

Evaluación del nivel de aplicación de protocolos de modelación en trabajos sobre simulación del proceso lluvia-escorrentía

Assessment of modelling protocols' application in papers about rainfall-runoff modelling

Carlos Castillo^{1,3}, Edwin Cepeda^{1,3}, Armando Díaz^{1,3}, Efraín Domínguez^{2,3}, Patricia García^{1,3}, Francisco Guerrero^{1,3}, Alexander Hassidoff^{1,3}, Liz Saavedra^{1,2} & Alexander Segura^{1,2}

1. Grupo de Hidrociencias - Maestría en Hidrosistemas, Dpto. de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

2. Departamento de Ecología y Territorio, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.

3. CeiBA- Complejidad, Colombia.

e.dominguez@javeriana.edu.co

Recibido para evaluación: 27 de Marzo de 2009 / Aceptación: 18 de Mayo de 2009 / Versión Final: 1 de Junio de 2009

Resumen

Los modelos lluvia escorrentía son ampliamente utilizados para la solución de problemas ingenieriles, ambientales y socio-económicos. El éxito de cualquier tarea de modelación y la aplicabilidad de sus resultados están asociados al nivel en que se hayan cumplido ciertas especificaciones, las cuales podrían agruparse de algún modo en un procedimiento estándar conocido como "protocolo de modelación". En la actualidad no existe en la comunidad internacional un protocolo de modelación oficialmente aceptado por todos, sin embargo existen aportes que divulgan su pertinencia (Domínguez, 1998; Domínguez, 2007; Organización Meteorológica Mundial, 1985; Refsgaard, 1998; Refsgaard and Henriksen, 2004; WMO, 1987; WMO, 1994). Cada año se publica una cantidad importante de artículos sobre el tema de modelación del proceso lluvia – escorrentía y es propósito de este artículo evaluar en qué nivel se siguen las recomendaciones de protocolos de modelación en una muestra, escogida al azar, de 130 artículos publicados en revistas indexadas. Se prevé que este análisis proveerá elementos para una mejor asimilación de los resultados que sobre modelación matemática del proceso lluvia-escorrentía se publican en las revistas científicas y que además promoverá la aplicación de protocolos de modelación en la simulación de procesos hidrológicos, habilitando un espacio de comparación para los modelos matemáticos aplicados en este ámbito.

Palabras Clave: Modelos lluvia escorrentía, Protocolo de modelación matemática, Revistas indexadas.

Abstract

Rainfall-runoff models are widely applied as tools to handle engineering, environmental and socio-economic problems. Success of modeling tasks and applicability of the obtained results are related to the level of accomplishment of "modeling protocols" (Domínguez, 1998; Domínguez, 2007; Organización Meteorológica Mundial, 1985; Refsgaard, 1998; Refsgaard and Henriksen, 2004; WMO, 1987; WMO, 1994). Every year, an important number of papers about rainfall - runoff modeling is published; in this paper we discuss at which level the recommendations of modeling protocols are followed in a random sample of 130 scientific papers published in indexed journals. It is envisaged that such analysis will provide the basis for a better understanding of the results that are published about rainfall-runoff modeling and that it will also encourage the application of modeling protocols, providing a intercomparison basis for mathematical models applied in this field.

Key Words: Rainfall-runoff modeling, modeling protocol, indexed journals

El objetivo de modelación, la información disponible en archivos técnicos y aquella que pueda obtenerse en campo definen la estructura matemática más conveniente para cada ejercicio de modelación. Todos estos elementos son de presentación obligatoria en un artículo científico, su ausencia dejaría inconcluso el planteamiento del problema de investigación deteriorando la forma y contenido de esta comunicación.

