicció de les variables temperatura i contingut d'humitat al nivell superior que és en contacte amb l'atmosfera, i, d'una altra banda, d'equacions de difusió per a la predicció de les variables temperatura i humitat en els nivells situats a l'interior del terreny. Normalment, aquests models de sòl es desenvolupen amb dos o tres nivells de subsòl (figures 5 i 6).

Els esquemes de sòl més recents incorporen, d'una banda, una descripció de la vegetació, i d'una altra, tenen en compte les característiques de textura del terreny.

La descripció de la vegetació és important des del punt de vista dels processos de

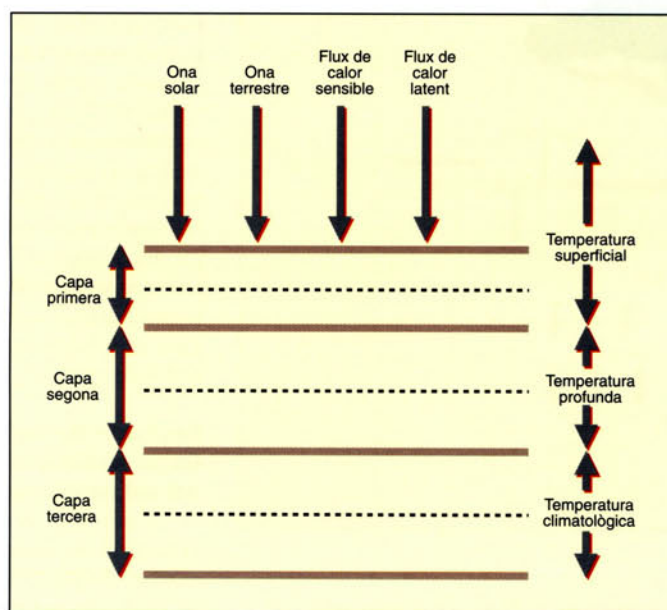


Figura 5: Esquema vertical dels processos tèrmics en un model de sòl

transpiració, que actuen simultàniament amb els d'evaporació, i ambdós introdueixen vapor d'aigua a l'atmosfera per la seva frontera inferior. Les plantes prenen aigua del sòl a una profunditat que depèn de les dimensions de les seves arrels i injecten vapor d'aigua a l'atmosfera a través dels estomes de les fulles. Per tant, la transpiració és un mecanisme alternatiu al de l'evaporació que extreu l'aigua de les capes pregoneres del sòl (depenent, lògicament, de la profunditat de les arrels) i la incorpora a l'atmosfera en forma de vapor, de manera que el contingut d'aigua en el sòl de les capes inferiors es redueix per difusió cap a la capa en contacte amb l'atmosfera.

Les fulles de les plantes també actuen com a pantalla i magatzem per a la precipitació. Quan hi ha precipitació, no cau directament al sòl, sinó que es diposita sobre les fulles, fins que assoleix una quantitat màxima, i des d'allí, un cop ultrapassada la quantitat màxima que poden emmagatzemar les fulles, cau al sòl. Al seu torn, l'aigua dipositada sobre les fulles també pot evaporar-se directament a l'atmosfera. Les fulles tenen, per tant, el paper de dipòsit intermediari per a l'aigua procedent de la precipitació.

Tenim, en conseqüència, que les fulles, d'una banda, constitueixen un embornal del contingut d'aigua de les capes inferiors del sòl a través del sistema radicular, i, d'una altra banda, actuen com a dipòsit intermediari de l'aigua procedent de la precipitació.

Aquest paper combinat de les fulles de les plantes fa que en molts models es decideixi simular també l'evolució del contingut d'aigua de la coberta constituïda per les fulles. Es tracta, doncs, d'una equació addicional que permet simular l'evolució de l'emmagatzematge d'aigua per part de

