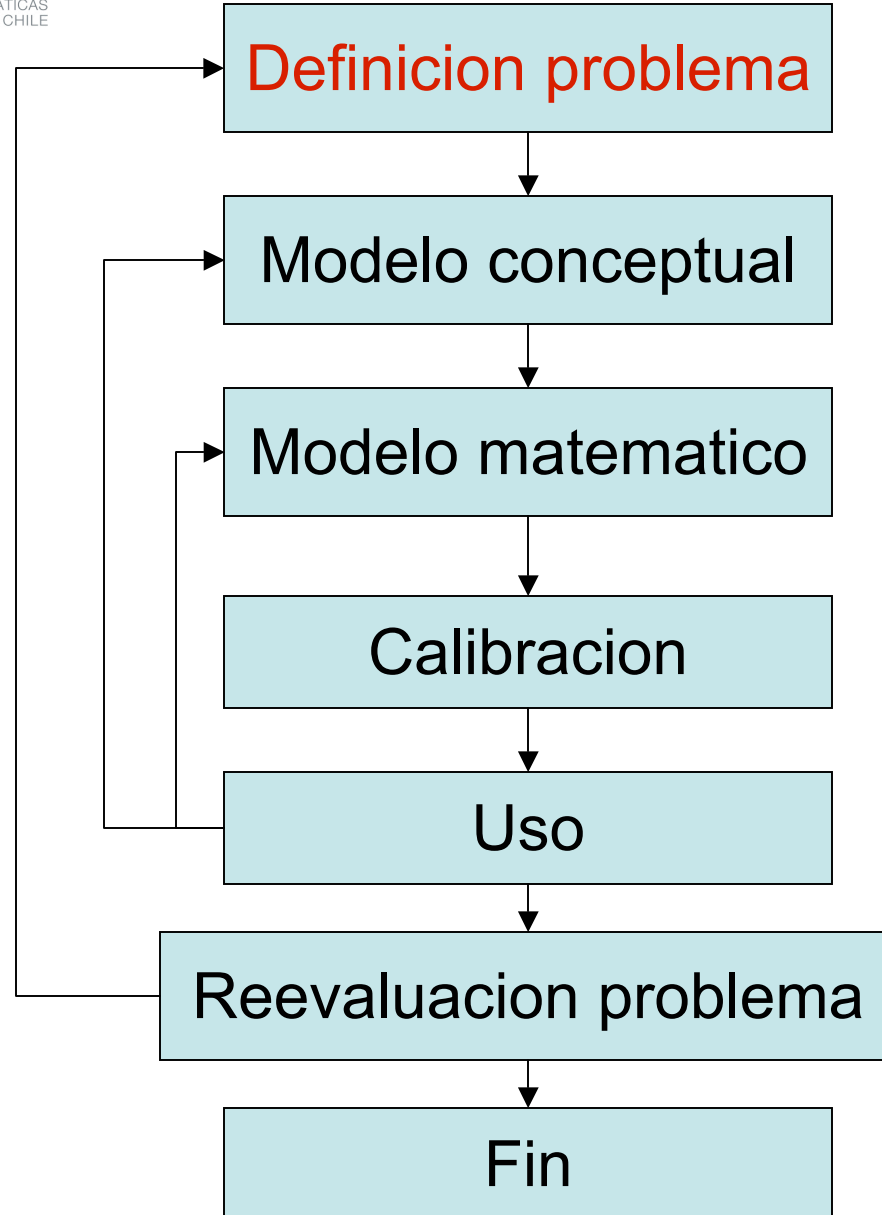




Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Proceso de modelación hidrogeológica

CI71F - Primavera 2007



Definicion problema

- Identificacion objetivos
 - Entendimiento basico (cientifico)
 - Conocimiento sistema especifico
 - Propiedades de un acuífero
 - Entender: Pasado, presente, futuro
- Revision bibliografica
- Analisis preliminares
- Recoleccion de datos

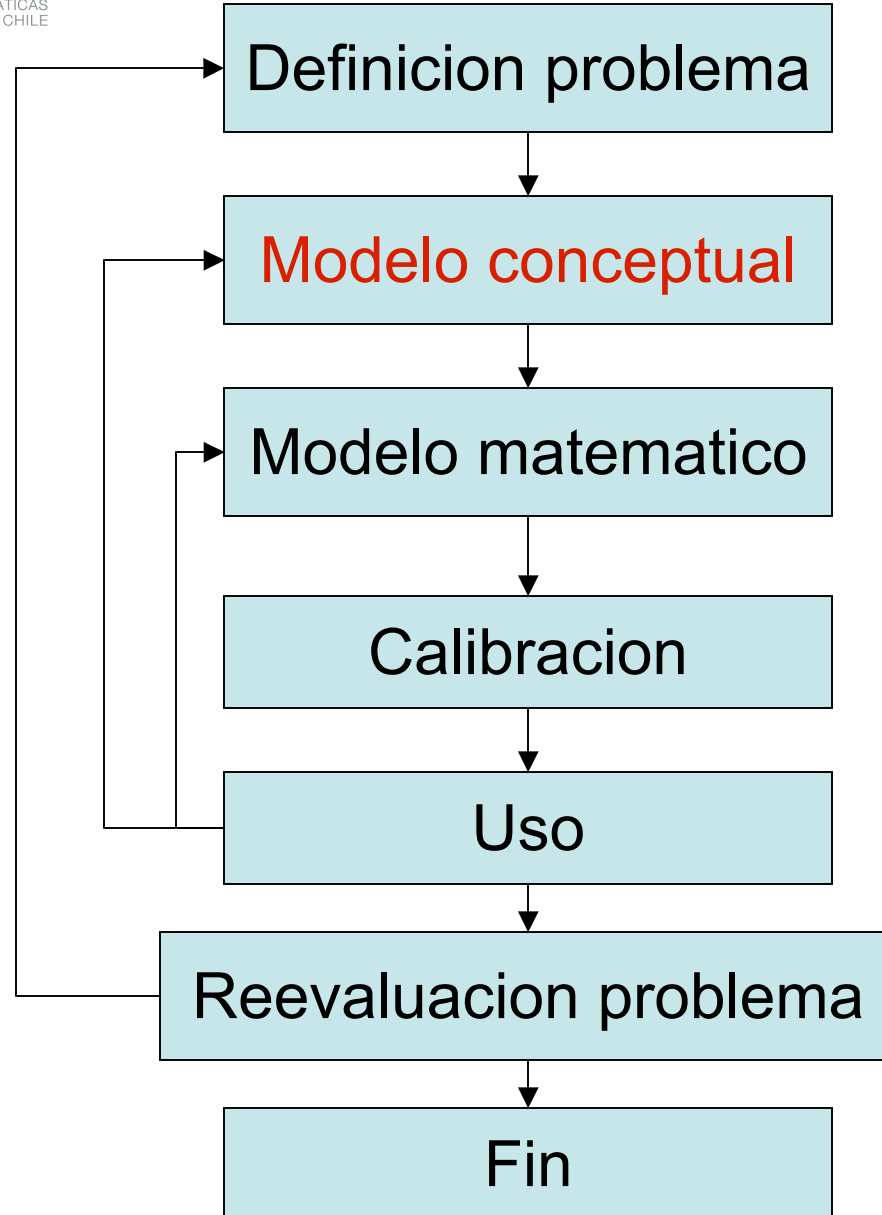
Definicion problema

- Razones para empezar un estudio
 - Investigacion de procesos hidrológicos
 - Determinacion de redes de muestreo efectivas
 - Determinar nivel actual de conocimiento
 - Analisis de pruebas de terreno
 - Estimacion propiedades hidrogeológicas
 - Entender desarrollo historico de un sistema acuífero
 - Estimacion efecto de bombeo sobre cuerpos superficiales
 - Estimacion del origen de agua a pozos
 - Determinacion de responsabilidades
 - Gestion de acuíferos