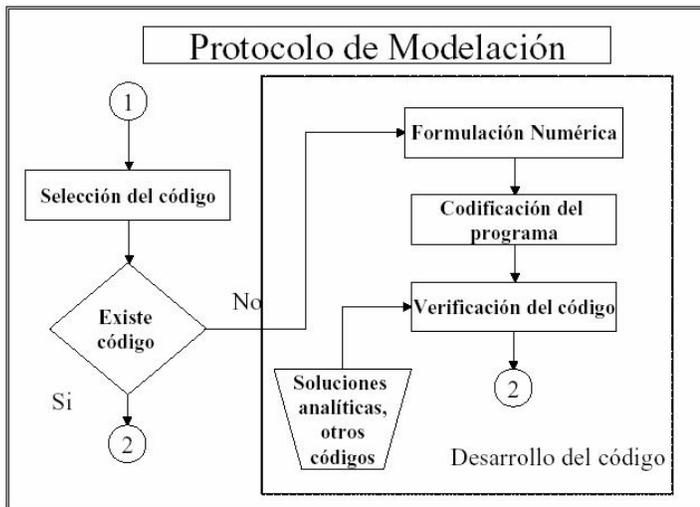


Figura 2. Protocolo de modelación Etapa 2

En la segunda etapa se hace la selección del modelo más apropiado de acuerdo a la disponibilidad de información y de recursos, también se debe tener en cuenta si el código computacional del modelo requerido existe o si debe ser creado (véase Figura 2) en cuyo caso éste deberá ser consecuentemente validado desde el punto de vista algorítmico e informático contra soluciones analíticas y numéricas de otras herramientas similares pero inferiores en la complejidad del problema a resolver. En consecuencia, los artículos de modelación deben también reflejar los elementos de esta etapa, haciendo especial hincapié en los criterios de selección del código y/o de su proceso de desarrollo y validación informática.

En la tercera etapa, en la cual se resuelve el problema inverso (Domínguez, 2007), se realiza la determinación del vector de parámetros óptimos y su validación, por lo cual todo artículo

científico debe en forma explícita mostrar si los parámetros fueron medidos en campo y/o identificados mediante la solución inversa del operador matemático (Domínguez, 2007). De haber sido identificados se debe presentar la función objetivo utilizada y un análisis de sensibilidad de las diferentes soluciones viables para el vector de parámetros óptimos. Los criterios de desempeño deben ser descritos con toda claridad o eventualmente presentada una referencia que los explique en su totalidad. En este sentido es adecuado utilizar herramientas estándar para la evaluación de desempeño como la ofrecida por Dawson et al (Dawson et al., 2007), de acceso libre en la Internet (<http://www.hydrotest.org.uk>). La ausencia de estas descripciones en un artículo científico sobre la modelación del proceso lluvia - escorrentía debe ser considerada razón suficiente para el rechazo de la publicación del artículo por parte del Comité Editorial de la revista a la que éste fue enviado para divulgación. Una vez superados los puntos de calibración y validación se procede a resolver el problema directo (Domínguez, 2007), etapa en la que se aprovecha el modelo construido para alcanzar el objetivo planteado al inicio de la modelación. Como se observa en la Figura 3, en este estadio se pueden analizar, de acuerdo con el desempeño del modelo y el logro del objetivo planteado, las mejoras aplicables al modelo construido (proceso de post-auditoría).

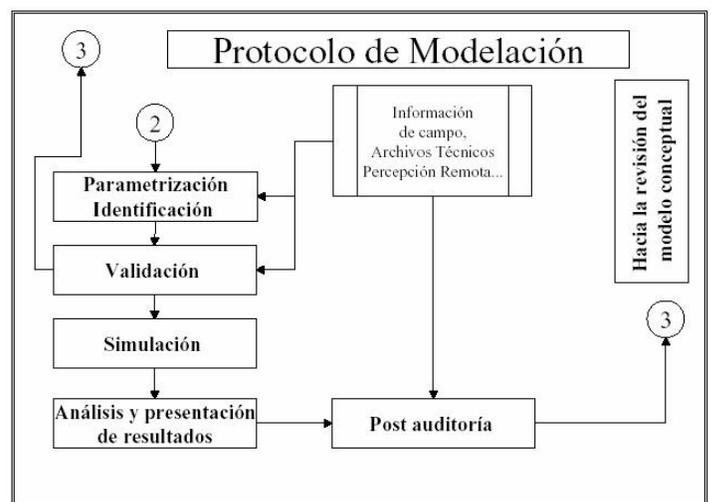


Figura 3. Protocolo de modelación Etapa 3

Tabla 1. Criterios utilizados para seleccionar los artículos de la muestra para análisis

