

IV Reunión de Geomorfología
Grandal d'Anglade, A. y Pagés Valcarlos, J., Eds.
1996, Sociedad Española de Geomorfología
O Castro (A Coruña)

MODELOS DE EROSIÓN DE BASE FÍSICA: CARACTERÍSTICAS Y UTILIDADES

Salvany, M.C.¹, Marqués, M.A.² & Gallart, F.¹

¹ Instituto Ciencias de la Tierra "Jaume Almera" (CSIC). C/ Lluís Solé i Sabarís s/n. Barcelona 08028

² Dpto. de Geología Dinámica, Geofísica y Paleontología, Facultad de Geología. (Universidad de Barcelona), Zona Universitaria de Pedralbes, Barcelona 08071

RESUMEN

El desarrollo de los modelos de erosión tiene como objetivo facilitar la predicción de la erosión y diseñar así, las posibles medidas de prevención para evitar la pérdida de suelo. Actualmente, estos modelos de erosión tienden a describir los procesos mediante aproximaciones de tipo físico, y han aumentado su complejidad en el tratamiento de datos. En el presente trabajo se analizan las diferencias y semejanzas de 5 modelos principales de erosión de los últimos 20 años (ANSWERS, CREAMS, KINEROS, EUROSEM y WEPP), y se plantean los posibles errores que involucran estos modelos "avanzados", ya sea por su complejidad, como por su utilización.

Palabras clave: modelos de erosión físicos, limitaciones

ABSTRACT

At present, erosion models are common tools to cope with erosive processes. These models are aimed to predict erosion, thus helping to design management actions oriented to prevent soil loss. Nowadays, erosion models represent physical processes, and their complexity increases. Differences and resemblances between 5 main erosion models developed in the last 20 years (ANSWERS, CREAMS, KINEROS, EUROSEM and WEPP), and it's questioned the possible errors associated with these "advanced" models are discussed.

Key word: physical erosion models, limitations

INTRODUCCIÓN

Los modelos de erosión han proliferado hasta el punto de plantearnos cuales son sus límites y su verdadera aproximación al mundo real. La evolución de estos modelos tiene como fin obtener una mejora de los resultados a nivel espacial y temporal, así como una base más física de las ecuaciones con las que se pretende substituir la calibración por una parametrización. Esta evolución ha sido posible gracias al avance de la capacidad de cálculos matemáticos. No obstante, este incremento de complejidad conlleva a un mayor volumen de datos de entrada y a una dificultad en obtener unos resultados reales.

Desde la aparición de la USLE hasta hoy en día, se han desarrollado múltiples modelos de erosión con unos objetivos básicos comunes: la predicción de la erosión, valoración del riesgo de erosión y la planificación del diseño de las medidas necesarias para la prevención de la pérdida del suelo. Estos modelos de erosión han sido realizados para ser aplicados en casos reales, y no con un objetivo científico prioritario.

Los modelos de erosión son, en la actualidad, las herramientas más utilizadas para evaluar y cuantificar las pérdidas de suelo, principalmente en parcelas de cultivo. Los Departamentos y Escuelas de Agricultura son los principales impulsores de esta modelización, con el fin de simular las influencias de los cambios en las prácticas de cultivo sobre los procesos hidrológicos y erosivos. Algunos de estos modelos también son desarrollados para el estudio de la contaminación de los suelos debido al uso de pesticidas.

En este trabajo, se han escogido 5 modelos de erosión de estos últimos 20 años, de los cuales, hay algunos que aun están en fase más experimental, pero son comúnmente utilizados. CREAMS, ANSWERS, KINEROS, EUROSEM y WEPP, se diferencian entre ellos por el tratamiento de los procesos involucrados, los resultados que se desean obtener y el grado de precisión.

