

Estado del arte de modelos hidrológicos

Carlos Miguel Garzón Martínez

Ernesto Javier González López

Estudiantes del Programa de Ingeniería Ambiental

Universidad Mariana

Francisco Ricardo Mafla Chamorro

Docente del Programa de Ingeniería Ambiental

Universidad Mariana

Para los autores Estrada y Pacheco (2002):

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias. (95).

Por su parte Cabrera (s.f.), afirma:

La modelación hidrológica se presenta como una necesidad y una herramienta para conocer de mejor manera el funcionamiento y el comportamiento de los diferentes componentes del ciclo hidrológico de una cuenca (p. 1).

Por ello, el presente artículo busca hacer una revisión teórica de los modelos hidrológicos, para evaluar el desempeño en la aplicabilidad de la información que requieran, como características de cobertura vegetal, suelos, clima, entre otras; y así determinar la exactitud de estas herramientas en la simulación y generación de una respuesta hidrológica.

En países de alto desarrollo, los registros hidroclimatológicos por varias décadas de construcción, les ha permitido hacer un uso adecuado de este tipo de estudios. En Colombia, la dificultad en la recolección de los datos, no permiten el progreso de estudios académicos en el área hidrológica, lo cual ha influido en un menor desarrollo en la ejecución o utilización de los mismos.

Metodología

Modelo Hidrológico

Un modelo hidrológico es pues una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica.

En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente representamos es la '**cuenca hidrográfica**' y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera un modelo matemático nos ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas (inputs) al sistema y salidas (outputs) a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo.

La salida de los modelos hidrológicos varía - dependiendo de las metas y objetivos del modelo. Algunos modelos se utilizan para predecir los totales mensuales de escorrentía, mientras que otros están diseñados para ver a las tormentas individuales. El resultado más común es el hidrograma o hidrograma de escurrimiento. (IDEAM, 2014, s.p.).

A continuación, se describen algunos modelos hidrológicos estudiados:

SWAT

SWAT corresponde a *herramienta para la evaluación del suelo y agua para una cuenca hidrográfica*; este modelo a escala fue desarrollado por Dr. Jeff Arnold para el USDA el Servicio Agrícola de Investigación (ARS). Es un modelo que se conforma a largo plazo y que no está diseñado para simular un acontecimiento de flujo detallado. Esta herramienta necesita de información específica sobre el clima y tiempo, propiedades de suelos, topografía y vegetación (Uribe, 2010). Este modelo presenta una serie de característica. (Ver Tabla 1).

Tabla 1. *Características del modelo SWAT*

Tipo	Entrada	Salida	Procesos	Escala espacial y temporal	Cobertura
Semi-Distribuido	1. Modelo digital de terreno		3. Campo de lluvia	Múltiples	Vegetación Suelo
	2. Datos climáticos	1. Caudal superficial	4. Evaporación		
	3. Vegetación		5. Movimiento del agua		
	4. Propiedades de los suelos	2. Flujo subterráneo lateral	6. Movimiento de los sedimentos		
	5. Práctica del manejo del suelo		7. Ciclo de nutrientes		
			8. Escorrentía superficial		

Fuente: Gómez, 2016, p. 48.

TOPMODEL

El TOPMODEL (Topographical Model) es un grupo de conceptos y criterios acerca del proceso lluvia - escorrentía y su modelación. El modelo se basa en los principios de la ecuación de continuidad, ley de Darcy, modelo de escorrentía de Dunne y modelo de almacenamiento exponencial. En este modelo se subdivide la cuenca en pequeños elementos y para cada uno de ellos se estima: el área aguas arriba que drena a través del elemento, la longitud del lado por el que sale el agua hacia otros elementos aguas abajo y la pendiente local del elemento. Este modelo propone que las distintas partes de la cuenca se pueden considerar equivalentes desde el punto de vista de la respuesta hidrológica de la cuenca si tienen un mismo valor del Índice Topográfico. El concepto fundamental del TOPMODEL está en la suposición de que el almacenamiento subsuperficial saturado tiene una ley exponencial de flujo. (Gómez, 2016, p. 48).