<i>Tamaño muestra</i>	130 artículos
<i>Grupo de evaluadores</i>	8 Profesionales de las áreas de ingeniería y biología, Maestría en Hidrosistemas, Pontificia Universidad Javeriana-PUJ.
<i>Tipo de modelo seleccionado</i>	Modelos lluvia-escorrentía
<i>Tipo de Revistas consultadas</i>	Revistas Indexadas
<i>Revistas consultadas</i>	Advances in Water Resources Agricultural Water Management Annals of the Association of American Geographers CATENA CEMAGREF Environmental Modeling & Software Environmental Pollution Functional Ecology Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente U. del Valle Ingeniería del Agua – UPC Journal of Environmental Management Journal of Hydroinformatics Journal of Hydrology Journal of Range Management Journal of the American Water Resources Association Mountain Research and Development Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Revista de Ingeniería Universidad de los Andes Revista UIS Ingenierías Science of the total environment Shing Sun College The Journal of Ecology Universidad. Politecnica de Cataluña Universidad de Zulia University of Melbourne Urban Water Journal Water Research Water Resources Management Weed Science

De acuerdo con los resultados expresados en las Figuras 4, 5 y 6, se puede afirmar que:

En la mayoría de artículos de modelación matemática del proceso lluvia - escorrentía, las características de las entradas y las salidas se describen en buen detalle, haciendo énfasis en las fuentes de información utilizadas (estaciones hidrológicas y meteorológicas), su resolución espacio temporal y algún indicio sobre la calidad de los datos. Se encontró que estos aspectos son presentados en el 80% de los artículos analizados.

Otro aspecto representado en un gran porcentaje de los artículos de la muestra analizada es el objetivo que persigue la modelación realizada. Este ítem fue encontrado en el 85% de los artículos analizados y tan solo en el 2% de los casos no se menciona.

Cerca del 70% de los artículos describen con suficiente detalle los parámetros y la variable de estado del modelo utilizado. Con menor frecuencia (~60% de la muestra) se discute en detalle el operador matemático y su clasificación. El no especificar a qué rango de la clasificación de modelos matemáticos pertenece el modelo no es una falta grave pues, bajo el supuesto de que los demás elementos estén bien elaborados, la ausencia de una convención de clasificación no perjudica en nada al ejercicio de modelación. Por el contrario, sí llama la atención que el porcentaje de artículos en el que se describe el operador matemático tan solo llegue al 56%. Se puede asumir que en algunos casos puede existir una referencia al trabajo que por primera vez presenta el operador matemático, pero tal vez ésta no sea la única razón para tan bajo indicador.

Con respecto a la selección del código a aplicar, la mayoría de los artículos evaluados no describen detalladamente el código utilizado cuando se habla de un modelo existente y en pocas oportunidades se menciona el desarrollo del código cuando este tuvo que ser creado por los investigadores.

El segundo grupo de evaluación corresponde a la calibración, validación y simulación. Se encontró que sólo cerca del 50% de los artículos evaluados presenta en forma detallada esta información sobre los procesos de calibración, validación y simulación, esto quiere decir que la mitad de los artículos muestreados no describe los experimentos numéricos para la optimización y validación de los parámetros del modelo utilizado.

Con esta misma frecuencia no se describe la etapa de explotación del modelo matemático, dejando sin descripción el proceso de simulación en condiciones operativas.

Del análisis del tercer grupo de elementos se concluye que el porcentaje de artículos en los que no se describe apropiadamente el proceso de evaluación del desempeño es del 47%; esto correlaciona bien con el alto porcentaje de artículos que no presentan una adecuada descripción del proceso de optimización de los parámetros del modelo utilizado -es de esperar que en los procesos en los que no se describió en detalle la solución del problema inverso no existan elementos para evaluar el desempeño general del modelo presentado.