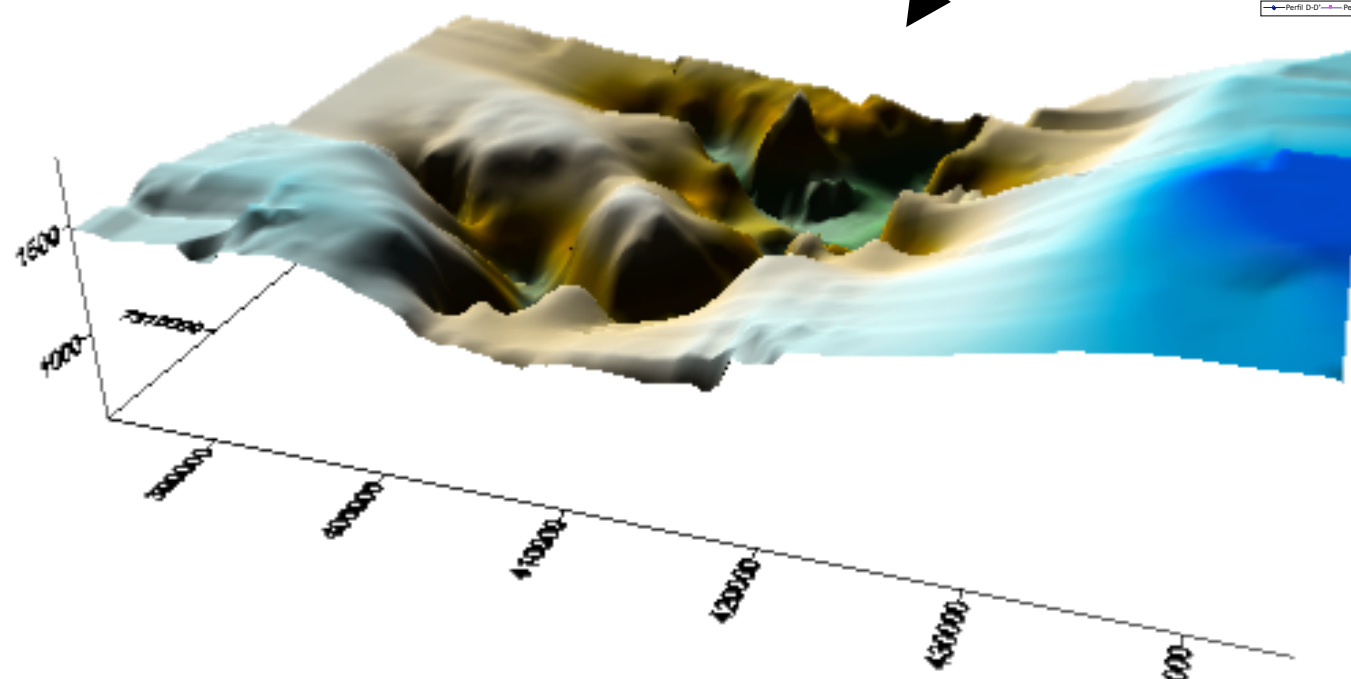
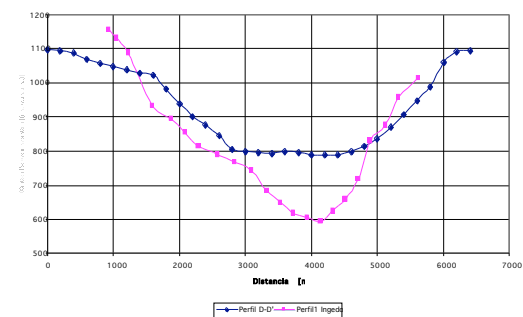
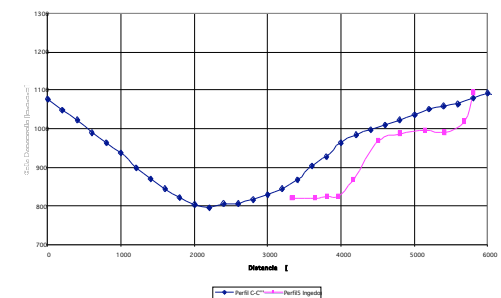
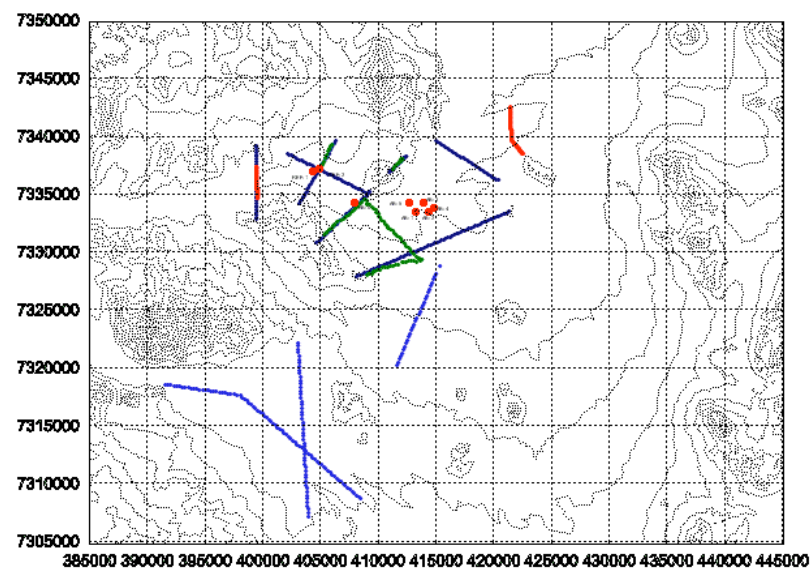
Definición problema

- **Revisión bibliográfica (se requiere datos de):**
 - Descripción del sitio y su historia
 - Caracterización geológica del sitio
 - Caracterización de la hidrología y clima
 - Caracterización de la hidrogeología
 - Características de fuentes de contaminación
 - Vías preferenciales de contaminación
 - Características de migración de contaminantes
 - Receptores
 - Características litológicas de interés
 - Comportamiento observado de contaminantes
 - Ambiente biogeoquímico
 - Incertezas



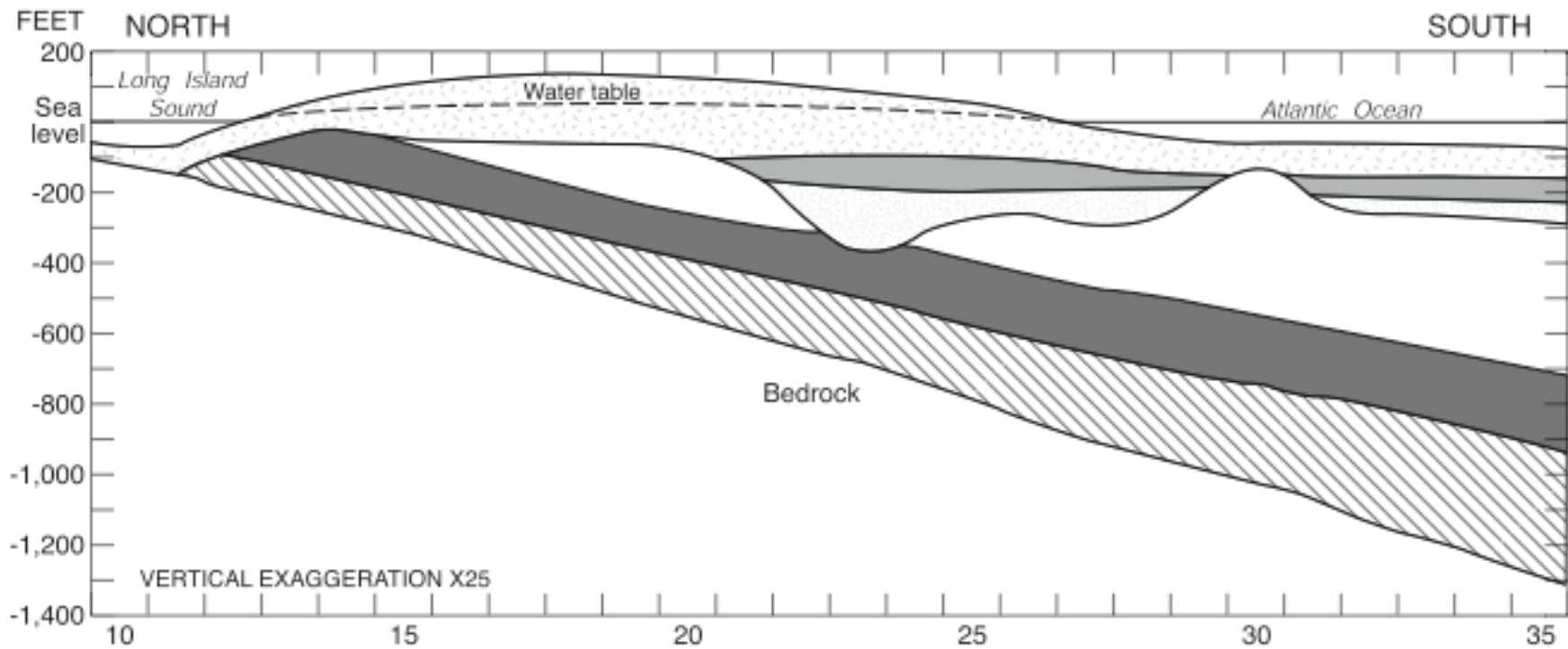
Modelo conceptual

- Unidades hidrogeológicas
 - Perfiles gravimétricos
 - Perfiles hidrogeológicos
 - Topografía superficial
- Balance hídrico
- Sistema de flujo