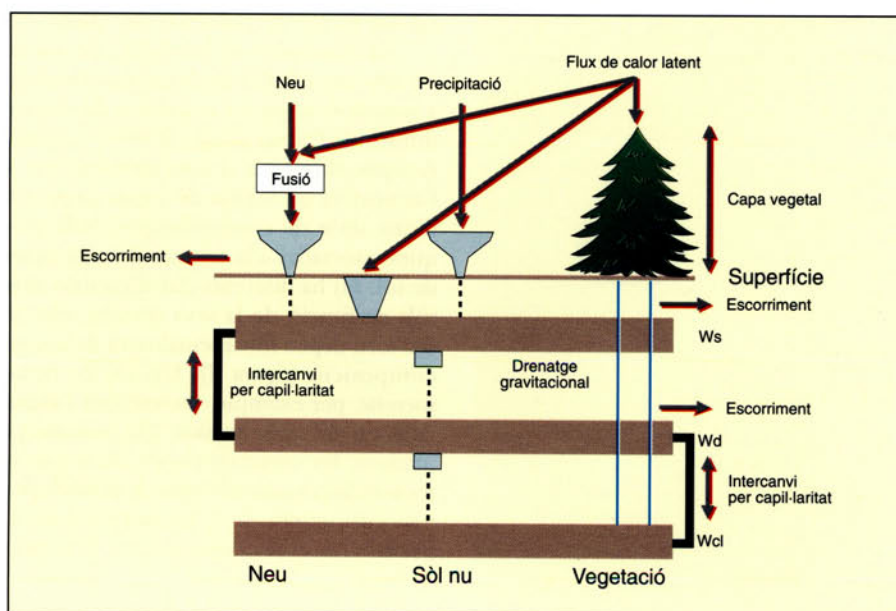


Figura 6: Esquema vertical dels processos hídrics en un model de sòl (W_s , W_d i W_{cl} són, respectivament, el contingut d'aigua superficial, profunda i climatològica)

les fulles, tenint en compte, d'una banda, la part de precipitació que és interceptada per les fulles, i, d'una altra, l'evaporació d'aquesta aigua.

La transpiració de les plantes que transporta l'aigua des dels nivells inferiors del sòl fins a l'atmosfera en forma de vapor, està controlada pels estomes, els quals fan el paper de vàlvules que, en obrir-se i tancar-se, limiten la quantitat de vapor que s'introdueix a l'atmosfera. El seu paper sol assimilar-se al de resistència que eviten una transpiració excessiva que reduiria massa de pressa les reserves d'aigua del sòl. La resistència més gran o més petita a la transpiració exercida pels estomes depèn de diversos factors, entre els quals s'inclouen la densitat de la coberta foliàcia, la proximitat del contingut d'aigua al punt de pansiment, la proximitat a una temperatura

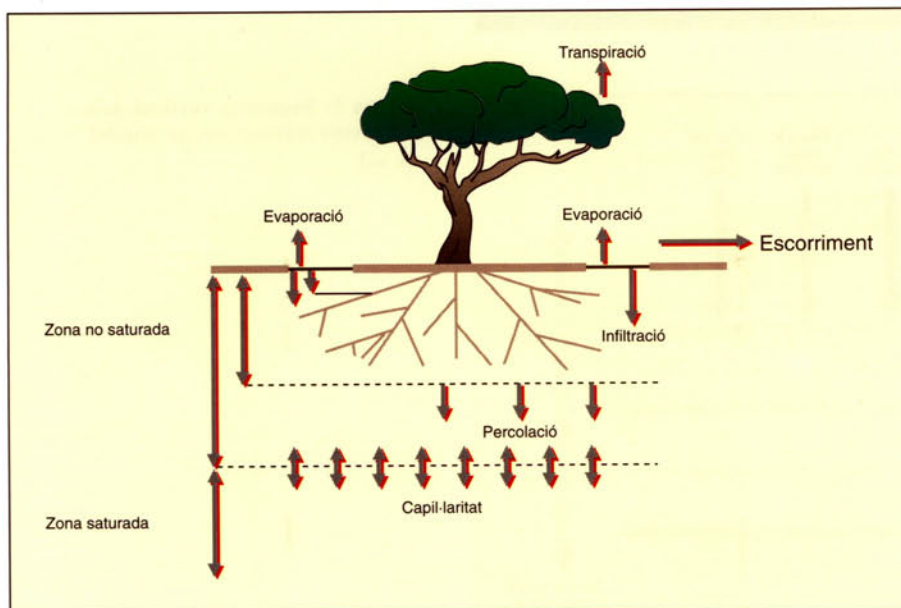


Figura 7: Esquema dels processos del sòl en què intervé la vegetació

òptima per al desenvolupament de la seva activitat que depèn de cada mena de vegetal, un factor de radiació, etc. (figura 7).

La descripció de la textura del sòl és un altre ingredient important que comença a introduir-se en els esquemes de sòl. La difusió de l'aigua al sòl i d'altres característiques lligades a la seva transferència a l'atmosfera en forma de vapor depenen d'una sèrie de característiques hidràuliques associades a la textura de cada tipus de sòl. Hi ha diferents classificacions dels sòls en funció de la seva textura, que al seu torn depèn fonamentalment de la seva composició (figura 8). Un sòl de tipus sorrenc, per exemple, no reté tant l'aigua com un de tipus argilós. De la mateixa manera, les característiques de major o menor difusivitat de l'aigua en el sòl depenen críticament de la textura d'aquest i, per tant, de la seva composició. Una pri-