En aquellos artículos en los que se discute la parametrización del modelo y su evaluación de desempeño, los criterios más aplicados son el del Coeficiente de determinación - R (Pearson, 1896) y el de Nash-Sutcliffe (Nash and Sutcliffe, 1970), los cuales para algunos autores no se consideran prueba suficiente para definir la calidad de un modelo matemático del proceso lluvia-escorrentía (Dawson et al., 2007; Domínguez, 2004; Garrick et al., 1978). En muy pocos casos los autores argumentan el tipo de criterio seleccionado para la evaluación, siendo esta selección en la realidad, dictada por el tipo de pronósticos o simulaciones en las que se trabaja (ASCE, 1993; Clarke, 2008). La mayoría de autores utiliza el análisis gráfico para comparar visualmente lo observado contra lo simulado. Este método es subjetivo y carece de precisión dado que las escalas que se utilizan para presentar los gráficos no son muy detalladas impidiéndole al lector realizar al menos una comparación aproximada.

En cuanto a la etapa de post auditoria, no se encontró ningún artículo en el que se mencionara este proceso, por lo tanto no se incluyó este aspecto en la evaluación adelantada. Sin embargo, esta situación podría estar indicando que el número de modelos matemáticos que son utilizados operativamente en la toma de decisiones es muy bajo. Un modelo matemático utilizado en un ámbito operativo siempre requiere de post-auditoría y la no presentación de esta etapa en los artículos muestra que o bien se carece de información sobre este tipo de experiencias o que se le dá muy baja importancia. Cualquiera de estos dos aspectos es negativo para un trabajo sobre modelación hidrológica.

permitiría, además, a los editores de revistas científicas tener un punto de referencia durante el arbitraje de artículos sobre el tema. Un protocolo, aceptado por toda la comunidad científica, garantizaría a los lectores la replicabilidad y calidad de la información que se presenta en artículos científicos sobre modelación del proceso lluvia - escorrentía.

En los artículos sobre modelación del proceso lluvia - escorrentía se encuentran puntos débiles en la presentación de la información sobre construcción / selección de los códigos que implementan los operadores matemáticos de estos modelos. Otro aspecto sobre el que existen diferentes niveles de precisión en los artículos evaluados está relacionado con el proceso de calibración, validación y evaluación del desempeño de los operadores matemáticos. Aun cuando en la comunidad hidrológica internacional existe un gran número de criterios objetivos para la calibración, validación y evaluación de desempeño de los modelos lluvia - escorrentía (Dawson et al., 2007), en un número significativo de artículos estos criterios no son utilizados, y en ellos se presentan conclusiones sobre el desempeño de los modelos a partir de comparaciones gráficas de datos observados y simulados. Un protocolo de modelación aceptado internacionalmente establecería los niveles mínimos de calibración, validación y evaluación de desempeño requeridos para que una comunicación científica sobre modelación hidrológica cuente con información más confiable en aras del progreso mismo del tema.

En la actualidad son numerosos los avances sobre modelación matemática de procesos hidrológicos que son publicados anualmente; con el fin de que la comunidad hidrológica pueda asimilarlos en forma segura, es aconsejable el establecimiento y aplicación de un protocolo de modelación, los protocolos presentados en las referencias (Domínguez, 1998; Organización Meteorológica Mundial, 1985; Refsgaard, 1998; WMO, 1987; WMO, 1994) podrían ser utilizados como base para tal construcción. Aportes de importancia sobre la etapa de evaluación del desempeño pueden ser obtenidos de la discusión presentada por Oreskes et al. (Oreskes et al., 1994).