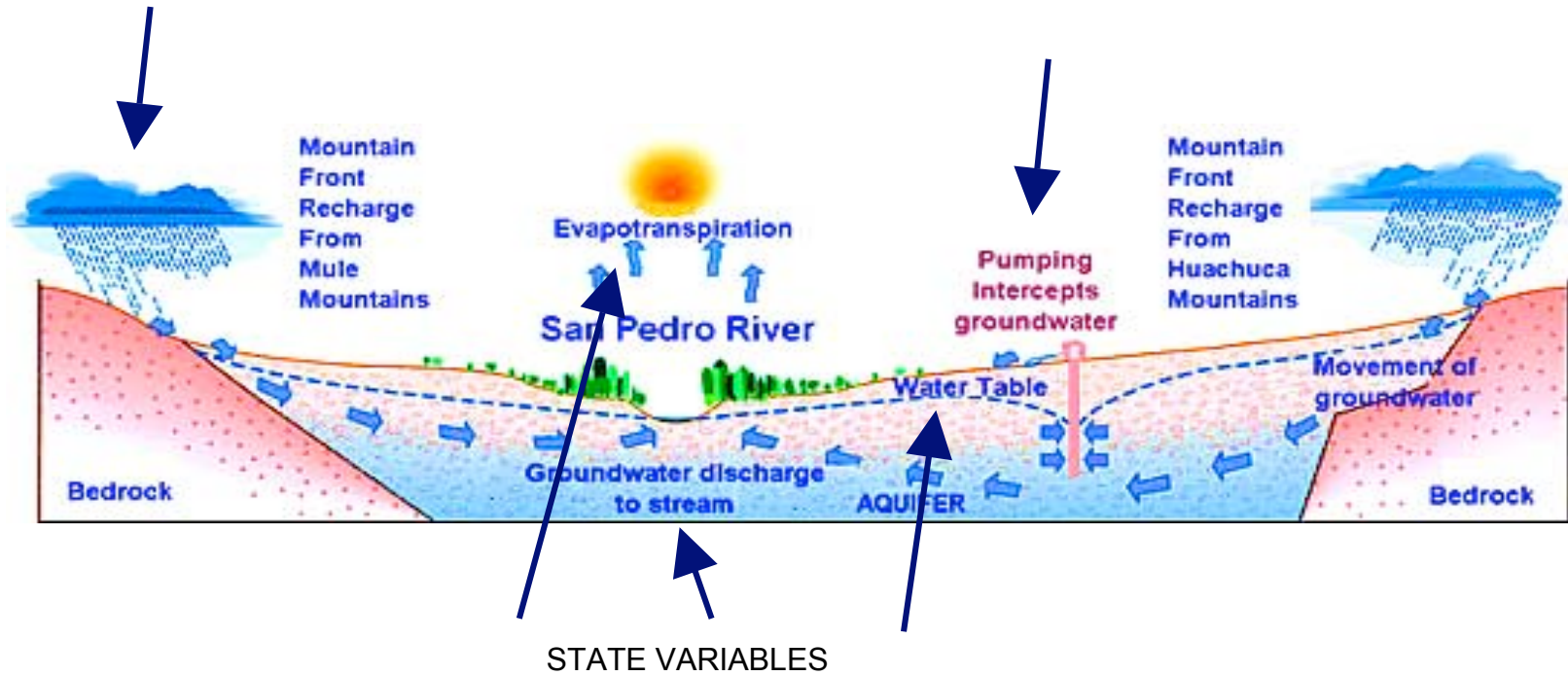
Unidades hidrogeológicas



Sistema de flujo

BOUNDARY CONDITIONS

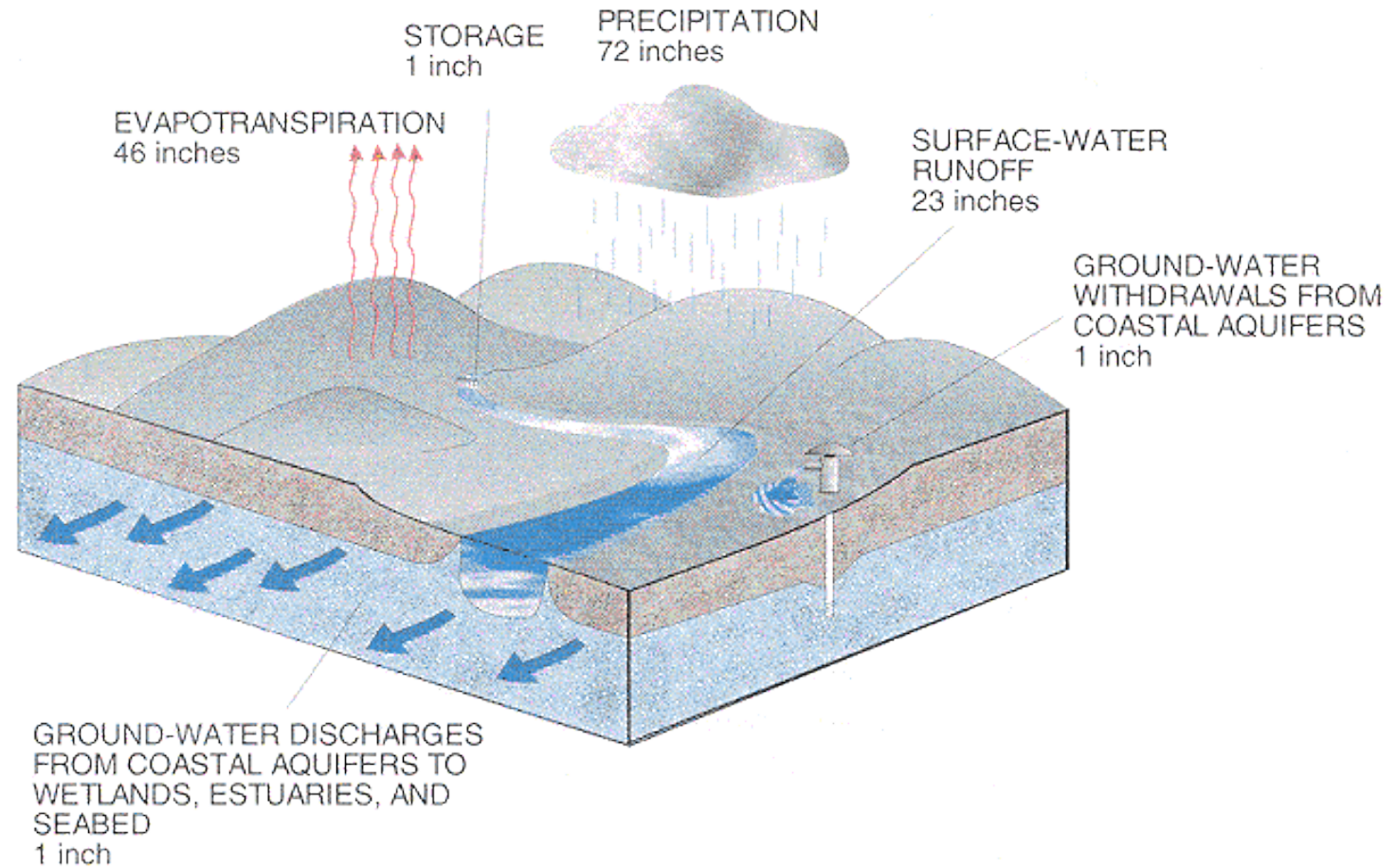
DECISION VARIABLES

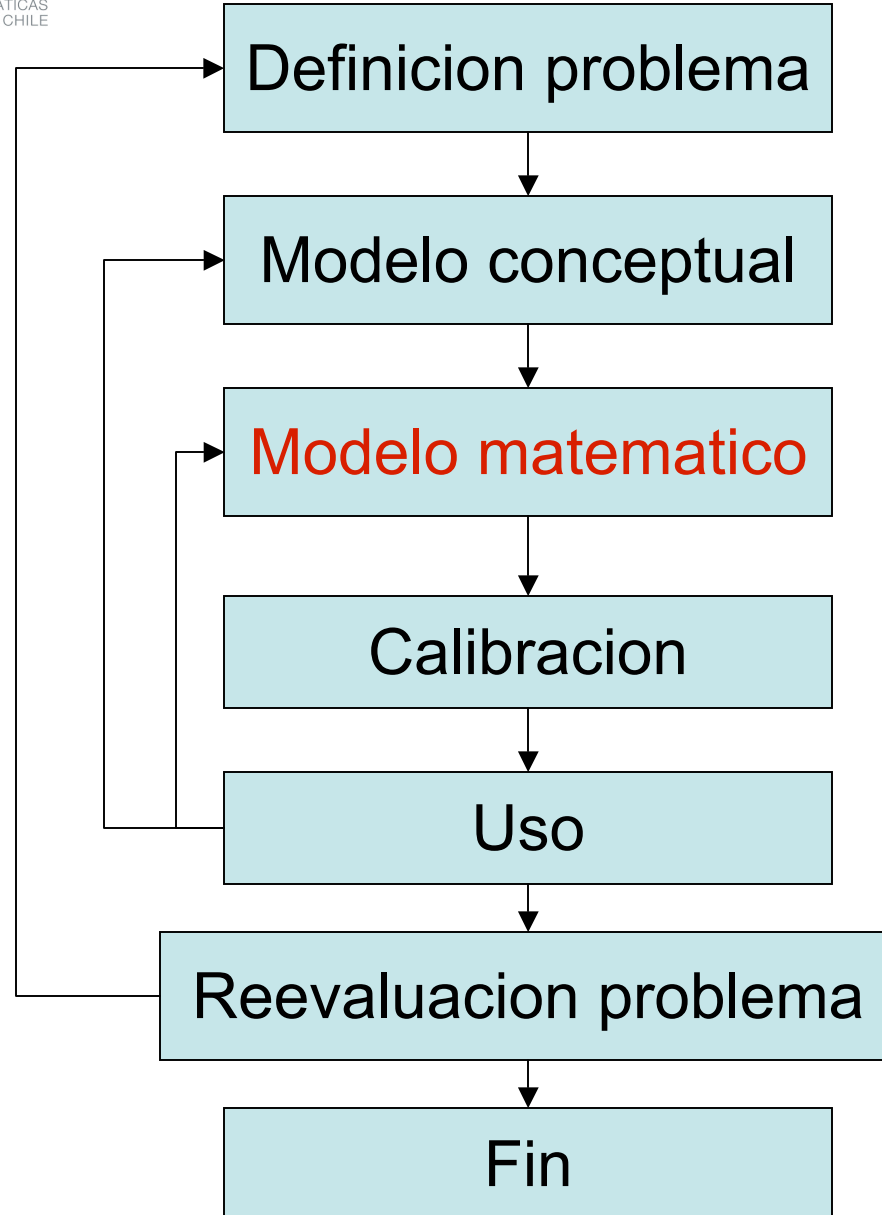


- zonas de recarga
- flujo vertical? (2D vs 3D)



Balance hidrico



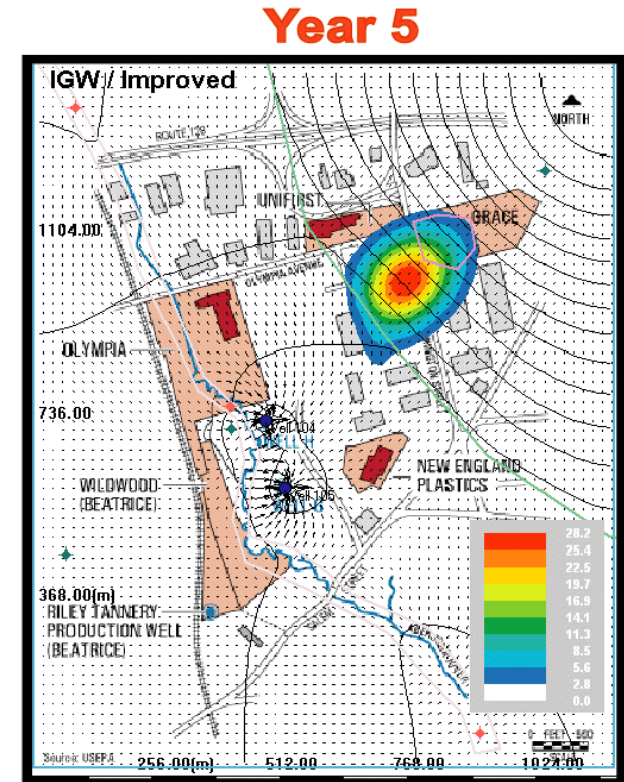


Modelo matematico

- Posibles enfoques
 - Modelo calibrado
 - Modelo hipotetico
 - Analisis de sensibilidad
 - Superposicion
 - Seguimiento de particulas
 - COMBINACIONES