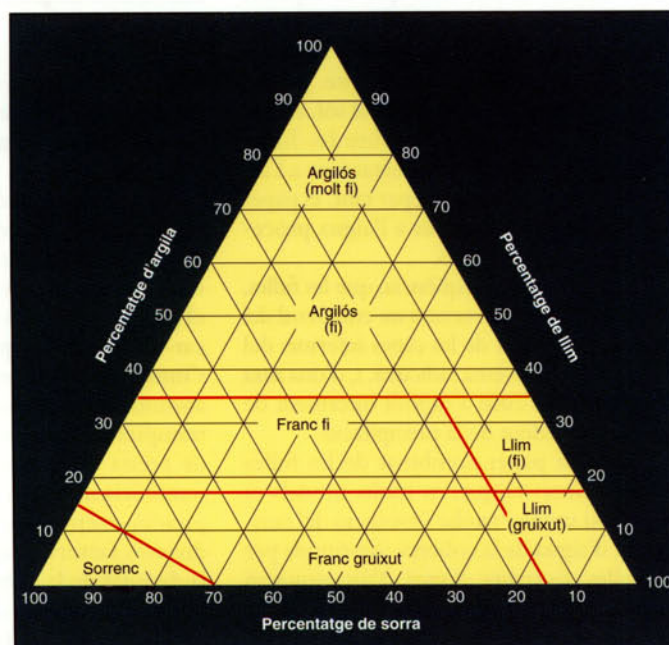
mera aproximació a aquesta qüestió permet classificar els sòls segons el seu percentatge relatiu de sorra i argila, i establir els valors de les constants que fixen el seu comportament hidràulic en funció d'aquest percentatge. Aquesta primera aproximació és la que s'intenta introduir en els esquemes de sòl, si bé convé tenir sempre molt present l'existència d'altres factors que poden alterar substancialment la textura del sòl, com el grau més o menys gran de compactació, la major o menor alteració química, etc.

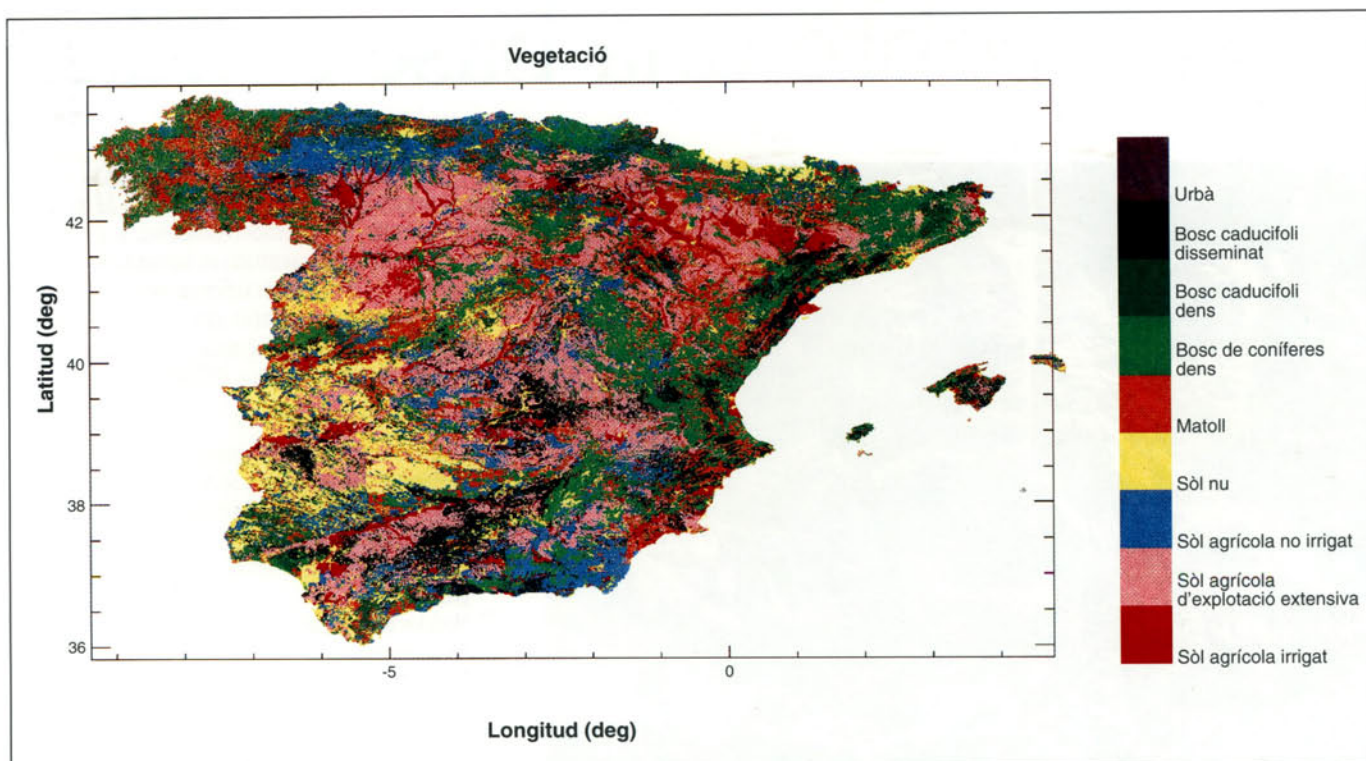
Les bases de dades fisiogràfiques, factor limitant de la descripció del sòl en els models de predicció

