

# Comunicación D-5

## ASIMILACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN MODELOS NUMÉRICOS

**Juan Ayuso Estebaranz**

Servicio de Predicción Numérica (INM)

### RESUMEN

*Se van a revisar brevemente algunos métodos de inicialización de la humedad del suelo utilizados por diferentes modelos numéricos, describiendo en particular el esquema denominado ASISBA (Bouttier y Mahfouf, 1993) que es el escogido por el grupo HIRLAM. Se indican algunas mejoras realizadas en la formulación analítica del esquema. Se realiza un experimento seco y otro húmedo con el sistema de predicción HIRLAM operativo en el INM junto con el esquema de asimilación propuesto y el esquema de parametrización ISBA basado en (Noilhan y Planton 1989, NP89), los resultados de los experimentos muestran un buen comportamiento conjunto de ambos esquemas.*

### 1. Introducción

El contenido de agua del suelo es la variable superficial más importante en los modelos de predicción numérica (PN) pues la localización de la convección y su intensidad así como el equilibrio de energía entre la superficie y la atmósfera y por tanto las variables próximas al suelo dependen en gran parte de la humedad del suelo.

En los últimos años se han desarrollado varios esquemas de parametrización de la superficie [Deardorff, 1978; Dickinson (BATS), Sellers, Wetzel and Chang, Noilhan y Planton, 1989 (NP89)]. Una revisión de estos métodos puede verse en (Viterbo, 1994). Existe también un proyecto de comparación de estos esquemas (Henderson-Sellers, 1995) en el que se comparan sus resultados con observaciones reales contenidas en bases experimentales. El esquema ISBA (*Interaction Soil-Biosphere-Atmosphere*), que se basa en NP89, es una modificación del de (Deardorff, 1978), es bastante simple para poder implementarse en los modelos numéricos y ha sido contrastado con diferentes bases de datos.

Estos esquemas deben ser inicializados adecuadamente porque las predicciones son muy sensibles a las condiciones iniciales y además sus resultados deben ser periódicamente comparados con información obtenida de observaciones reales (Delage, 1995). En (Viterbo, 1995) se explican las funestas consecuencias

de la ausencia de esta inicialización en el modelo del CEPPM durante el verano 1994. Desgraciadamente la humedad del suelo sólo se mide en observatorios especiales y sus observaciones además no son intercambiadas regularmente mediante el GTS. En el apartado 2 se describen algunos métodos utilizados para la inicialización de la humedad del suelo. En el apartado 3 se expone brevemente el método Mahfouf-Bouttier (Bouttier y Mahfouf, 1993) y su implementación en el sistema HIRLAM, en adelante denominaremos ASISBA a esta asimilación. En el apartado 4 se describen los experimentos realizados con el sistema HIRLAM y la parametrización ISBA inicializado con ASISBA.

## 2. Métodos utilizados

En los diferentes modelos de parametrización del intercambio suelo-atmósfera, la humedad del suelo es inicializada con diferentes técnicas. Algunos modelos de circulación general como el del *National Meteorological Center (NMC)* de los EE.UU. utilizan valores climatológicos de la humedad del suelo. El modelo de PN de la Universidad de Pennsylvania es una versión del modelo de mesoescala del *National Center for Atmospheric Research (Penn State/NCAR MM)*, este modelo incluye el esquema de BATS para parametrización del suelo y para calcular los valores iniciales del agua del suelo utiliza una fórmula basada en los tipos de usos del suelo y otros datos climatológicos. Se ha propuesto un modelo hidrológico para inicializar el contenido de agua del suelo (Smith y otros, 1994); este método consta de un modelo unidimensional de difusión-gravitación que utiliza datos meteorológicos convencionales como presión de la estación, temperatura, punto de rocío, precipitación, nubosidad, etc., el modelo calcula un perfil vertical del contenido de agua del suelo; para inicializar el esquema se asigna un contenido arbitrario de agua del suelo, normalmente un 50% del valor de saturación, aunque esto no es importante porque el esquema es convergente cualquiera que sea el valor inicial.

El Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (CEPPM) puso en operación un nuevo esquema de parametrización del suelo en agosto de 1993, tiene 4 niveles y no impone condiciones climatológicas para la humedad del suelo. Para inicializar este esquema se supone que el error de la humedad del nivel más bajo del modelo de PN está relacionado linealmente con el error de la humedad del nivel de las raíces. Puede escribirse:

$$H^a - H^p = C_v D \Delta t (q^a - q^p) \quad (1)$$

El superíndice «a» representa análisis y el «p» predicción a 6 horas, H es la integral vertical de la humedad del suelo,  $C_v$  es la fracción de vegetación, D una constante e incremento de  $t$  es 6 horas. Los incrementos están limitados para que nunca se pasen los valores del punto de marchitez y el punto de saturación.

