



Resumen del Trabajo Fin de Máster.

Master Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Titulo: Three-Dimensional Hydraulic Conductivity Upscaling in Groundwater Modelling

Alumno/a: Haiyan Zhou **E-mail** haizh@upvnet.upv.es

Director/a: J.Jaime Gómez-Hernández

Codirector/es:

Resumen: **Castellano** (máximo 2000 caracteres)

Los modelos numéricos para la simulación hidrogeológica son herramientas de uso común hoy en día en la evaluación de recursos hidráulicos. La precisión de las simulaciones del flujo de agua subterránea y del transporte de masa dependen, en gran medida, en la caracterización de la variabilidad espacial de la conductividad hidráulica. Uno de los problemas que tiene esta caracterización tiene que ver con la disparidad de escalas entre las muestras y la discretización del modelo numérico. Aunque es posible generar realizaciones de la conductividad hidráulica a la escala de las muestras, es demasiado exigente la simulación numérica a esa escala. Es necesario por tanto desarrollar técnicas de escalado. A partir de aquí nos referiremos a la escala a la que puede caracterizarse la variabilidad espacial de la conductividad como la escala fina, y la escala de la discretización numérica como la escala gruesa.

Esta tesis propone un algoritmo de escalado tridimensional orientado a su uso con códigos de diferencias finitas. Puesto que los programas de diferencias finitas utilizan la conductividad entre bloques para calcular los flujos y establecer el balance de masas, el algoritmo propuesto calcula directamente las conductividades del volumen entre los centros de los bloques para su uso por el programa de diferencias finitas sin necesidad de aplicar ningún tipo de promedio de conductividades entre bloques. Este punto es particularmente importante puesto que a la escala gruesa las conductividades hidráulicas tienen que representarse como tensores, y promediar tensores no es trivial. Una correlación espacial anisotrópica a la escala fina, incluso si las conductividades a esta escala son isotrópicas, inducirán anisotropía en el flujo a escala gruesa.

El cálculo del tensor de conductividad hidráulica entre bloques se hace aislando las conductividades a escala fina que conforman el volumen entre bloques, más un volumen adicional formado por una piel alrededor de este bloque. En este volumen se resuelve la ecuación de flujo con varias condiciones de contorno. El tensor simétrico tridimensional que mejor reproduce los flujos promedio que atraviesan el volumen entre bloques para los correspondientes gradientes medios se calcula con una simple optimización y se asigna al volumen entre bloques.

El algoritmo se ha verificado en tres casos sintéticos. En los tres casos la conductividad se considera isotrópica a la escala fina, pero en cada caso tienen diferentes patrones de variabilidad espacial: isotrópica, anisotrópica y binaria. En los tres casos, el modelo escalado reproduce muy bien los flujos medios entre bloques derivados de las simulaciones a escala fina. La

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



velocidad del algoritmo depende mucho del tamaño de la piel elegida para realizar las simulaciones a escala pequeña para el cálculo de los tensores de conductividad de bloque. Cuanto mayor es el tamaño de la piel utilizada, mejor se reproducen los flujos promedio; sin embargo hemos encontrado que usando una piel de tamaño igual a la mitad del bloque da buenos resultados.

Inglés (máximo 2000 caracteres)

Groundwater numerical simulation is a tool nowadays routinely used in water resources evaluation. The accuracy of groundwater flow and transport simulations relies very much on the ability to properly characterize the spatial variability of hydraulic conductivity. One of the problems that this characterization faces is the disparity between the sample support and the support used in the discretization of the numerical model. While it is possible to generate realizations of conductivity at the measurement support scale, it is too demanding to perform numerical simulations with such a level of discretization. The need to change of support calls for upscaling techniques. We refer to the scale at which hydraulic conductivity can be characterized as the fine scale, and the scale of the numerical discretization as the coarse scale.

This thesis proposes a three-dimensional hydraulic conductivity upscaling algorithm geared to its use with a finite difference code. Because finite difference codes use the interblock conductivity to compute the groundwater flow between blocks, the algorithm aims at computing the hydraulic conductivity representative of the volume between block centers as direct input to the groundwater flow solver, thus avoiding unnecessary averaging rules between neighboring block conductivities. This is particularly important since at the coarse scale hydraulic conductivities will, in general, have to be represented by full tensors, and the averaging of tensors is not a trivial task. The anisotropic spatial correlation of the hydraulic conductivities at the fine scale, even when these conductivities are considered isotropic at this scale, will induce flow anisotropy at coarser scales.