MODELOS DE EROSIÓN DE BASE FÍSICA

Los modelos de erosión forman parte de los modelos matemáticos. Se pueden clasificar según diferentes criterios, como por ejemplo, por su complejidad matemática. En los últimos años, tal como se han desarrollado los modelos de erosión, se clasifican como modelos físicos de procesos. Es decir, están descritos y fundamentados con principios físicos, y por lo tanto, sus variables tienen un sentido físico. Un modelo físico de proceso está construido usualmente a partir de un diagrama de flujo, el cual representa el flujo de energía o materia en el mundo real (KIRKBY, 1987).

Para la construcción de un modelo, una vez definidos los objetivos, se realizará: a) un diagrama de flujo en el que se describirán los procesos que han de intervenir y como están relacionados entre ellos, y b) se describirán las

ecuaciones que representarán estos procesos. Estos dos puntos principales, son los que diferencian a los diversos modelos de erosión.

Con los modelos actuales se pueden realizar 2 tipos de simulación: continua y por acontecimientos (*event*). CREAMS (KNISEL, 1980) y WEPP (NEARING et al, 1989) son dos modelos de simulación continua. Además, el modelo WEPP dispone de la opción de presentar los resultados de las simulaciones por acontecimientos, o con medias diarias, o mensuales o anuales. Por otra parte, ANSWERS (BEASLEY, MONKE & HUGGINS, 1977), KINEROS (WOOLHISER, SMITH & GOODRICH, 1990) y EUROSEM (MORGAN, QUINTON & RICKSON, 1992) forman parte de los modelos de simulación por eventos.

Tabla 1.- Comparación de la descripción de los procesos involucrados en cinco modelos de erosión diferentes.

	CREAM	WEPP	ANSWERS	KINEROS	EUROSEM
Simulación	continua	continua	tormentas	tormentas	tormentas
Área	parcela <5ha	parcela y cuenca	parcela distribuida	parcela y cuenca	parcela y cuenca
Infiltración	CN-SCS/ m.infiltrac.	Green& Ampt	USDAHL	Smith & Parlange	Smith & Parlange
Escurrentía	m. infiltrac.	Eq.cinem. ondas	Eq. Manning	Flujo Hortoniano	Flujo Hortoniano
Erosión	Eq.Yalin	Eq.Yalin/ E.s.c.r.p.	modific. USLE	Eq. Bennet	Eq.Bennet Eq. G&R
Canales	deposición	erosión y deposición	deposición	erosión y deposición	erosión y deposición
Fusión del hielo	Sí	Sí	No	No	No
EVP	Sí	Sí	No	No	No

Eq. G&R: ecuación de Govers & Rauws

E.s.c.r.p.: ecuación sedimento continuo en régimen permanente

EVP: evaporación

Estos cinco modelos hacen una simulación de los procesos hidrológicos (infiltración y escurrentía) y erosivos (transporte de sedimento y deposición) a partir de la precipitación y según el tipo de gestión en la zona de cultivo. Todos ellos operan con estos procesos a nivel de parcela y de sedimentación en canales, y además, KINEROS, EUROSEM y WEPP analizan la erosión en estos canales. Estos tres últimos, además, pueden relacionar varias parcelas y canales, y por lo tanto, obtener simulaciones a escala de una cuenca.

A partir de este punto en común, entre estos modelos existen algunas diferencias, ya sea por los diversos procesos que tienen en cuenta, como por la ecuaciones utilizadas para describir estos procesos (Tabla 1).

CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems), se diferencia de los citados, por la intervención de la

contaminación del suelo agrícola debido al uso de los pesticidas, y la absorción de los nutrientes de las plantas.

WEPP (Water Erosion Prediction Project) y CREAMS fueron realizados en USA, y funcionan con las bases de datos de las estaciones meteorológicas norteamericanas. Por otra parte, al ser modelos de simulación continua, pueden involucrar procesos como la evapotranspiración, balance hidrológico y la fusión de la nieve. WEPP, además, considera otros procesos como crecimiento de la vegetación, descomposición de los residuos, efecto hielo-deshielo, e irrigación.

WEPP y CREAMS también tienen en común el tratamiento de la infiltración. CREAMS, puede operar, o bien con el método del número de curva-SCS, o bien, si dispone de los datos de lluvia detallados, con un submodelo basado en la ecuación de Green & Ampt. Esta última ecuación, también es utilizada por WEPP.