Modelo calibrado

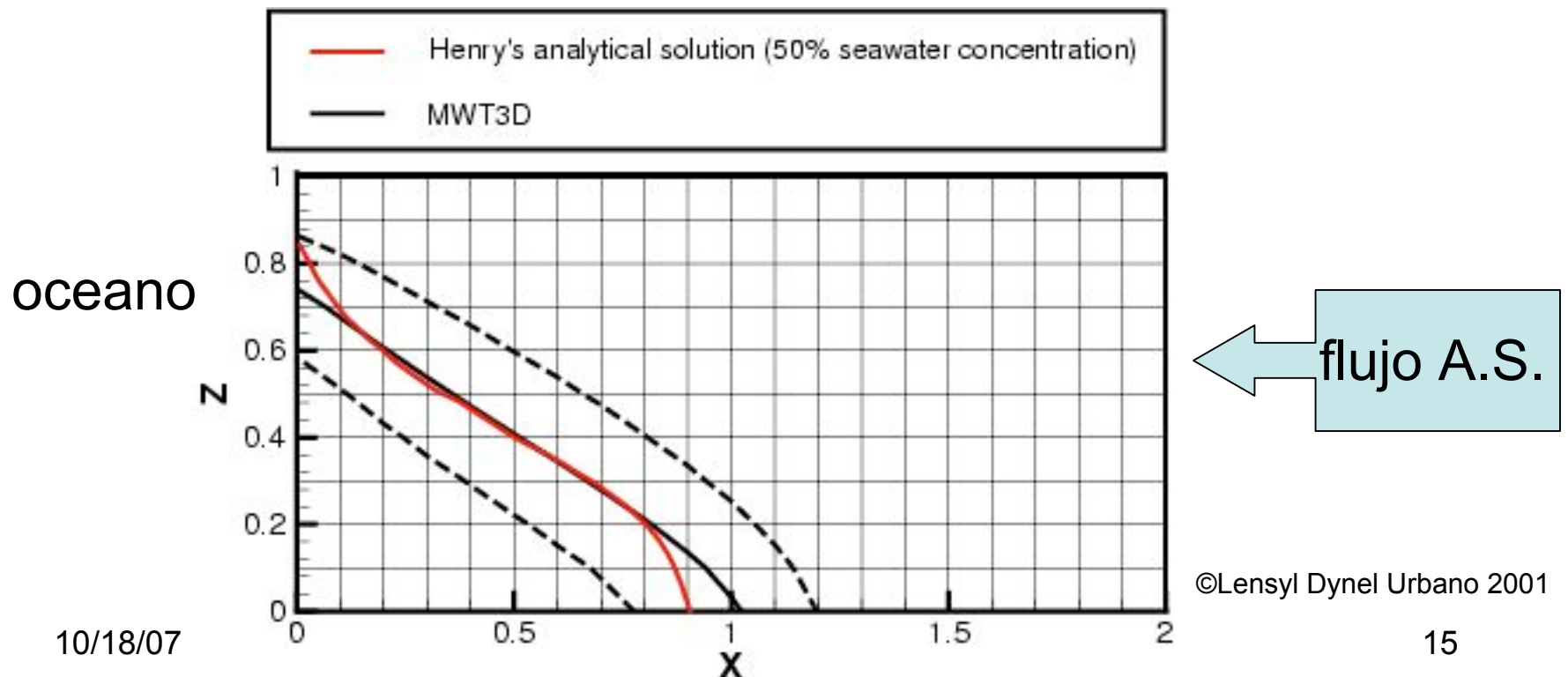
- Una definición limitada de **calibración** es el ajuste de parámetros del modelo para lograr que este reproduzca niveles hidráulicos históricos
- Una definición más amplia incluye evaluar si aspectos clave del modelo son adecuados para reproducir la realidad. El ajuste de parámetros y otros supuestos se hace en paralelo





Modelo hipotético

- No son calibrados
- Poco o nulo esfuerzo de recolección de datos
- Sistema puede ser definido exactamente (no hay incertidumbre)
- Usados para evaluar efectos específicos sobre el sistema de flujo



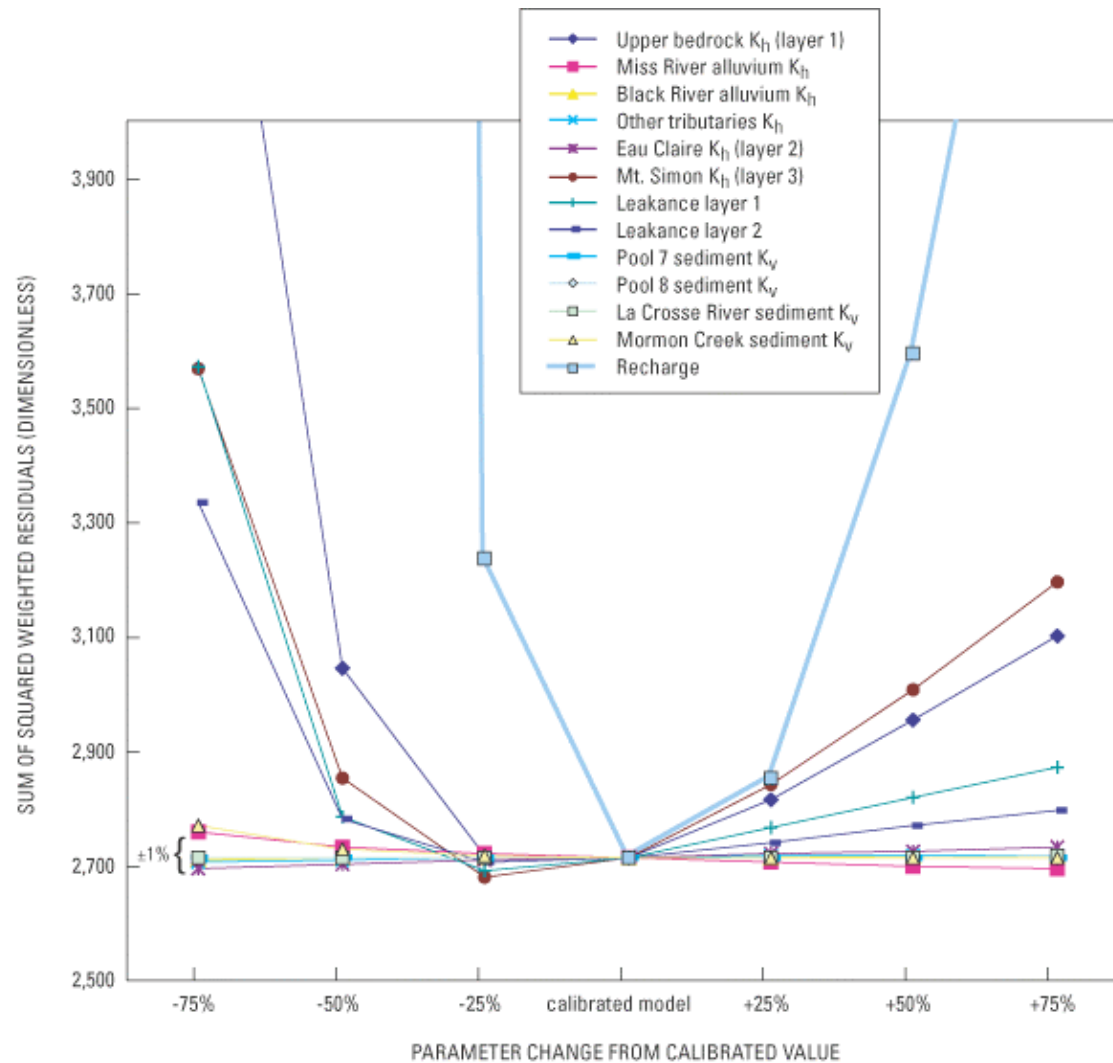


Análisis de sensibilidad

- Evaluar impacto de cambios en parámetros sobre salidas del modelo
- Muy importante para calibración
- Para reducir incertidumbre se requiere que el modelo sea sensible a los parámetros calibrados, sobre todo en áreas de mayor flujo



Análisis de sensibilidad



Análisis de sensibilidad

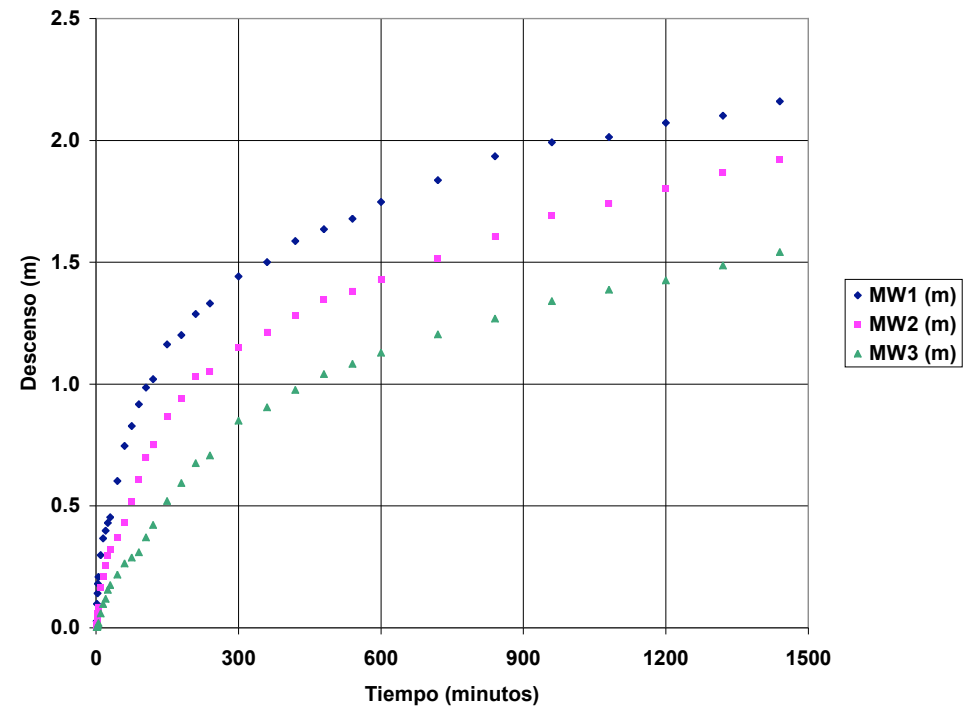
aca figura modelo sun

Superposición

- Modelos que sólo evalúan cambios en las solicitaciones hidráulicas y cambios en las respuestas del sistema
- Ej: **caudal** versus **descenso**
- **Supone comportamiento lineal del modelo**
- Lo anterior se cumple si el descenso esperado del nivel freático $< 10\%$ espesor saturado
- Se usan principalmente para simular pruebas de bombeo (descenso inicial y de borde = 0)