Existen métodos variacionales para analizar la humedad del suelo (Mahfouf, 1991; Eppel, 1996). El problema consiste en encontrar los valores iniciales de la humedad tales que, disponiendo en un intervalo  $(0, T)$  de  $N$  observaciones de  $T_{2m}$  y  $HR_{2m}$  la denominada función de coste sea mínima. La función de coste es de la forma:

$$J(W) = \sum_1^n \left( \frac{T_i^o - T_i^p}{\sigma_T^o} \right)^2 + \left( \frac{HR_i^o - HR_i^p}{\sigma_{HR}^o} \right)^2 \quad (2)$$

$T_i^o$   $HR_i^o$  representa cada uno de los  $N$  valores observados.

$T_i^p$   $HR_i^p$  representa los valores predichos por el modelo.

Los denominadores representan la confianza dada a las observaciones.

La asimilación variacional da mejores resultados que los métodos secuenciales, pero es también más cara en tiempo de cálculo.

### 3. Método de Mahfouf-Bouttier

Este método (Mahfouf, 1991) se basa en la hipótesis de que los errores de la temperatura y la humedad a 2 m del suelo están relacionados linealmente con el error de la predicción de la humedad del suelo. Destinado a inicializar el esquema de Noilhan (Noilhan y Planton, 1989) considera dos capas de suelo, una superficial de espesor 1 cm y otra total de espesor 1 m. Para ambas capas se supone la hipótesis anterior. Así se verificará:

$$W_s^a - W_s^p = a_1(T_2^o - T_2^p) + a_2(HR_2^o - HR_2^p) \quad (3)$$

$$W_d^a - W_d^p = b_1(T_2^o - T_2^p) + b_2(HR_2^o - HR_2^p) \quad (4)$$

En la práctica las observaciones pueden sustituirse por el campo correspondiente analizado. Así, para calcular los campos de humedad del suelo analizados se aplican las fórmulas:

$$W_s^a = W_s^p + a_1(T_2^a - T_2^p) + a_2(HR_2^a - HR_2^p) \quad (5)$$

$$W_d^a = W_d^p + b_1(T_2^a - T_2^p) + b_2(HR_2^a - HR_2^p) \quad (6)$$

Los subíndices «s» y «d» representan la capa superficial y profunda, el subíndice 2 indica a 2 m del suelo, los superíndices «a» y «p» corresponden a valores analizados y predicciones. Los coeficientes  $a_1, a_2, b_1$  y  $b_2$  son funciones del tiempo solar local, de la fracción de suelo cubierto de vegetación (veg), de la textura del suelo y de otras características de la vegetación como la resistencia estomatal y el índice foliar. Los coeficientes se calculan por el método de interpolación óptima, que consiste en suponer que los estimadores de los coeficientes son tales que hacen mínimo el error cuadrático medio, o sea:

$$E = \sum (W_s^a - W_s^p)^2 \quad (7)$$

Se debe, por tanto, verificar que las derivadas parciales de E respecto a las variables  $a_1$  y  $a_2$  deben ser nulas, originándose así un sistema de ecuaciones en  $a_1$  y  $a_2$  y otro sistema de ecuaciones en  $b_1$  y  $b_2$ . Estas ecuaciones permiten el cálculo de los coeficientes si se conoce la estadística de los errores de la observación y la de los errores de la predicción.

Para calcular la estadística de los errores de predicción se utiliza un método de Montecarlo.

Con el método de Montecarlo se simulan predicciones para cada tipo de variables. P. ej.: veg = 0,2, textura = limo,  $R_{smin}/LAI = 40$ , así se obtienen los valores de los coeficientes para cada una de las 24 horas. Estas tablas se obtienen para un cierto número de vegetaciones, texturas, etc... Se dispone así de un conjunto de 30 ó 40 tablas. Estas tablas están calculadas para valores concretos de las variables pero interesa saber los valores de los coeficientes para cualquier valor posible de los parámetros.

Así se utiliza un método analítico para obtener los coeficientes ajustándolos a las tablas obtenidas por el método de Montecarlo.

Primero se obtienen unos polinomios para cada uno de los cuatro coeficientes de las ecuaciones (4) y (5) en función de la vegetación y del tiempo solar local. Estos polinomios son de la forma:

$$P(\text{veg}) = k_1 + k_2 * \text{veg} + k_3 * \text{veg}^2 + k_4 * \text{veg}^8 \quad (8)$$

Cada coeficiente  $k$  tiene 24 valores, uno para cada hora, o sea, se determinan en total 16 matrices de 24 valores.