KINEROS (Kinematic runoff and Erosion model) y EUROSEM (European Soil Erosion Model) son dos modelos muy parecidos (Tabla 1), basados en los mismos principios y descritos, principalmente, con las mismas ecuaciones. Se diferencian en: a) el tratamiento del papel de la cubierta vegetal sobre la interceptación; y b) en algunas de las ecuaciones que describen los procesos erosivos. El modelo EUROSEM hace una mejora en cuanto a la participación de la cubierta vegetal sobre la interceptación.

Todos estos modelos, consideran que se produce deposición una vez superada la capacidad de transporte del flujo superficial o del canal. Además, describen detalladamente, a lo largo de toda la parcela, el movimiento de las partículas erosionadas o depositadas, pero las ecuaciones utilizadas por cada uno de ellos es diferente (tabla 1).

Todos los modelos, excepto el ANSWERS, hacen una clara distinción en las parcelas entre las zonas de *interrill* y *rill* (es decir, regueros y zonas entre regueros). En función de la zona que esté simulando, los procesos hidrológicos y erosivos seguirán un método u otro.

Por otro lado, WEPP y ANSWERS son modelos distribuidos, y en consecuencia, tienen un mejor control de la variación espacial de las características del suelo. ANSWERS distribuye cada parcela en una malla uniforme, donde se definen en cada punto las características del suelo. WEPP, divide el perfil del suelo en diferentes capas u horizontes según varíen sus características.

WEPP se descompone en diversos submodelos que simulan diferentes procesos. La climatología está desarrollada por el modelo CLIGEN, y el balance hidrológico es simulado con SWRRB (WILLIAMS & NICKS, 1985). WEPP, a parte de simular los procesos descritos, ofrece la posibilidad de añadir nuevos ficheros, y modelar otros procesos, como por ejemplo, la irrigación o el efecto de objetos que facilitan el encharcamiento.

WEPP y EUROSEM aún están en fase de desarrollo, pero aparecen versiones mejoradas. La última versión del WEPP es del año 1995, y la del EUROSEM del Octubre de 1994.

LÍMITES DE LOS MODELOS DE EROSIÓN Y DIFICULTAD A LA APROXIMACIÓN A LOS VALORES REALES

El principal inconveniente de estos modelos es representar las variabilidades espacio-temporales de los parámetros que definen a los procesos. WEPP y ANSWERS son dos modelos que más se acercan a resolver esta problemática.

Los modelos en continuo necesitan un gran volumen de datos de entrada por cada parcela definida. Esta dificultad en la utilización del modelo, puede llegar a plantear si el tiempo invertido para su uso y los resultados obtenidos están dentro de un intervalo satisfactorio.

La participación de múltiples procesos dentro de un modelo de erosión, comporta la entrada de un volumen de parámetros considerable, y a la vez, analizar un gran volumen de datos de salida que genera el modelo. Por ejemplo, el modelo EUROSEM necesita más de 50 parámetros de entrada.

Los procesos del modelo están definidos por un conjunto de ecuaciones, y éstas, a la vez, requieren un conjunto de parámetros. El valor de estos parámetros no siempre es fácil de asignar, sobretodo en el caso que sean parámetros que no pueden ser obtenidos ni en el campo ni en el laboratorio. Para estos parámetros, los modelos facilitan unos valores en base a unas tablas definidas por rangos cualitativos. La entrada de un valor erróneo, según la sensibilidad del modelo a este valor, puede generar resultados alejados de la realidad (SALVANY, 1996). Para estos casos, es necesario hacer una calibración de estos parámetros según las condiciones iniciales del suelo, la intensidad y la duración del evento.

Si entendemos como modelo la representación de los procesos naturales, o al menos, una aproximación a éstos, los resultados de un modelo han de ser satisfactorios y concordantes con los reales. Para ello, es necesario hacer una validación del modelo antes de ser utilizado como definitivo. Al validar cualquiera de estos modelos, se requieren parcelas que monitoricen y dispongan de todos los datos que se han de introducir en el modelo, y por otra parte, registren unos resultados que puedan ser comparados con los de la simulación. Ambos aspectos son problemáticos, tanto por el tipo de datos como por su volumen.