Com s'ha vist en les dues seccions anteriors, la descripció del sòl en els models de predicció del temps ha assolit gradualment uns nivells de sofisticació que fan necessari disposar de bases de dades relativament detallades de les característiques fisiogràfiques del sòl. Els algorismes que descriuen els processos de sòl en els models de predicció han d'assolir un compromís entre, d'una banda, una simulació realista dins d'uns marges manejables de complexitat, i, d'una altra banda, una simplicitat que estigui d'acord amb les bases de dades fisiogràfiques de què es disposi. No ens serveix per a res tenir un algorisme molt complex per a descriure la transpiració de les plantes si no disposem d'una base de dades amb els tipus, la distribució i les característiques de les plantes a la zona d'interès.

Els models de predicció solen abraçar àrees molt vastes, normalment de dimensions continentals, que només en el cas

Figura 8: Classificació de sòls per textures segons USDA





dels models de mesoescala poden reduir-se a alguns milions de quilòmetres quadrats. En qualsevol cas, habitualment, superen de bon tros les dimensions dels països. Les resolucions amb què, en general, es treballa en els models de predicció de tipus operatiu oscil·len entre el voltant del centenar de quilòmetres i el voltant de la desena de quilòmetres. En conseqüència, és condició imprescindible disposar de bases fisiogràfiques a aquestes resolucions que integrin tota la informació que necessiten els algorismes

que descriuen els processos del sòl. Com s'ha vist més amunt, calen les dades d'orografia, quantitat i tipus de vegetació (*figura 9*), textura del sòl, albedo, paràmetre de rugositat, etc. La disponibilitat o no de les esmentades dades constitueix el veritable quid de la qüestió per tal de simular de manera realista els processos de sòl i la seva incidència en l'evolució de l'atmosfera.

Data de recepció de l'original: 05.95

Figura 9: Tipus d'usos de sòl que es faran servir en el model de predicció HIRLAM de l'Institut Nacional de Meteorologia (proporcionats pel Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación)

Empezar sobre una base sólida



Cuando se están estableciendo las bases para la construcción de un edificio o autopista o de un sistema completo de información geográfica, se necesita una tecnología avanzada en topografía y cartografía. Existe un sistema suficientemente flexible que contiene una amplia gama de aplicaciones; una solución que resuelve todas las necesidades de captura de datos: INTERGRAPH.

Una base sólida para su proyecto

Para mejorar la eficacia en los proyectos o levantamientos para ingeniería, se requiere:

- ☐ Conexión con libretas electrónicas.
- ☐ Diseño parametrizado.
- ☐ Proyecto, simulación y cálculo de redes geodésicas.
- ☐ Modelos digitales del terreno.
- ☐ Aplicaciones para la implantación y diseño en ingeniería.
- ☐ Aplicaciones para cálculo y análisis de movimiento de tierras.

INTERGRAPH ofrece estas herramientas como parte de un sistema total e integrado, para la captura, gestión, análisis y presentación de información geográfica. Con INTERGRAPH, todos los ficheros relacionados con un proyecto forman parte de una base de datos única. La información compartida ayuda a los distintos departamentos a comunicarse adecuadamente, evitando la duplicación de datos, mejorando la productividad.

Un compromiso sólido de formación y asistencia

Para INTERGRAPH, la formación y asistencia al usuario son temas prioritarios. A partir del conocimiento de las tareas cotidianas en topografía e ingeniería, se consigue mejorar la productividad y la eficacia, introduciendo adecuadamente los gráficos interactivos. Este compromiso con el usuario ha convertido a INTERGRAPH en el líder mundial en cartografía asistida por ordenador.

Empezar con INTERGRAPH supone establecer una base sólida, para cualquier proyecto en topografía, ingeniería o cartografía.

Un sistema único. Todas las soluciones.

Para más información, dirigirse a:
INTERGRAPH ESPAÑA, S.A.

C/. Gobel, 47-49 LA FLORIDA

28023 MADRID Tel.: 91 - 372 80 17

EDIFICIO UNIBER c/. Aribau, 197-199

08021 BARCELONA Tel.: 93 - 200 52 99

c/. Las Mercedes, 8 48930 LAS ARENAS

GETXO (VIZCAYA) Tel.: 94 - 463 40 66