Una vez obtenidos los coeficientes, que corresponden a un cierto tiempo solar y a una proporción de cubierta vegetal, se consiguen para las otras variables características del tipo de usos del suelo y de textura. Existen bases de datos fisiográficas (Bringfelt, 1995a) que facilitan para cada punto de *grid* el tipo de uso del

suelo (desnudo, agrícola o bosque) que le corresponde así como la textura (arena, limo o arcilla). Se dispone de tablas que determinan las constantes físicas correspondientes a estas clasificaciones. La primera corrección es en relación con el cociente entre la resistencia estomatal mínima  $R_{smin}$  y el índice foliar LAI, el nuevo valor del coeficiente  $b_2$  es:

$$b_2 = P(veg) - \frac{R_{smin}}{LAI} * f(t) * veg + (1 - veg) \quad (9)$$

Todo el código *fortran* relacionado con el esquema ha sido facilitado por *Météo-France*. La función del tiempo  $f(t)$  ha sido modificada para ajustar el coeficiente  $b_2$  a los valores obtenidos por el método de Montecarlo. También se ha calculado una expresión análoga para corregir el coeficiente  $b_1$ . Los errores absolutos medios de los coeficientes calculados por la formulación analítica, tomando como referencia los de Montecarlo, se han dibujado en la Fig. 1; puede observarse que los errores con las modificaciones introducidas son menores que los antiguos.

**Fig. 1.** Variación de los coeficientes  $b_1$  y  $b_2$  según varia el cociente  $RSM/LAI$

Hay que tener en cuenta que la hipótesis de que los errores en las variables próximas a la superficie dependen de la humedad del suelo, es sólo cierta cuando hay vientos débiles, no hay precipitación, no hay nieve en el suelo y la nubosidad no es abundante. En todos los casos en que alguna de estas condiciones no se cumple, la hipótesis no se verificará y el esquema no debe aplicarse.

#### 4. Experimentos

Se implementó en el sistema HIRLAM el esquema de Mahfouf-Bouttier, descrito en el apartado anterior, con el fin de inicializar el esquema ISBA de parametrización de los procesos de superficie (Bringfelt, 1995; Rodríguez y otros, 1995).

Se realizaron dos experimentos en condiciones extremas de humedad para comprobar que la implementación de ASISBA, inicializando ISBA, daba en conjunto unos resultados razonables. El experimento que se denominará «seco» consiste en realizar un primer ciclo de predicción de 6 horas con el sistema HIRLAM 0.5 operativo en el INM (Díaz-Pabón, 1996) cambiando el esquema de difusión vertical por el descrito en (Gollvik y otros, 1995) y la parametrización de superficie por ISBA, se incluye también un *logical* que produce el análisis de la  $T_{2m}$  y  $H_{2m}$  (Navasqués, 1995). Después del primer ciclo de predicción de 6 horas se realiza un análisis completo y a continuación el esquema ASISBA pero cambiando la predicción de la humedad del suelo por el valor del punto de marchitez (humedad mínima del suelo para que el agua pueda extraerse por las raíces) en cada punto de grid considerado, a continuación se procesa ASISBA; se continúa con estos ciclos de análisis y predicciones a 6 horas sin ninguna modificación posterior de los resultados. En el experimento, que se llamará «húmedo» en la primera integración de ASISBA, se sustituye la humedad

prevista por el punto de saturación (humedad máxima que puede almacenar el suelo, el agua complementaria se elimina instantáneamente por escorrentía o paso a capas inferiores). Los experimentos tienen una duración de 60 horas, desde el 1 de junio de 1996 a 06 horas hasta el 3 de junio a 12 UTM. Se escogió este periodo porque el tiempo en Europa era bueno con el fin de que el esquema ASISBA se pudiera aplicar en el mayor número posible de puntos de *grid*.

En la Fig. 2 se resumen los resultados de los dos experimentos representando los valores medios en puntos de *grids* que cubren la Península Ibérica. Las subfiguras de la izquierda tratan de la humedad superficial y las de la derecha de la humedad profunda. Las subfiguras superiores corresponden a una media de todos los puntos de *grid* considerados, en las otras dos se han separado los suelos con bosque de los suelos agrícolas. En cada figura están representados los resultados de los dos experimentos. En el eje X «06/01» indica el 1 de junio a 06 horas, en la vertical de cada punto del eje XX' se representa el valor medio de la humedad del suelo antes y después de ejecutarse ASISBA, mientras que la diferencia entre los valores de dos verticales consecutivas es la influencia de la parametrización ISBA.