En el caso concreto del EUROSEM, se realizó un análisis de la sensibilidad del modelo y un intento de la validación del modelo (SALVANY, 1996). Los dos problemas principales del estudio fueron: a) la valoración de algunos parámetros definidos únicamente, por tablas y además, sensibles al resultado final del modelo; b) la obtención de datos reales comparables o ajustables a los del modelo para su validación.

La *figura 1* representa un ejemplo de este problema, y cómo se llegó a un ajuste más o menos satisfactorio. En esta figura se compara la erosión que se produce en una parcela de cultivo según el valor de la cubierta vegetal y la producida en la misma parcela con suelo desnudo. La curva *a* es la curva experimental encontrada por ELWELL & STOCKING (1974), la curva *b* representa la erosión en la parcela definida para el modelo EUROSEM, al variar los valores de la cubierta vegetal. Estas dos curvas distan mucho en tener algún punto en común. Se relacionó, entonces, este parámetro con otro que expresara una variación de la rugosidad del suelo con el cambio de valor de la cubierta vegetal. La curva *c* se obtuvo al variar el valor del coeficiente de Manning de acuerdo con los valores de la cubierta vegetal. Como la descripción de la variación entre estos dos parámetros en las tablas era cualitativa, se hizo una relación aritmética para cuantificar los atributos cualitativos de la cubierta vegetal. Esta tercera curva seguía siendo distante del resultado obtenido por Elwell & Stocking. La cuarta opción fue variar los valores de la cubierta vegetal respecto con el coeficiente de Manning siguiendo una relación geométrica (curva *d*). Con esta curva se llegó a ajustar, para bajos porcentajes de la cubierta vegetal, a la curva experimental clásica (*a*), obteniendo indirectamente, una validación del modelo.

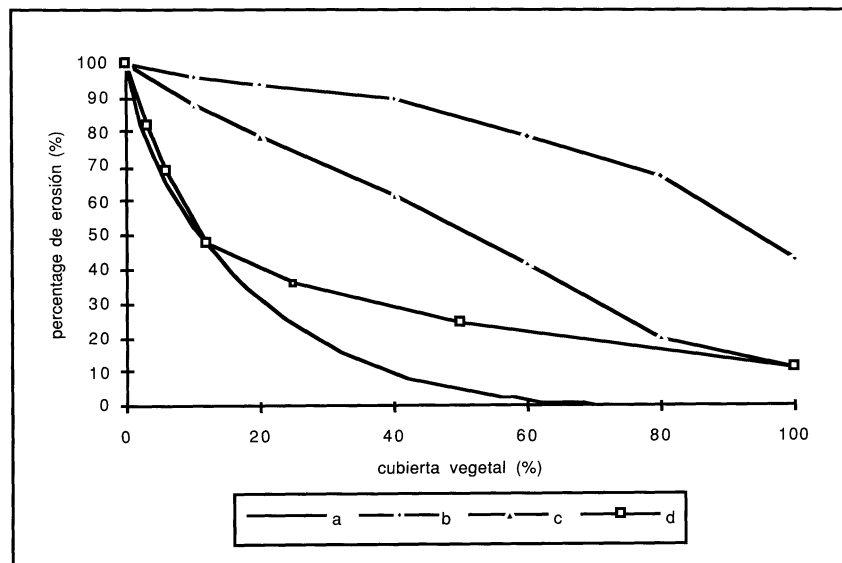


Fig 1.- Relación entre el porcentaje de la cubierta vegetal y el porcentaje de erosión para una parcela desnuda.

CONCLUSIONES

Los modelos de erosión ofrecen una idea orientativa del funcionamiento de los procesos naturales. Aunque sus resultados no sean exactos a la realidad, sirven para dar una visión objetiva de ésta. Permiten predecir el comportamiento del sistema cuando se modifican una serie de parámetros.