Bibliografía

- ASCE, 1993. Criteria for evaluating watershed models. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 119(3): 429-442.
- Clarke, R.T., 2008. A Critique of Present Procedures Used to Compare Performance of Rainfall-Runoff Models. *Journal of Hydrology*, In Press, Accepted Manuscript.
- Dawson, C., W., Abrahart, R., J. and See, L., M., 2007. HydroTest: A web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts. *Environmental Modelling & Software*, 22: 1034-1052.
- Domínguez, E., 1998. Protocolo de modelación matemática de procesos hidrológicos. *Meteorología Colombiana*, 1: 8.
- Domínguez, E., 2004. Stochastic forecasting of streamflow to Colombian hydropower reservoirs. PhD. Thesis, Russian State Hydrometeorological University, San Petersburg, 235 pp.
- Domínguez, E., 2007. Introducción a la modelación matemática. In: E. Domínguez (Editor). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Garrick, M., Cunnane, C. and Nash, J.E., 1978. A criterion of efficiency for rainfall-runoff models. *Journal of Hydrology*, 36(3-4): 375-381.
- Genesereth, M.R. and Nilsson, N., J., 1987. *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I -- A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3): 282-290.
- Oreskes, N., Shrader-Frechette, K. and Belitz, K., 1994. Verification, Validation, and Confirmation of Numerical Models in the Earth Sciences. *Science*, 263(5147): 641-646.
- Organización Meteorológica Mundial, O., 1985. Notas de conferencia para las sesiones 7, 9, 10, 12 y 14. In: L. García, E. (Editor), Seminario itinerante sobre los modelos matemáticos utilizados en la predicción hidrológica. OMM, Guatemala, pp. 219.
- Pearson, K., 1896. Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, heredity and panmixia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A*, 187: 253-318.
- Refsgaard, J.C., 1996. Chapter 2: Terminology, modelling Protocol and Classification of Hydrological Model Codes. In: M. Abbot, B. and J.C. Refsgaard (Editors), *Distributed Hydrological Modelling*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp. 17-39.
- Refsgaard, J.C., 1998. Modelling protocol. DHI.
- Refsgaard, J.C. and Henriksen, H.J., 2004. Modelling guidelines--terminology and guiding principles. *Advances in Water Resources*, 27(1): 71-82.