Superposición





fcfm

Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Seguimiento de partículas

- Tipicamente se usa para evaluar rutas de flujo
- También en transporte de contaminantes

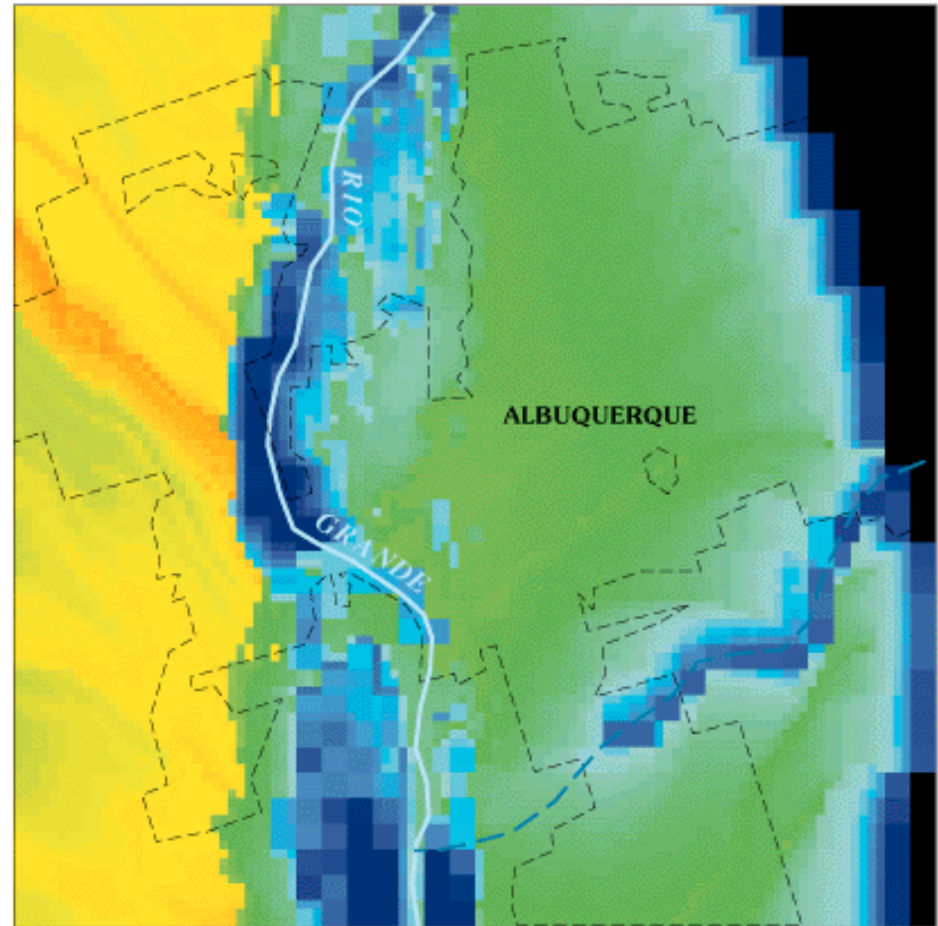
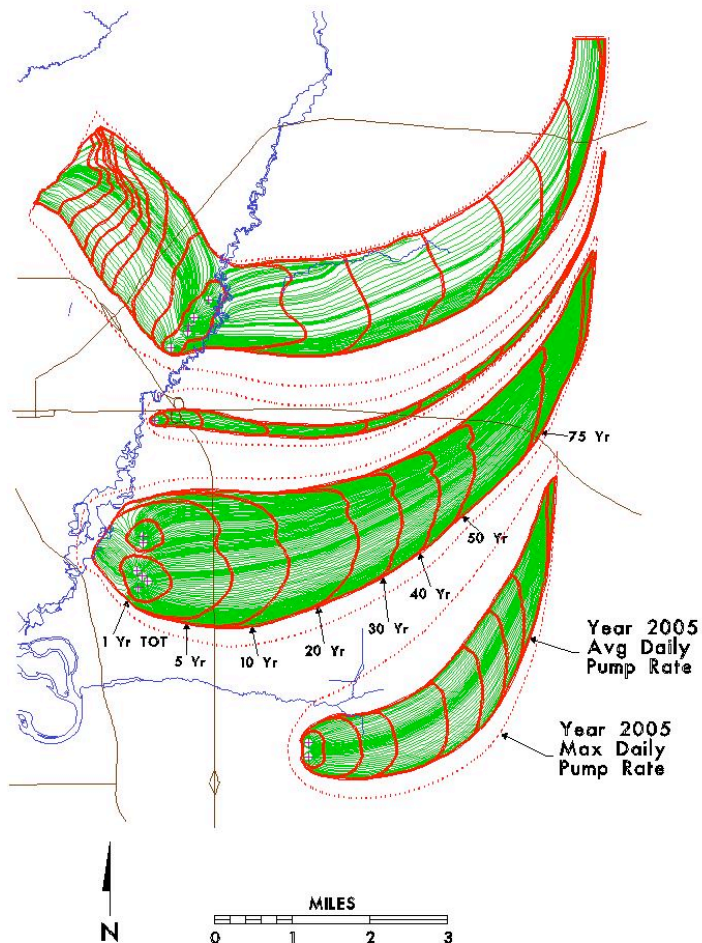
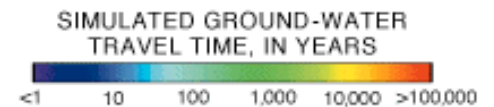


Figure 7. Application of particle tracking to estimate ground-water travel time.



Modelo matemático

- Otra clasificación
 - Espacial: 2D, 3D
 - Temporal: permanente, transciente
- Se debe asegurar que sea cual sea el enfoque utilizado, éste sea consecuente con los objetivos del estudio y con el nivel de información disponible



Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Problem Type	Reason for Undertaking Study	Approach to Model the Problem
Basic Understanding of Ground-Water System	Investigation of hydrologic processes	<ul style="list-style-type: none"> • Hypothetical system model • Superposition • Particle Tracking
	Determination of effective data collection network	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model • Hypothetical system model • Superposition • Sensitivity analysis
	Preliminary model to determine current level of understanding	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model • Hypothetical system model • Superposition • Sensitivity analysis
Estimation of Aquifer Properties	Aquifer test analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model • Superposition
	Determination of aquifer properties	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model
Understanding the Past	Understanding historical development of an aquifer system	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model
	Estimation of predevelopment conditions	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model
Understanding the Present	Determination of the effect of ground-water pumpage on surface-water bodies	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model • Superposition • Particle Tracking
	Determination of sources of water to wells	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model • Particle Tracking
	Determination of responsible parties causing impacts on the system	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model • Particle Tracking
Forecasting the Future	Management of a system	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrated model • Superposition • Particle Tracking

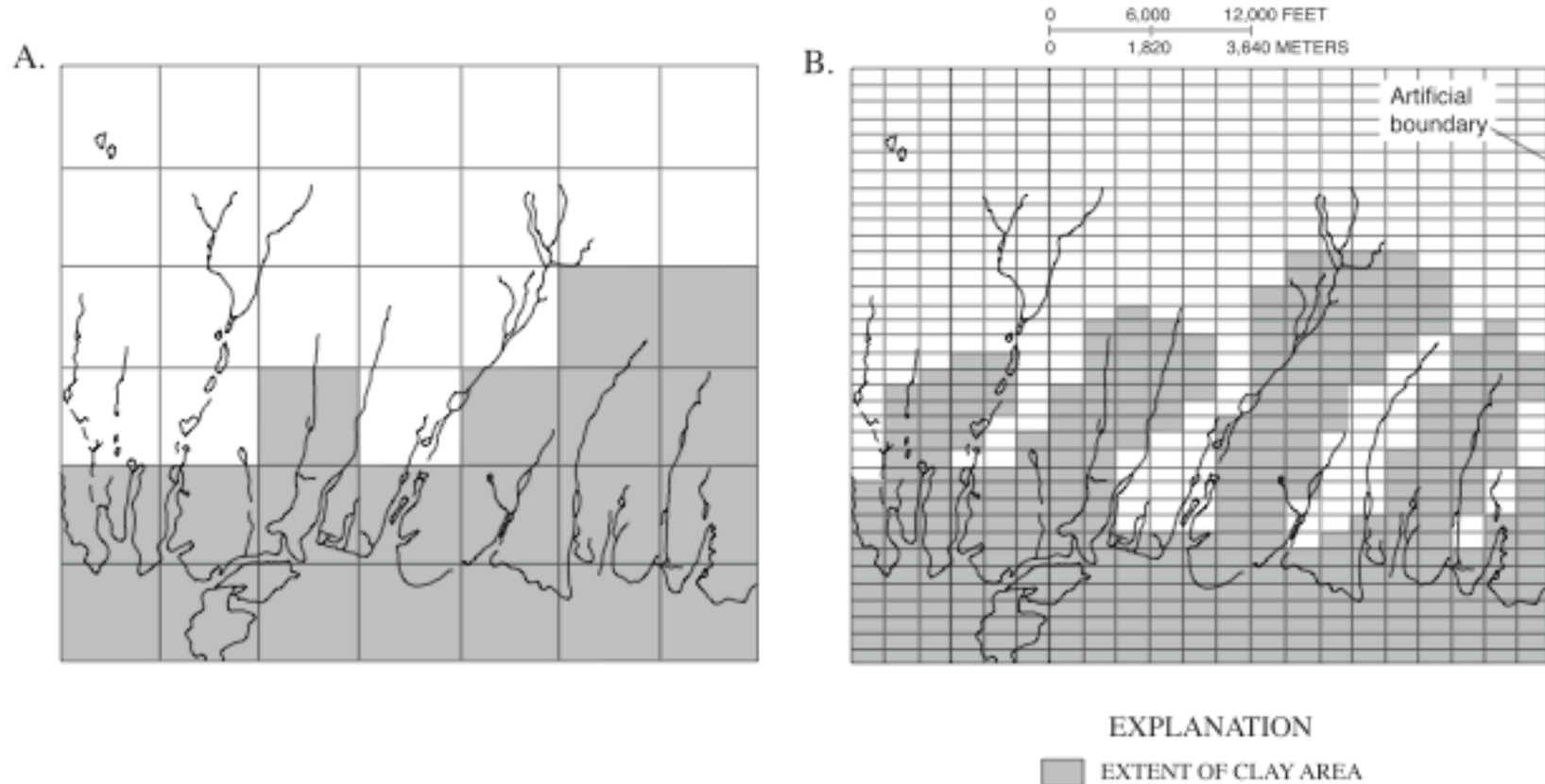
10/18/07

Algunos aspectos importantes

- Discretización y representación del sistema -> celdas, volúmenes, pasos de tiempo
- Condiciones de borde
- Condiciones iniciales
- Precisión de la solución numérica
- Precisión de la calibración en función de los objetivos del estudio