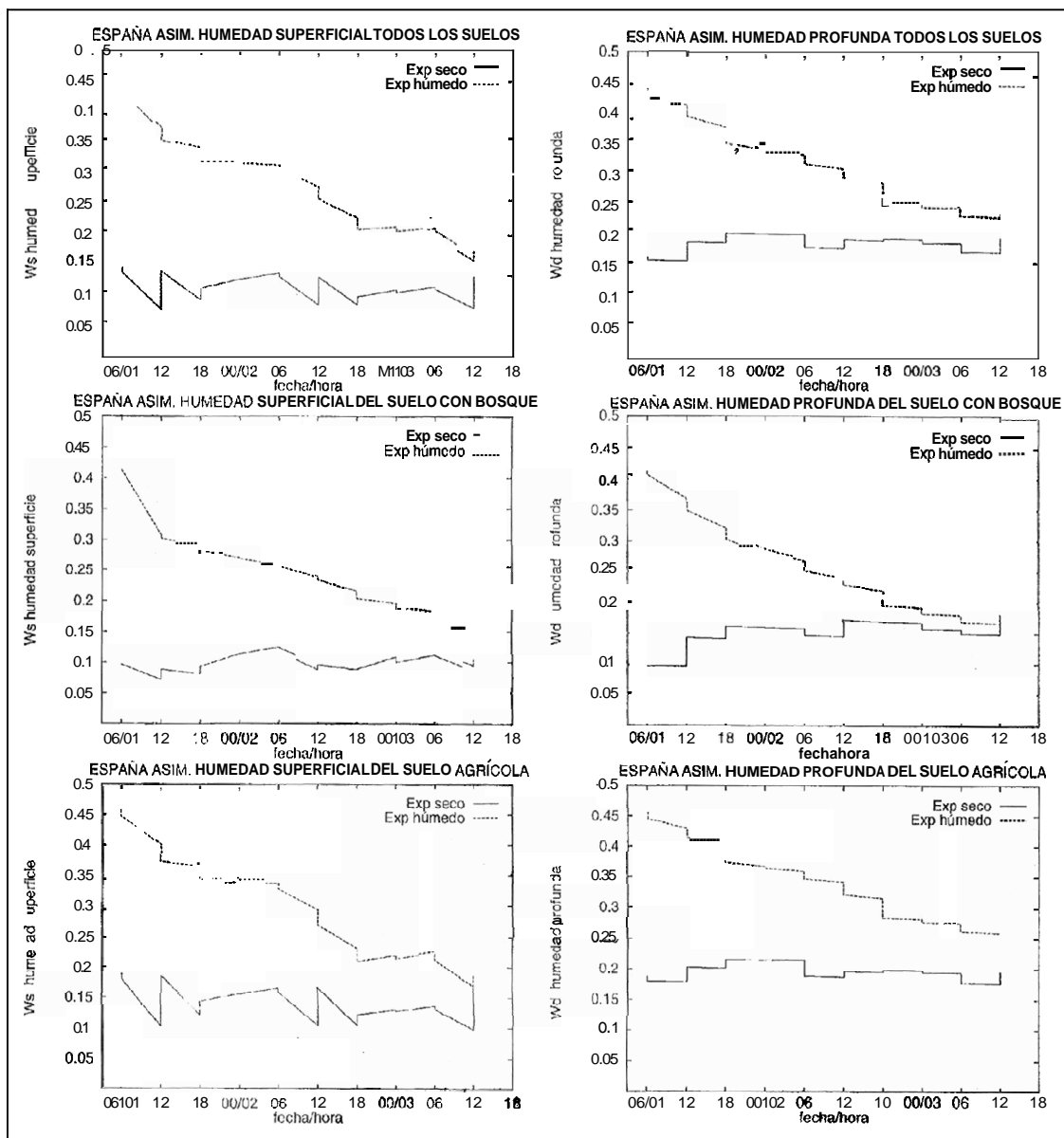


Fig. 2. Humedad superficial y profunda del suelo el 01-03 de junio de 1993. Valores medios sobre la Península Ibérica

Puede observarse en esta figura que los dos experimentos convergen después de un período de dos días. En la evolución de la humedad superficial se observa que la parametrización ISBA reduce siempre la humedad a las 06 y 12 Z y la incrementa ligeramente a 18 y 00 Z en el experimento seco; la asimilación ASISBA reduce siempre la humedad en el experimento húmedo y la incrementa en el experimento seco, su efecto es prácticamente nulo a 00 Z y pequeño a 06 y 18 Z, sus mayores correcciones son a 12 Z, su influencia es más importante en el suelo agrícola que en el bosque. En cuanto a la humedad profunda las modificaciones en el experimento seco son debidas a la asimilación ASISBA, mientras que en el experimento húmedo con suelo de bosque la parametrización ISBA actúa de forma importante.