21. Conor Murphy, Rowan Fealy, Ro Charlton and John Sweeney, 2005, The reliability of an 'off-the-shelf' conceptual rainfall runoff model for use in climate impact assessment: uncertainty quantification using Latin hypercube sampling, *Royal Geographical society*, 38.1, 2005, 14p.
22. D.D. Adelman and J.S. Stansbury, 2004, TIME series analysis of nebraska daily rainfall data to simulate atrazine runoff, *Journal of the american water resources association*, 2007, 13p.
23. David Pullar, 2003, Simulation modelling applied to runoff modelling using mapsript. Blackwell Publishing ltd, ed.267, 2003. 17p.
24. Dufilho, Ana Cecilia, Horne Federico, Navedo Rodrigo and Gabriela Polla. 2001. Diseño de obras de control de aluviones basada en simulación de procesos hidrológicos torrenciales en cuencas de la Patagonia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Volume 5, Issue 2, 2001, Pages 198-203
25. Duncan W. Reed. Reinforcing Flood-Risk Estimation. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences- The Royal Society*. Volume 360, Issue 1796. Jul 15, 2002. pp. 1373-1387.
26. Felix Francés, Jaime Ignacio Velez, 2006, Split parameter structure for the automatic calibration of distributed hydrological models, *Journal of Hydrology*, jun 2006, 15p.
27. Finol Seida and Barrios Alex. 1999. Future climate scenarios and rainfall runoff modelling in the Upper Gallego catchment (Spain). *revista forestal venezolana*. Volume 43, Issue 1, 1999, Pages 17-23.
28. Francis J. Magilligan; Melissa L. Stamp. Historical Land-Cover Changes and Hydrogeomorphic Adjustment in a Small Georgia Watershed. *Annals of the Association of American Geographers- Association of American Geographers*. Volume 87, Issue 4. Dec., 1997. pp. 614-635.
29. François Anctil, Nicolas Lauzon, Vazken Andréassian, Ludovic Oudin and Charles Perrin. Improvement of rainfall-runoff forecasts through mean areal rainfall optimization. *Journal of Hydrology*. Volume 328, Issues 3-4, 15 September 2006, Pages 717-725
30. Furey Peter R., Gupta Vijay K. 2007. Diagnosing peak-discharge power laws observed in rainfall-runoff events in Goodwin Creek experimental watershed. *Advances in Water Resources* Volume 30, Issue 11, November 2007, Pages 2387-2399
31. Gabellani S., Boni G., Ferraris L., Von Hardenberg J., Provenzale A. 2007. Propagation of uncertainty from rainfall to runoff: A case study with a stochastic rainfall generator. *Advances in Water Resources*, Volume 30, Issue 10, October 2007, Pages 2061-2071.
32. Gary W. Frasier; M. J. Trlica; W. C. Leininger; R. A. Pearce; A. Fernald. Runoff from Simulated Rainfall in 2 Montane Riparian Communities. *Journal of Range Management- Allen Press*. Volume 51, Issue 3. May, 1998. pp. 315-322.
33. Gary W. Frasier; Mark Weltz; Laura Weltz. Rainfall Simulator Runoff Hydrograph Analysis. *Journal of Range Management- Allen Press*. Volume 51, Issue 5. Sep, 1998. pp. 531-535.
34. George Kuczera a,*, Dmitri Kavetski b, Stewart Franks a, Mark Thyer, 2006, Towards a Bayesian total error analysis of conceptual rainfall-runoff models: Characterising model error using storm-dependent parameters, *Journal of hydrology*, V331, may, 2006, 17p.
35. Gunnar Nützmann & Silke Mey. Model-based estimation of runoff changes in a small lowland watershed of north-eastern Germany. *Journal of Hydrology*. Volume 334, Issue . 2007. pp. 467-476.
36. Gwo-Fong Lin and Chun-Ming Wang. A nonlinear rainfall-runoff model embedded with an automated calibration method - Part 1: The model. *Journal of Hydrology* Volume 341, Issues 3-4, 1 August 2007, Pages 186-195.
37. Gwo-Fong Lin and Chun-Ming Wang. A nonlinear rainfall-runoff model embedded with an automated calibration method - Part 2: The automated calibration method. *Journal of Hydrology*. Volume 341, Issues 3-4, 1 August 2007, Pages 196-206
38. H. Abiba, M. Ellouze, M. Mahjoub. Flood routing of regulated flows in Mejerda River, Tunisia. *Journal of Hydroinformatics- IAHR-IWA-IAHS Joint Committee on Hydroinformatics*. Volume 7, Issue 3. Jul, 2006. pp. 210-216.
39. H. S. Wheater. Progress in and Prospects for Fluvial Flood Modelling. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences- The Royal Society*. Volume 360, Issue 1796. Jul 15, 2002. pp. 1409-1431.
40. Han Su-qin, Xie Yi-yang, Li Da-ming, Li Pei-yan, Sun Mei-ling. Risk analysis and management of urban rainstorm water logging in Tianjin. *Journal of Hydrodynamics*. Volume 18, Issue 5. 2006. pp. 552-558.
41. Hernandez Tatiana, Mahmood Nachabe, Mark Ross & Jayantha Obeisekera. Modelling runoff from variable source areas in humid, shallow water table environments. *Journal of the american Water Resources Association*. Volume 39, Issue 1. 37653. pp. 75-85.
42. Hironobu Sugiyama, Mutsumi Kadoya, Akihiro Nagai, and Kevin Lansley, 1999, Verification and application of regional equations for the storage function runoff model', *Journal of the american water resources association*, V35, ed. 1999. 11p.