Discretización

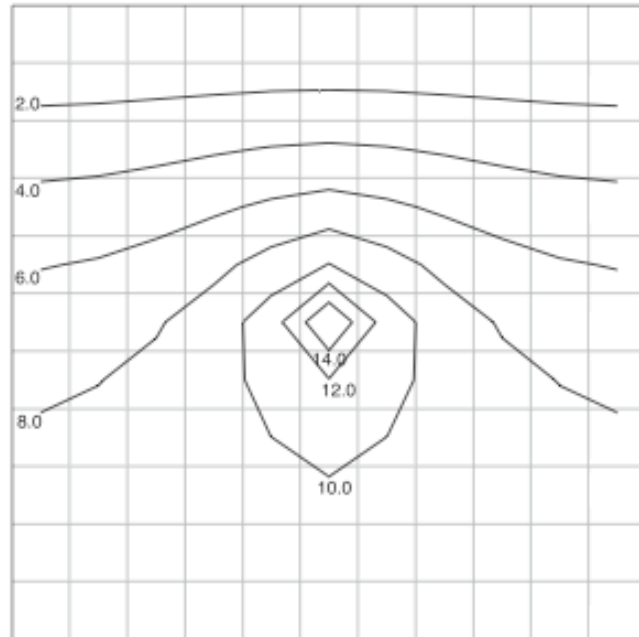


Capacidad para representar variabilidad de propiedades



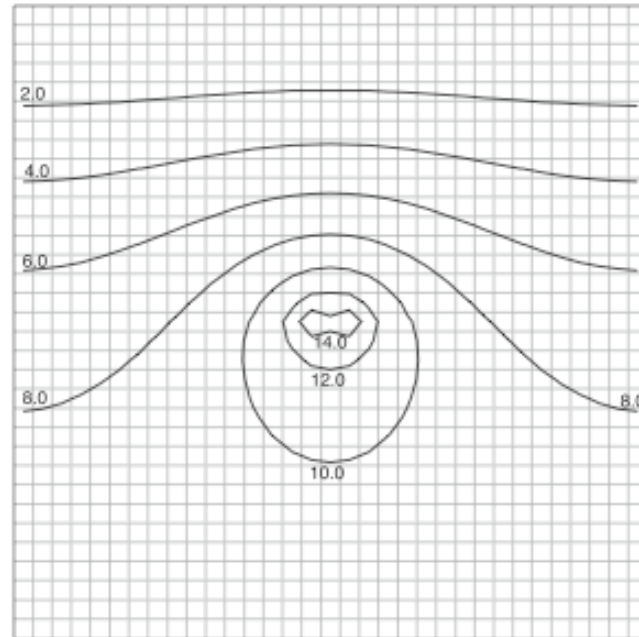
Discretización

A.

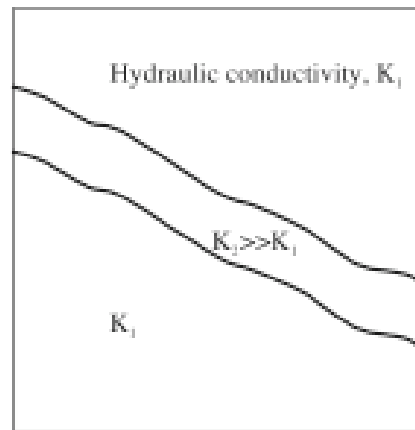


Coarse grid

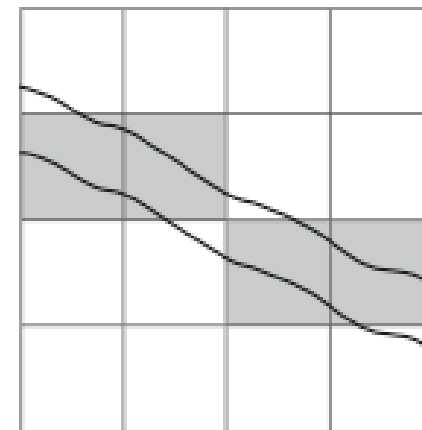
B.



Fine grid



A.

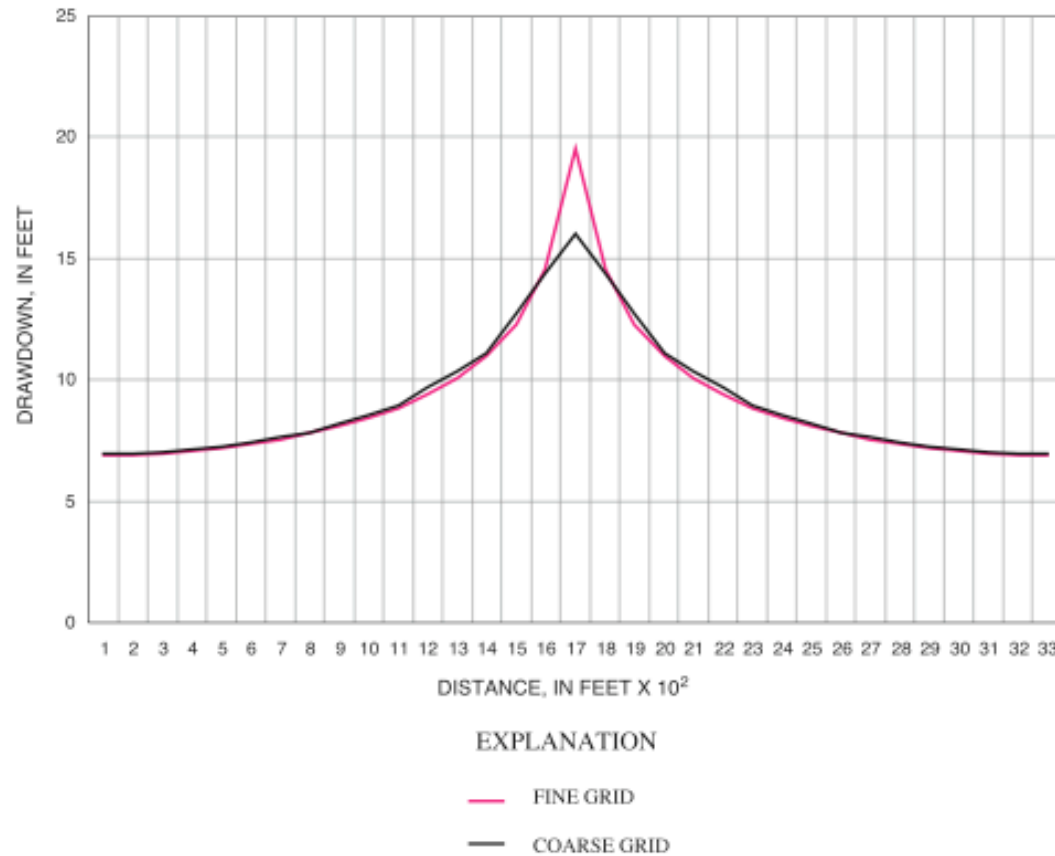


B.