Determining the interblock upscaled conductivity tensor is done by isolating the fine scale hydraulic conductivities that make up the interblock of interest plus a sufficiently large skin surrounding it, and then solving the groundwater flow equation using several boundary conditions. The symmetric 3D tensor that is capable to best reproduce the average fluxes through the interblock, given the average hydraulic head gradient, for the different boundary conditions is computed by a simple optimization and retained as the interblock conductivity tensor at the coarse scale.

The algorithm has been verified in three synthetic experiments. Hydraulic conductivity at the small scale is considered isotropic to flow in all cases, but displaying different spatial heterogeneity: isotropic spatial correlation, anisotropic correlation, and a sand/shale distribution. In all three cases the upscaled models reproduce very well the average flows between blocks as computed at the fine scale. The speed of the algorithm depends very much on the size of the skin selected to perform the small scale simulations to determine each of the interblock conductivity tensor. The larger the skin, the better the final reproduction of the average flows; however, we found that a skin about half the size of the upscaling block gives good results in the three examples.

Valenciano (máximo 2000 caracteres)

Els models numèrics per a la simulació hidrogeològica són eines d'ús comú avui dia en l'avaluació de recursos hidràulics. La precisió de les simulacions

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER



del flux d'aigua subterrània i del transport de massa depenen, en gran mesura, en la caracterització de la variabilitat espacial de la conductivitat hidràulica. Un dels problemes que té aquesta caracterització té a veure amb la disparitat d'escala entre les mostres i la discretització del model numèric. Encara que és possible generar realitzacions de la conductivitat hidràulica a l'escala de les mostres, és massa exigent la simulació numèrica a aquesta escala. És necessari per tant desenvolupar tècniques d'escalat. A partir d'aquí ens referirem a l'escala a la qual pot caracteritzar-se la variabilitat espacial de la conductivitat com l'escala fina, i l'escala de la discretització numèrica com l'escala grossa.

Aquesta tesi proposa un algorisme d'escalat tridimensional orientat al seu ús amb codis de diferències finites. Ja que els programes de diferències finites utilitzen la conductivitat entre blocs per a calcular els fluxos i establir el balanç de masses, l'algorisme proposat calcula directament les conductivitats del volum entre els centres dels blocs per al seu ús pel programa de diferències finites sense necessitat d'aplicar cap tipus de mitjana de conductivitats entre blocs. Aquest punt és particularment important ja que a l'escala grossa les conductivitats hidràuliques han de representar-se com tensors, i fer la mitjana de tensors no és trivial. Una correlació espacial anisòtropa a l'escala fina, fins i tot si les conductivitats a aquesta escala són isòtropes, induiran anisotropia en el flux a escala grossa.

El càlcul del tensor de conductivitat hidràulica entre blocs es fa aïllant les conductivitats a escala fina que conformen el volum entre blocs, més un volum addicional format per una pell al voltant d'aquest bloc. En aquest volum es resol l'equació de flux amb diverses condicions de contorn. El tensor simètric tridimensional que millor reproduïx els fluxos mitjà que travessen el volum entre blocs per als corresponents gradients mitjos es calcula amb una simple optimització i s'assigna al volum entre blocs.

L'algorisme s'ha verificat en tres casos sintètics. En els tres casos la conductivitat es considera isòtropa a l'escala fina, però en cada cas tenen diferents patrons de variabilitat espacial: isòtropa, anisòtropa i binària. En els tres casos, el model escalat reproduïx molt bé els fluxos mitjos entre blocs derivats de les simulacions a escala fina. La velocitat de l'algorisme depèn molt de la grandària de la pell triada per a realitzar les simulacions a escala fina per al càlcul dels tensors de conductivitat de bloc. Com més gran és la grandària de la pell utilitzada, millor es reproduïxen els fluxos mitjà; no obstant això hem trobat que usant una pell de grandària igual a la meitat del bloc dona bons resultats.

**Palabras clave
(máximo 5):**

Upscaling / Block conductivity / Heterogeneity / Interface / Full tensor

Fecha: 17-09-2009

El/La Alumno/a
Fdo: Haiyan Zhou

SR. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL MÁSTER