La mejora de las herramientas para cálculos matemáticos permiten mejorar la descripción matemática de los procesos y su cálculo, pero a la vez, implican más inversión de tiempo en su desarrollo y utilización, y una complejidad en la valoración de los parámetros.

CREAMS, ANSWERS, KINEROS, EUROSEM y WEPP son las últimas versiones de modelos de erosión. Debido a que ofrecen una mayor participación de los procesos, también implican una mayor descripción de múltiples variables. Así pues, el volumen de datos de entrada a tratar es considerable, sobretodo en el caso de los modelos continuos.

En cuanto a los modelos descritos, WEPP y ANSWERS parecen tener un mayor control de la variabilidad espacial en los campos de cultivo. ANSWERS hace una distribución de valores de los parámetros a nivel superficial, y WEPP en profundidad.

Antes de utilizar un modelo de erosión, hay que realizar un análisis de la sensibilidad del modelo y observar cómo influye cada parámetro en el resultado final de la simulación.

La necesidad de calibrar algunos parámetros se contradice con el planteo inicial de los modelos de erosión en base física, el cual es predecir la respuesta hidrológica y erosiva a partir de parámetros cuantificables y relativamente fácil de obtener. En cambio, la calibración requiere necesariamente disponer de datos reales de salida de los resultados.

Esta misma complejidad de los modelos dificulta su validación, ya que no siempre se disponen de datos de las parcelas que sean ajustables a los parámetros de entrada del modelo. Y de la misma manera, tampoco siempre se disponen de datos reales de salida ajustables a los que ofrece el modelo. Así pues, la validación de estos modelos no es muy obvia.

Si un modelo no se utiliza correctamente podría distorsionar el resultado final, dando un valor totalmente alejado a la realidad.

AGRADECIMIENTOS

La presente comunicación ha sido realizada gracias al financiamiento del proyecto: "PROHIDRADE: Procesos hidrológicos en áreas mediterráneas de cabecera frágiles o degradadas". AMB-95-0986-CO2-01.

BIBLIOGRAFÍA

- BEASLEY, D.B.; MONKE, E.J. & HUGGINS, L.F., 1977, *ANSWERS: A model for watershed planning*, Purdue Agricultural Experiment Station Journal Paper, 7083, 34pp.
- ELWELL, H.A. & STOCKING, M.A., 1974 *Rainfall parameters and a cover model to predict runoff and soil loss from grazing trials in the Rhodesian sandveld*, Proceedings of the Grassland Society of South Africa 9: 157-164pp.
- KIRKBY, M.J.; NADEN, P.S.; BURT, T.P. & BUTCHER, D.P., 1987, *Computer Simulation in*

- Physical Geography*, John Wiley & Sons, 227pp., Great Britain.
- KNISEL, W.G., 1980, *CREAMS: A field-scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems*, U.S. Department of Agriculture, Conservation Research Report No. 26, USDA-ARS, 640pp., Washington DC.
- MORGAN, R.P.C.; QUINTON, J.N. & RICKSON, R.J., 1992, *EUROSEM: a user guide*, Silsoe College, 85pp, United Kingdom.
- NEARING, M.A.; FOSTER, G.R; LANE, L.J. & FINCKER, S.C, 1989, *A process based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology*, Transactions of the American Engineers 32, 1587-1593pp
- SALVANY, M.C., 1996, *Anàlisi de la sensibilitat d'un model d'erosió. EUROSEM: European Soil Erosion Model*, Tesis de Licenciatura, Universidad de Barcelona, 109pp, Barcelona.
- WILLIAMS, J.R & NICKS, A.D., 1985, SWRRB, a simulator for water resources in rural basins: an overview. In: D.G. DeCoursey(ed), Proc. of Natural Resources Modelling Symp., Pingree Park, CO, October 16-21, 1983, USDA-ARS-30, 17-22 pp
- WOOLHISER, D.A.; SMITH, R.E. & GOODRICH, D.C., 1990, *KINEROS, A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual*, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ASR-77, 130pp, U.S.A.