10/18/07



Discretización

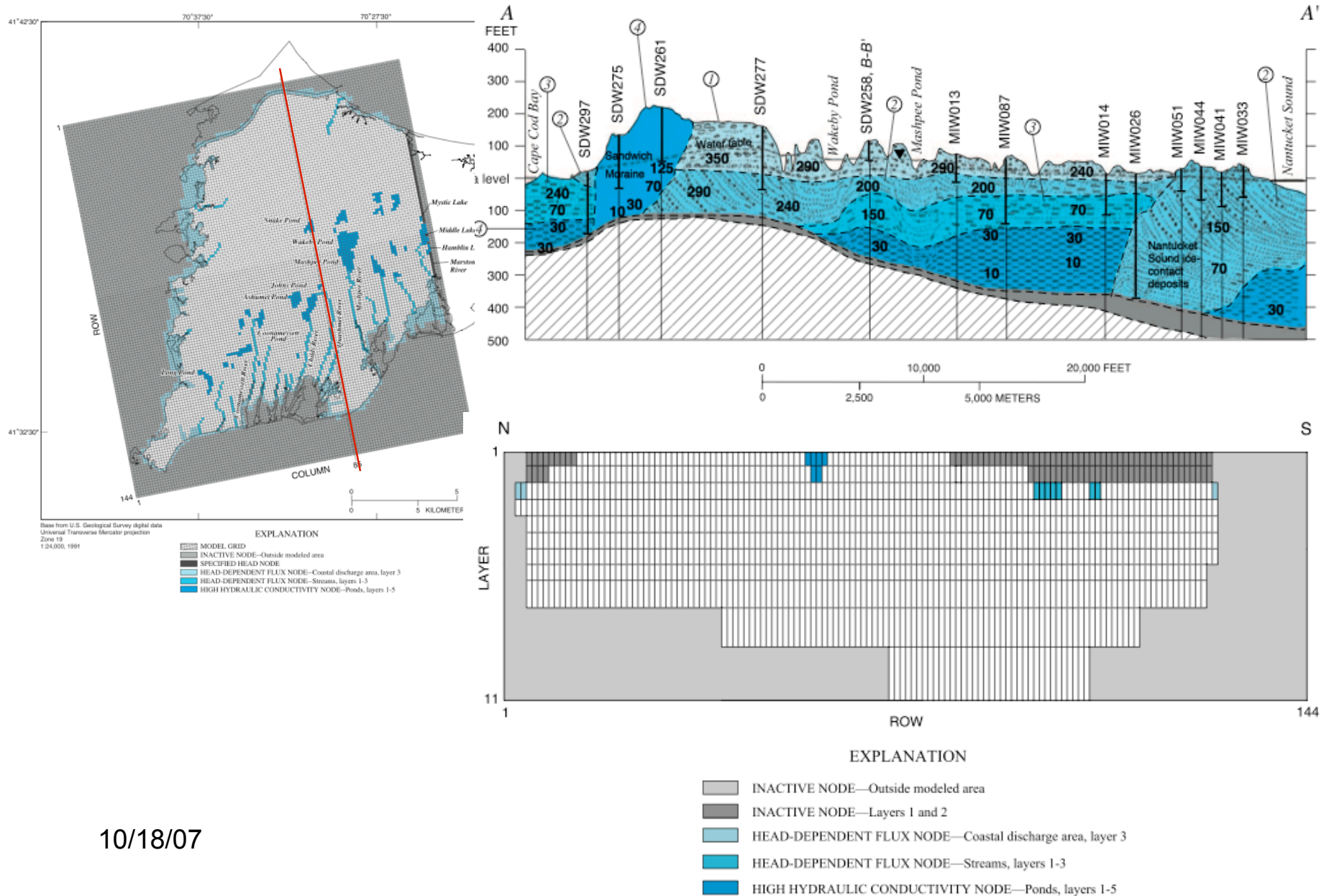




fcfm

Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

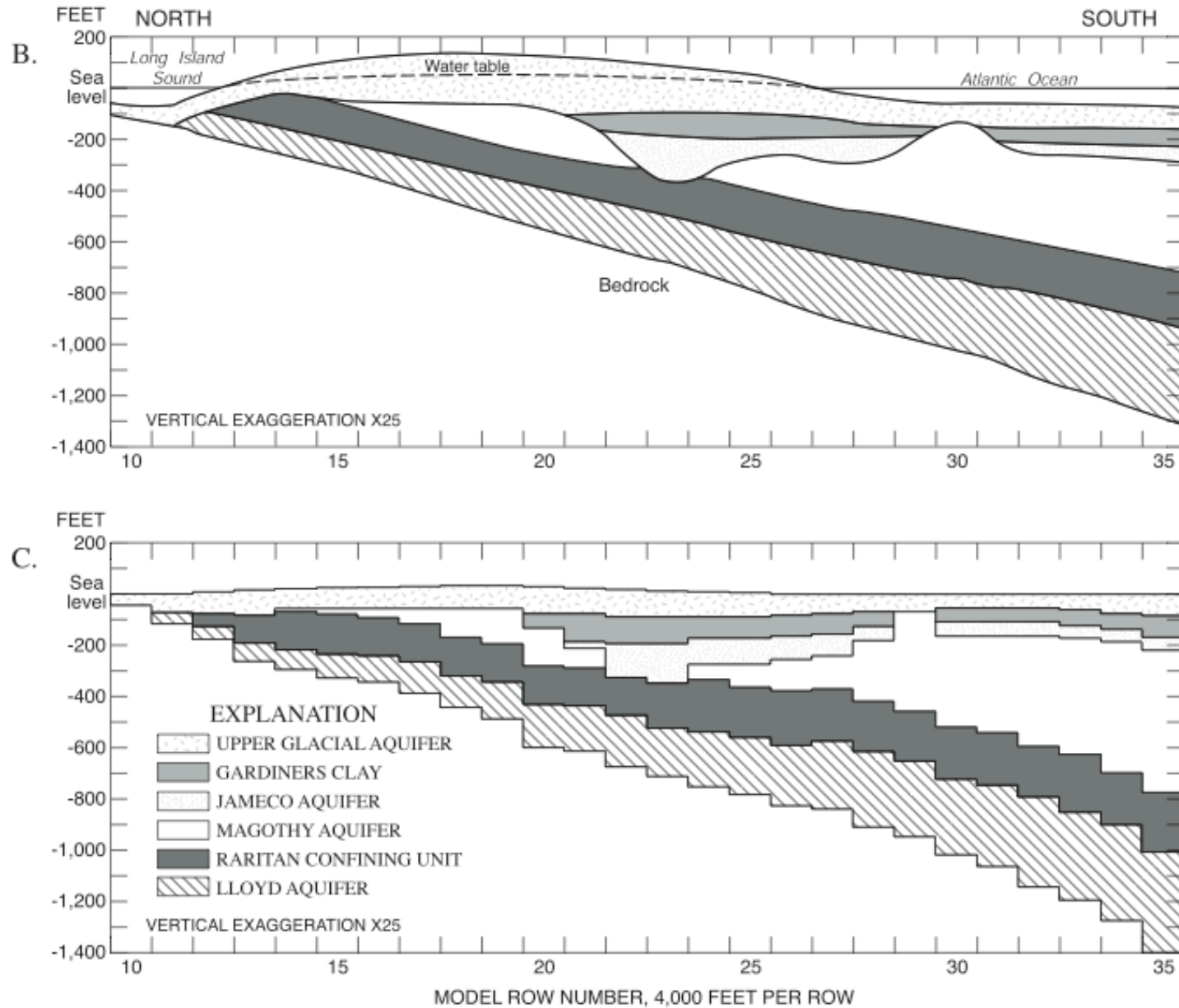
Discretización vertical



10/18/07



Discretización vertical



Discretización

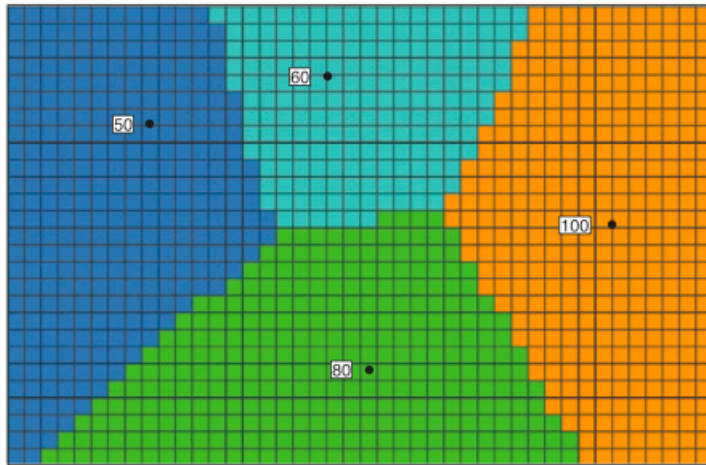
- En resumen
 - Mayor detalle para representar más fidedignamente variabilidad de propiedades
 - Menor detalle disminuye costos de entrada de datos, simulación y análisis de resultados
 - IDEALMENTE: probar distintas discretizaciones y encontrar la óptima (no se hace con frecuencia...)



Representación del sistema

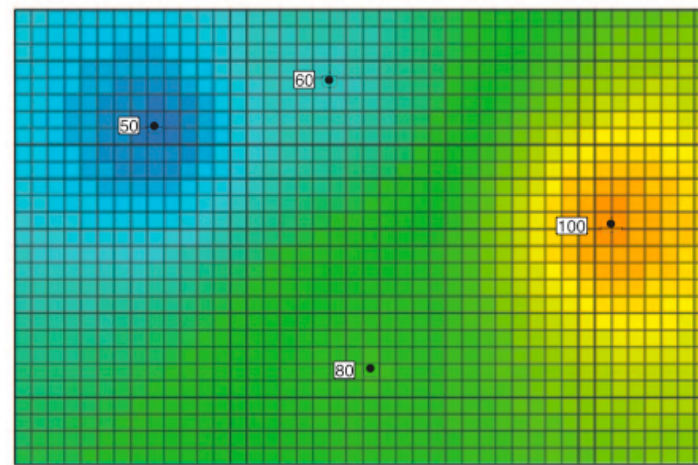
- También se llama *parametrización*

A.



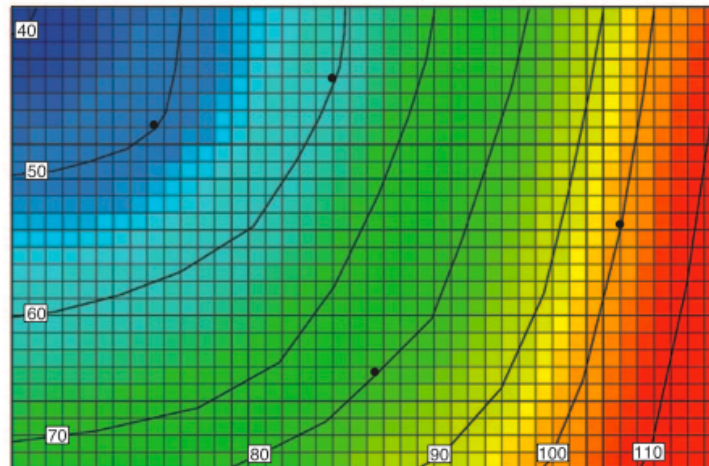
Cell value is the nearest measured value

B.



Cell value is the inverse-distance-squared weighted average of measured values

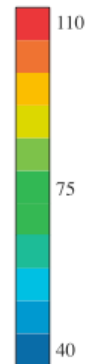
C.