Tabla 2. *Características del modelo Topmodel*

Tipo	Entrada	Salida	Procesos	Escala espacial y temporal	Cobertura
Semi-Distribuido continuo.			4. Índice Topográfico.	Múltiples	No aplica
	1. Topografía.	1. Flujo subsuperficial.	5. Velocidad del tránsito en el canal.		
	2. Precipitación	2. Flujo superficial.	6. Transmisividad lateral.		
	3. Evapotranspiración.	3. Flujo subterráneo.	7. Déficit de almacenamiento máximo.		
			8. Déficit de almacenamiento inicial.		

Fuente: Gómez, 2016, p. 48.

TETIS

El modelo TETIS ha sido desarrollado para realizar la simulación hidrológica en cuencas naturales. Su funcionamiento se basa en obtener una óptima respuesta hidrológica ante eventos de precipitación de lluvias, incorporando los procesos morfométricos que involucra una cuenca y empleando una modelación de tipo distribuida.

TETIS, basa la producción de la escorrentía en la realización de un balance hídrico en cada celda, asumiendo que el agua se distribuye en seis niveles o tanques de almacenamiento conceptuales y conectados entre sí.

Estos niveles se describen a continuación: (IIAMA, 2014, pp. 16-30).

En la fase inicial, la precipitación en forma de lluvia llega al *tanque de intercepción*, el cual es el primer almacenamiento, este representa el agua interceptada por la cubierta vegetal y que solo sale de ella por evaporación directa (IIAMA, 2014, pp. 16-30).

El segundo almacenamiento, denominado *almacenamiento estático*, representa el agua que transita por la cuenca, es decir, detención del agua en charcos y que solo sale de ella por evapotranspiración. (IIAMA, 2014, pp. 16 - 30).

Posteriormente, el flujo se transmite al tercer almacenamiento, conocido como *almacenamiento superficial* y la escorrentía directa, representa el agua mientras fluye por la ladera, al respecto, se pretende que tanto la cantidad almacenada como el

tiempo de residencia sean coherentes con las laderas reales en la cuenca. Se considera que el flujo en la ladera ocurre en una delgada capa que se va concentrando en una pequeña red de surcos y pequeñas depresiones o canales hasta que pasa a los elementos de la red de drenaje (IIAMA, 2014, pp. 16 - 30).

De esta manera, se llega al cuarto tanque, conocido como *almacenamiento gravitacional e interflujo*, el cual representa la respuesta intermedia. Se lo entiende como el agua gravitacional almacenada en el suelo. Parte de ese volumen pasa al nivel inferior por percolación, otra parte produce el interflujo y otra parte puede volver en superficie como escorrentía de retorno (IIAMA, 2014, pp. 16-30).

El quinto corresponde a *almacenamiento subterráneo y el flujo base* que representa acuíferos. Las salidas corresponden a las pérdidas subterráneas y el flujo base de los cauces para concluir finalmente en el sexto almacenamiento, éste se lo tiene en cuenta cuando hay mantos de nieve. En este caso, al no existir hielo perpetuo o permanente, este tanque se lo desprecia. (IIAMA, 2014, pp. 16-30).

Tabla 3. *Características del modelo TETIS*

Tipo	Entrada	Salida	Procesos	Escala espacial y temporal	Cobertura
Distribuido-Continuo.		1. Caudal estimado en puntos seleccionados.			
	1. Modelo digital de elevación del terreno.	2. Niveles de embalse.	1. Interceptación.		
	2. Series temporales del evento de precipitación	3. Caudal de entrada al embalse.	2. Evapotranspi-ración.		
	3. Evapotranspiración.	4. Volumen observado y simulado del embalse.	3. Flujo en el suelo.	Horaria, Diaria, Mensual y Anual	Coberturas Ve- getales, Suelos, Geología.
	4. Altura equivalente de agua.	5. Volumen simulado de nieve en toda la cuenca.	4. Flujo Subterráneo.		
	5. Temperatura.		5. Flujo Subsuperficial.		
	6. Aportes o retención de caudal.	6. Flujos medios entre tanques de toda la cuenca.	6. Escorrentía super- ficial.		
		7. Almacenamientos me- dios de toda la cuenca.			