## 5. Conclusiones

Se han revisado algunos métodos de inicialización de la humedad del suelo que están en explotación en algunos modelos numéricos operativos y otros que están en fase de desarrollo. Se ha descrito especialmente el método de Mahfouf con la formulación analítica de Bouttier por ser el escogido por el grupo HIRLAM al estar preparado para la parametrización NP89. Se ha mejorado la corrección analítica para ajustar los coeficientes en su variación con  $R_{sm}/LAI$  a los obtenidos por el método de Montecarlo. Este esquema se ha implementado en el sistema de predicción HIRLAM del INM con el fin de realizar las pruebas previas a su puesta en explotación.

Se han realizado dos experimentos partiendo como primera humedad prevista la del punto de marchitez y del punto de saturación. En el experimento seco, inicializado con el punto de marchitez, la humedad del suelo va aumentando en los diferentes ciclos de asimilación y predicción, por el contrario en el experimento inicializado con la humedad del suelo máxima esta humedad disminuye con el paso del tiempo, convergiendo ambos experimentos después de unas 48 horas de predicción.

## Referencias

- Bazile, E.; D. Giard, 1995: *Assimilation and sensitivity experiments in the NWP model ARPEGE with ISBA. HIRLAM 3. Workshop on Soil Processes.*
- Bouttier, F.; J. F. Mahfouf and J. Noilan, 1993: *Sequential assimilation of soil moisture. Part i: Sensitivity and calibration studies. J. Appl. Meteor., vol. 32, pp. 1335-1351.*
- Bouttier, F.; J. F. Mahfouf and J. Noilan, 1993: *Sequential assimilation of soil moisture. Part ii: Implementation in a mesoscale model. J. Appl. Meteor., vol. 32, pp. 1352-1364.*
- Bringfelt, B., 1995: *HIRLAM surface parameterization and assimilation: general overview, present status and developments. HIRLAM 3. Workshop on Soil Processes.*
- Bringfelt, B., 1995a: *Updating of the HIRLAM physiography and climate data base. HIRLAM Tech. Report 19.*
- Deardorff, J. W., 1978: *Efficient prediction of ground temperature and moisture with inclusion of a layer of vegetation. J. Geophys. Res. vol. 83, pp. 1889-1903.*
- Delage, Yves, 1995: *Testing the effects of a New Land Surface Scheme on Initial Soil Moisture Conditions in the Canadian Global Forecast Model.*
- Díaz-Pabón, R., 1996: *Limited area modelling at Spanish Meteorological Institute. EWGLAM Newsletter (en prensa).*
- Eppel, D.; U. Callies and A. Rhodin, 1995: *Variational assimilation of soil moisture. HIRLAM 3. Workshop on Soil Processes.*
- Gollvik, S.; B. Bringfelt; V. Perov and A. A. M. Holtslag, 1995: *Experiments with nonlocal vertical diffusion in HIRLAM. HIRLAM Tech. Report 18.*

*Henderson-Sellers and al., 1995: The project for intercomparison of land surface parameterization schemes. Bull. Amer. Meteor. Soc. vol. 76. pp. 489-503.*

*Mahfouf, J. F., 1991: Analysis of soil moisture from near-surface parameters: A feasibility study. J. Appl. Meteor. 30. pp. 1534-1547.*

*Navascués, B., 1995: Analysis of 2m temperature and relative HIRLAM humidity. HIRLAM 3. Workshop on Soil Processes.*

*Noilhan, J. and S. Planton, 1989: A simple parameterization of land surface. Mon. Wea. Rev. vol. 117. pp. 536-549.*

*Rodríguez y otros, 1996: Assessment of the new HIRLAM surface parameterization: particular Mediterranean problems. HIRLAM 3. Workshop on Soil Processes.*

*Smith, Ch. and al., 1994: Initialization of Soil-Water Content in Regional-Scale Atmospheric Prediction Models. Bulletin of the Am. Met. Society. vol. 75. pp. 585-593.*

*Viterbo, P., 1994: A review of parameterization schemes for land-surface processes. ECMWF Seminar. pp. 219-275.*

*Viterbo, P., 1995: Initial value of soil water and the quality of summer forecasts. ECMWF Newsletter 69.*

*Yang, R.; J. Fennessy and J. Shuela, 1994: The influence of Initial Soil Wetness on Medium-Range Surface Weather Forecasts. Mon. Wea. Rev. vol. 122. pp. 471-485.*