

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO
AMBIENTE

PROGRAMA DE DOCTORADO DE INGENIERÍA DEL AGUA Y
MEDIOAMBIENTAL



TESIS DOCTORAL

MODELACIÓN PARSIMONIOSA Y ESPACIALMENTE
DISTRIBUIDA DE LOS PROCESOS DE ACUMULACIÓN Y
FUSIÓN DE NIEVE

Autor:

ISMAEL OROZCO MEDINA

Director:

Dr. FÉLIX FRANCÉS GARCÍA

Valencia, España 2013

Resumen

La presente tesis doctoral tiene como objetivo investigar los efectos de la variabilidad de los factores de fusión que utiliza el método grado-día, en la modelación de la fusión de nieve y su repercusión en la modelación hidrológica en cuencas de alta montaña. Lo anterior, con la finalidad de proporcionar una alternativa parsimoniosa a la simulación de la fusión de nieve en la modelación hidrológica de este tipo de cuencas, cuya problemática principal es no contar con la información suficiente para aplicar otros modelos de fusión conceptualmente más completos, como los de balance de energía. Para llevar a cabo lo anterior, en esta tesis se han planteado tres conceptualizaciones matemáticas de modelos híbridos de fusión de nieve que se basan en el método clásico grado-día, pero que a diferencia de éste, consideran la variabilidad de los factores de fusión. Estas conceptualizaciones se han implementado en el modelo hidrológico distribuido conceptual con parámetros físicamente basados TETIS, para la modelación de los procesos del ciclo hidrológico. La variabilidad de los factores de fusión se introduce en los modelos híbridos a escala de celda mediante mapas de índices de radiación, los cuales son construidos tomando en cuenta la radiación global de onda corta con cielo despejado, las características morfológicas de la cuenca, la sombra de relieve y la época del año. Asimismo, se utilizan los mapas de factores de fusión determinados a partir de los aportes de energía para la fusión de nieve en función de la ocupación del suelo, obtenidos a partir de trabajos previos encontrados en la literatura científica. Por otro lado, se ha implementado la calibración automática de los parámetros usados por las conceptualizaciones matemáticas propuestas, utilizando el algoritmo de optimización *Shuffled Complex Evolution* (SCE-UA) desarrollado por la Universidad de Arizona, EE.UU.

En la evaluación de los modelos híbridos de fusión implementados, se ha propuesto utilizar tres casos de estudio que son, las subcuencas de los ríos *Carson* y *American* de Sierra Nevada, EE. UU., y la cuenca pirenaica-mediterránea de *Contraix* ubicada en el interior del Parque Nacional de Aigüestortes en los pirineos catalanes España. Estas son cuencas geográficamente cerradas y presentan un régimen hidrológico completamente diferente, debido a su ubicación y a su elevación media. La evaluación ha consistido en analizar tanto los resultados obtenidos con variabilidad de los factores de fusión, a través de los modelos híbridos propuestos, como los obtenidos empleando factores de fusión homogéneos con la conceptualización clásica del método grado-día. En el caso de la modelación de caudales en los puntos de control ubicados en la desembocadura y en el interior de las subcuencas de Sierra Nevada, se ha observado que el efecto que introduce la variabilidad es mínimo. Así como también lo han demostrado las altas eficiencias conseguidas con todos los modelos analizados. Sin embargo, estas eficiencias conseguidas en la modelación de los caudales, no implica la correcta modelación de la nieve, específicamente de los procesos de acumulación y fusión por parte de los modelos implementados. En vista de lo anterior, se ha evaluado el efecto de la variabilidad de los factores de fusión en la modelación de la nieve, a través de la validación puntual y espacial de los resultados obtenidos en la modelación de las subcuencas de Sierra Nevada. Para esto, se utiliza información de las estaciones meteorológicas SNOTEL, de pértigas y de imágenes de satélite. En este caso, los modelos analizados mostraron un comportamiento totalmente diferente en la modelación de la nieve. Asimismo, se observa que el modelo híbrido que introduce la variabilidad, usando los mapas de índices de radiación, es el que mejores resultados proporciona en las validaciones realizadas.

La evaluación de los modelos implementados también se ha realizado comparando los resultados analizados anteriormente con los obtenidos para estas mismas subcuencas por otros modelos hidrológicos que han participado en el *Distributed Hydrologic Model Intercomparison Project-Phase 2 (DMIP2)*. Algunos de estos modelos emplean el balance de energía en la modelación de la nieve. En general, los resultados de esta comparación mostraron eficiencias de los modelos propuestos en esta tesis, muy similares a las conseguidas por los modelos del *DMIP2* e incluso, en el caso de la modelación de la nieve, se superan las eficiencias de algunos de los modelos del *DMIP2*.

En la última parte de esta tesis se evalúan dos de los modelos implementados utilizando la cuenca de *Contraix*, con una escala espacial de mayor precisión y una

escala temporal de media hora. Estos modelos se han seleccionado en función de los resultados obtenidos en las subcuencas de Sierra Nevada y se han evaluado siguiendo el mismo procedimiento anterior. Lo anterior, con la finalidad de detectar inconsistencias en las conceptualizaciones analizadas producto del cambio de escala y validar los resultados conseguidos en las subcuencas de Sierra Nevada. Los resultados mostraron un comportamiento muy parecido con eficiencias en la modelación de los caudales nuevamente muy similares entre los modelos y con resultados en la modelación de la nieve influenciados por la variabilidad de los factores de fusión. Al igual que para las subcuencas anteriores, los mejores resultados en la cuenca de Contraix se han obtenido con el modelo híbrido que utiliza los mapas de índices de radiación.

Finalmente, en esta tesis se demuestra que los resultados en la modelación de los procesos de acumulación y fusión de la nieve en cuencas de alta montaña, pueden mejorarse de manera significativa cuando se utiliza una conceptualización parsimoniosa que considere la variabilidad de los factores de fusión. Asimismo, la influencia de la variabilidad en la modelación de los caudales en la desembocadura de una cuenca, no aporta mayores ventajas que la conceptualización clásica del modelo grado-día. Es por todo ello, que en la selección del modelo a utilizar en estas zonas dependerá de la información disponible, así como el objetivo del modelo y de los resultados que se desee conseguir.