Fuente: Gómez, 2016, p. 49.

HBV

El modelo hidrológico HBV es un modelo conceptual y agregado de precipitación escorrentía ampliamente empleado en previsiones hidro- lógicas y en estudios de balance hídrico. Pertenece a la clase de modelos que tratan de abarcar los procesos más importantes de generación de escorrentía empleando una estructura simple y robusta, y un pequeño número de parámetros. Fue originariamente desarrollado por el Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco (SMHI) en 1970. (Bermúdez, Cabrera, Martos, 2015, p. 21).

Para Gómez (2016), este modelo es:

El HBV es un modelo precipitación-escorrentía que puede ser clasificado como conceptual, continuo y semi-distribuido, ya que divide la cuen- ca en subcuencas para realizar la simulación. De acuerdo a la experiencia adquirida por los desarrolladores del modelo, el HBV se comporta mejor en cuencas con una superficie de 100 Km2 o más, ya que para pequeñas cuencas se tuvieron resultados muy variados.

Usualmente se utiliza a nivel diario, pero puede usarse con una escala de tiempo mayor. La temperatura del aire se utiliza para los cálculos de acumulación y derretido de nieve, para corregir la ETp cuando la temperatura se desvía de los valores normales o para calcular la ETp Tabla 4. Características del modelo HBV. (pp. 50-51).

Tabla 4. *Características del modelo HBV*

Tipo	Entrada	Salida	Procesos	Escala espacial y temporal	Cobertura
Conceptual, continuo y semi-distribuido		1. Hidrograma a la salida de la cuenca.			
	1. Precipitación.	2. Flujo de entrada a reservorios.	1. Interpolación meteorológica.		
	2. Temperatura del aire.	3. Acumulación de nieve.	2. Acumulación y fusión de nieve.		
	3. Evapotranspiración potencial (ETp).	4. Fusión de nieve	3. Estimación de evapotranspiración.		
	4. Subdivisión de subcuencas.	5. Distribución de la precipitación.	4. Conteo de humedad de suelo.	Diaria o mayor	No aplica.
	5. Distribución de altitud y coberturas.	6. Almacenamiento de humedad en el suelo.	5. Generación de escorrentía.		
		7. Recarga y almacenamiento de agua subterránea.	6. Tránsito de caudales entre subcuencas y reservorios internos.		
		8. Evapotranspiración efectiva.			

Fuente: Gómez, 2016, p. 51.

Conclusiones

Los modelos hidrológicos requieren de un mínimo de información que relacione series hidrometeorológicas, el modelo de elevación digital, información de mapas de cobertura vegetal y datos geomorfológicos de las zonas de estudio.

La calidad de la información ingresada en cada modelo se ve reflejada en la calidad de los resultados obtenidos o influye en la reducción de incertidumbre en la respuesta del modelo utilizado.

Referencias

- Bermúdez, J., Cabrera, J & Martos, S. (2015). Calibración y Explotación del Modelo Agregado en HBV de las Cuencas Hidrológicas de los Ríos Bérchules y Mecina en el Ámbito de Sierra Nevada (Granada). Recuperado de http://info.igme.es/SidPDF/166000/950/166950_0000001.pdf
- Cabrera, J. (s.f.). *Modelos Hidrológicos*. Recuperado de http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf
- Estrada, V. y Pacheco, R. (2002). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 32(1), 94-105.
- Gómez, Á. (2016). *Herramientas de Modelación y Monitoreo para la Hidrología de Alta Montaña Colombiana – Cuenca de la Quebrada Calostros – PNN Chingaza* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2014). *Modelación Hidrológica*. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>
- Uribe, N. (2010). *Conceptos básicos y guía rápida para el usuario, versión SWAT 2005*. Recuperado de <https://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>