66. Nageshwar R. Bhaskar, Laura K. Brummet & Mark French. Runoff modelling of a mountainous catchment using Topmodel. *Journal of the American Water Resources Association*. Volume 41, Issue 1, Feb, 2005. pp. 107-121.
67. Nazzareno Diodato & Gianni Bellocchi. Estimating monthly (R)USLE climate input in a Mediterranean region using limited data. *Journal of Hydrology*. Volume 345, Issue . 2007. pp. 224-236.
68. Nick van de Giesena*, Tjeerd Jan Stomphb, Nico de Ridderb, 2004, Surface runoff scale effects in West African watersheds: modeling and management options, *Agricultural water management*, V72, ed. 2005, 22p.
69. Nien-Sheng Hsu, Chih-Chiang Wei. A multipurpose reservoir real-time operation model for flood control during typhoon invasion. *Journal of Hydrology*. Volume 336, Issue . 2007. pp. 282-293.
70. Olmos, Luis A. and Jégat Hervé 2001. Análisis de la erosión hídrica mediante un modelo distribuido (calsite) y un modelo agregado (SWRRB). *Ingeniería del agua*. Volume 8, Issue 1, March 2001, Pages 25-37.
71. Orman e. granger, 1983 the hydroclimatology of a developing P. Coulibaly & N.D. Evora . Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records. *Journal of Hydrology*. Volume 341, Issue . 2007. pp. 27-41.
72. Pan Tsung-yi, Wang Ru-yih and LaiA Jih-sung. 2007. A deterministic linearized recurrent neural network for recognizing the transition of rainfall-runoff processes. *Advances in Water Resources*. Volume 30, Issue 8, August 2007, Pages 1797-1814
73. Paturel J.E., Servat E. , and Vassiliadis A. 1994. Sensitivity of conceptual rainfall-runoff algorithms to errors in input data -- case of the GR2M model. *Journal of Hydrology*. Volume 168, Issues 3, 28 september 1994, Pages 111-125.
74. Peter C. Young. *Advances in Real-Time Flood Forecasting*. Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences- The Royal Society. Volume 360, Issue 1796. Jul 15, 2002. pp. 1433-1450.
75. R. S.Chen , and L. C. Pi . 2004. Diffusive tank model application in rainfall-runoff analysis of upland fields in Taiwan. *Agricultural Water Management*, Volume 70, Issue 1, 15 October 2004, Pages 39-50
76. R. Teegavarapu, A. Elshorbagy. Fuzzy set based error measure for hydrologic model evaluation. *Journal of Hydroinformatics- IAHR-IWA-IAHS Joint Committee on Hydroinformatics*. Volume 7, Issue 3. Jul, 2005. pp. 199-209.
77. Ram Gupta, Ramesh Rudra, Trevor Dickinson. Modeling infiltration with varying hydraulic conductivity. *Journal of the American Water Resources Association*. Volume 34, Issue 2. Apr-1998. pp. 279-287.
78. Ray-Shian Wu, Dong-Sin Shih & Shih-wen chen. Runoff model for typhons. *Journal of the American Water Resources Association*. Volume 43, Issue 4. Aug, 2007. pp. 969-980.
79. Reinhard Teschl , Walter L. Randeu, Franz Teschl. Improving weather radar estimates of rainfall using feed-forward neural networks. *Neural Networks*. Volume 20, Issue . 2007. pp. 519-527.
80. Reza Najafi Mohammad. 2002 . Watershed modeling of rainfall excess transformation into runoff *Journal of Hydrology* Volume 270, Issues 3, 12 September 2002, Pages 273-281.
81. Robert A. Pearce; Gary W. Frasier; M. J. Trlica; Wayne C. Leininger; John D. Stednick; James L Smith. Sediment Filtration in a Montane Riparian Zone under Simulated Rainfall. *Journal of Range Management- Allen Press*. Volume 51, Issue 3. May, 1998. pp. 309-314.
82. Rolf Weingartner; Charles Pearson. A Comparison of the Hydrology of the Swiss Alps and the Southern Alps of New Zealand. *Mountain Research and Development- International Mountain Society*. Volume 21, Issue 4. Nov, 2001. pp. 370-381.
83. Ryan J. Rector; David L. Regehr; Philip L. Barnes; Thomas M. Loughin; Marc A. Hoobler. Application Timing Impact on Runoff Losses of Atrazine. *Weed Science- Weed Science Society of America*. Volume 51, Issue 5. Sep-Oct, 2003. pp. 817-825.
84. S. Liong, K. Phoon, M. Pasha, C. Doan. Efficient implementation of inverse approach for forecasting hydrological time series using micro GA. *Journal of Hydroinformatics- IAHR-IWA-IAHS Joint Committee on Hydroinformatics*. Volume 7, Issue 3. Jul, 2005. pp. 151-164.
85. S. Passone, V. Nassehi, P. Chung. A hybrid reasoning system for supporting estuary modelling. *Journal of Hydroinformatics- IAHR-IWA-IAHS Joint Committee on Hydroinformatics*. Volume 7, Issue 3. Jul, 2005. pp. 185-198.
86. Seann Reed , John Schaake & Ziya Zhang. A distributed hydrologic model and threshold frequency-based method for flash flood forecasting at ungauged locations. *Journal of Hydrology*. Volume 337, Issue . 2007. pp. 402-420.
87. Seeger, Manuel. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *CATENA*. Volume 71, Issue 1, 1 September 2007, Pages 56-6.
88. Segura, A. , Obregón, N. Un modelo de lógica difusa y conjuntos difusos para el pronóstico de los niveles medios diarios del río Magdalena, en la estación limnigráfica de Puerto Salgar, Colombia. *Revista de Ingeniería- Universidad de los Andes*. Volume 22, Issue -. Oct, 2005. pp. 112-117.

110. M. S. Sri nivasan, J. M. Hamlett, R. L. Day, J. I. Sams, G. W. Petersen. Hydrologic modeling of two glaciated watersheds in northeast Pennsylvania. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Volume 34, No.4. Aug 1998. pp 963 - 978.
111. Pao-Shan Yu, Chia-Jung Chen, Shiann-Jong Chen, Shu-Chen Lin. Application of grey model toward runoff forecasting. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Volume 37, No. 1. Feb 2001. pp 151 - 166.
112. Nageshwar R. Bhaskar, Laura K. Brummett, Mark N. French. Runoff modeling of a mountainous catchment using TOPMODEL: A case study. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Volume 41, No. 1. Feb 2005. pp 107 - 121.
113. Garbrecht, Jürgen D., Jeanne M. Schneider, Michael W. Van Liew. Monthly Runoff Predictions Based on Rainfall Forecasts in a Small Oklahoma Watershed. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Volume 42, No. 5. pp 1285 - 1295.
114. Anand, Shilpa, Kyle R. Mankin, Kent A. McVay, Keith A. Janssen, Philip L. Barnes, and Gary M. Pierzynski. Calibration and Validation of ADAPT and SWAT for Field-Scale Runoff Prediction. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. Vol. 43, No. 4. pp 899-910.
115. Perrin, JL and Bouvier, C. 2004. Rainfall - runoff modelling in the urban catchment of El Batán, Quito, Ecuador. *Urban Water Journal*, Issue 1:4, 01 December 2004, Pages 299 - 308.
116. Giraldo Nelson Molina, Piza Torres Carolina, Toro Álvaro Wills. 2007. Evaluación del comportamiento hídrico de la ciénaga de Cachimbero, implementando un modelo de balances de flujo. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, No. 39, Marzo 2007. Pp 56 - 68.
117. Niedzielski Tomasz. 2006. A data-based regional scale autoregressive rainfall-runoff model: a study from the Odra River. *Water Resources Management*, No. 39, Marzo 2007. Pp 56 - 68.
118. Kwan Tun Lee & Wei-Chiao Hung & Chung-Chieh Meng. 2006. Deterministic Insight into ANN Model Performance for Storm Runoff Simulation. *Water Resources Management*, 10.1007/s11269-006-9144-x.
119. S. M. Dunn and R. C. Ferrier. 1999. Natural flow in managed catchments: A case study of a modelling approach. *Water Research*, Volume 33, Issue 3, February 1999, Pages 621-630.
120. Nanía L; Gómez M; Dolz J. 2007. Surface stormwater hazard assessment in steep urban areas. Case of the city of Mendoza, Argentina. *Urban Water Journal*, Issue 4:2, 01 June 2007, Pages 119-131.
121. Nitin Katiyar, Faisal Hossain. 2006. An open-book watershed model for prototyping space-borne flood monitoring systems in International River Basins. *Environmental Modelling & Software*, Issue 22, 12 December 2006, pages 1720 - 1731.
122. Barreto-Neto Aurelio Azevedo, de Souza Carlos Roberto. 2007. Application of fuzzy logic to the evaluation of runoff in a tropical watershed. *Environmental Modelling & Software*, Issue 23, 20 July 2007, Pages 244 - 253.
123. Materón Hernán, García Jorge Luis, Arango Diógenes, Parra Diego. 2007. Modelación Hidrológica e Hidráulica Aplicada a Estudios de Inundabilidad en Cauces Naturales. *Revista Eidenar*, Edición 5, Marzo 20 de 2005, Páginas 27 - 42.
124. Gutiérrez M. Mercedes, Márquez J. Jairo, Materóa Hernando, Palacios Hernán. 2004. Modelación de acuíferos para el aprovechamiento sostenible del agua subterránea. *Revista Eidenar*, Edición 1, Febrero 2004.