Cell value is the distance-weighted average of the two adjacent contours

EXPLANATION

HYDRAULIC CONDUCTIVITY,
IN FEET PER DAY



— CONTOUR OF HYDRAULIC
CONDUCTIVITY, IN FEET
PER DAY. CONTOUR INTERVAL
IS 10 FEET PER DAY

100 • DATA POINT LOCATION AND
VALUE OF HYDRAULIC
CONDUCTIVITY, IN FEET
PER DAY

10/18/07

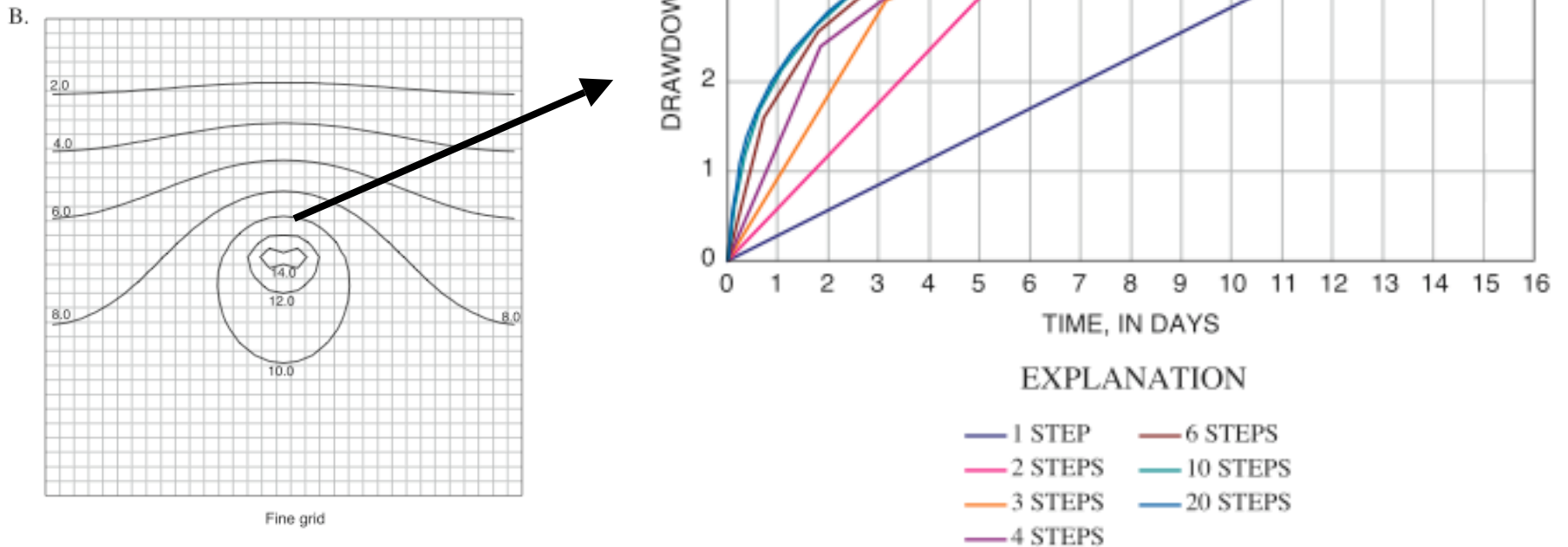
31

Representación del sistema

- Ojo con representación del almacenamiento!
 - celdas confinadas, libres o convertibles?
 - MODFLOW se preocupa de eso por nosotros :)
 - Verificar siempre qué coeficiente de almacenamiento se usó en la simulación



Discretización temporal



Algunos aspectos importantes

- Discretización y representación del sistema -> celdas, volúmenes, pasos de tiempo
- Condiciones de borde
- Condiciones iniciales
- Precisión de la solución numérica
- Precisión de la calibración en función de los objetivos del estudio



Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Condiciones de borde

- Carga conocida
- Flujo dependiente de la carga
- Flujo conocido

- Rios, lagos, drenes
- También recarga, pozos pueden ser vistos como condición de borde

Condiciones de borde

- Especificarlas en relación con elementos naturales existentes
- Definen en parte la extensión del modelo
- Si no hay cercanas, agregar c.b. artificial. VERIFICAR en salidas del modelo que carga no varía significativamente

Algunos aspectos importantes

- Discretización y representación del sistema -> celdas, volúmenes, pasos de tiempo
- Condiciones de borde
- **Condiciones iniciales**
- Precisión de la solución numérica
- Precisión de la calibración en función de los objetivos del estudio

Condiciones iniciales

- Condición de borde para soluciones transcientes
- Diferentes a “solución inicial” en régimen permanente
- Errores surgen cuando la condición inicial no es una solución válida del modelo



condiciones iniciales: enfoques

- Si período previo es permanente -> simular régimen permanente y usar dicha solución como condición inicial
- Si período previo es transiente o sistema se comporta en forma cíclica (estacional)
 - una opción posible es a través del cálculo de la constante de tiempo del sistema

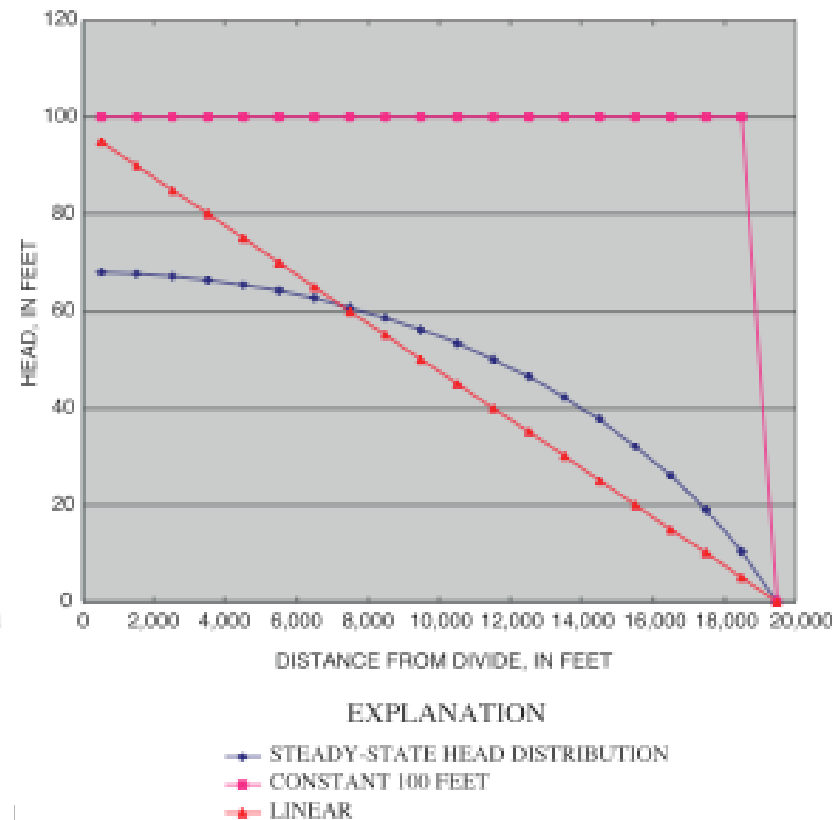
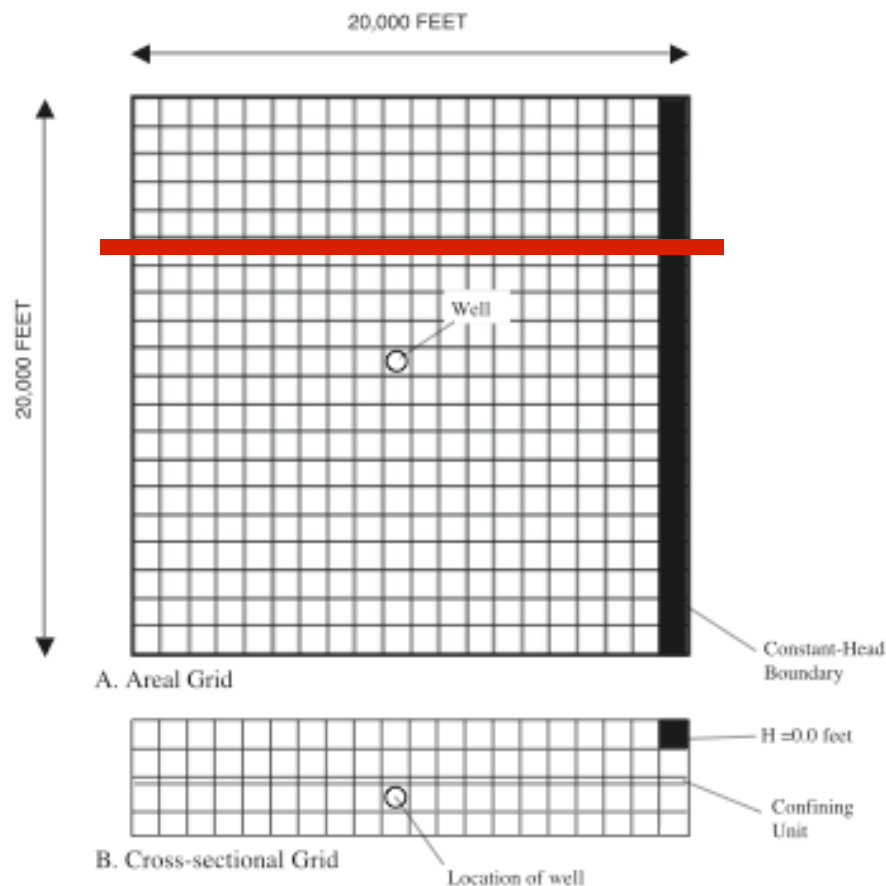
confinado: $T = \frac{S_s L^2}{K}$

libre: $T = \frac{S_y L^2}{bK}$



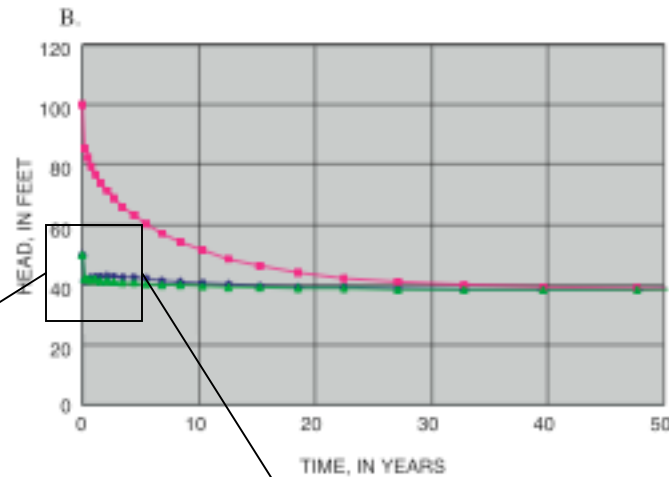
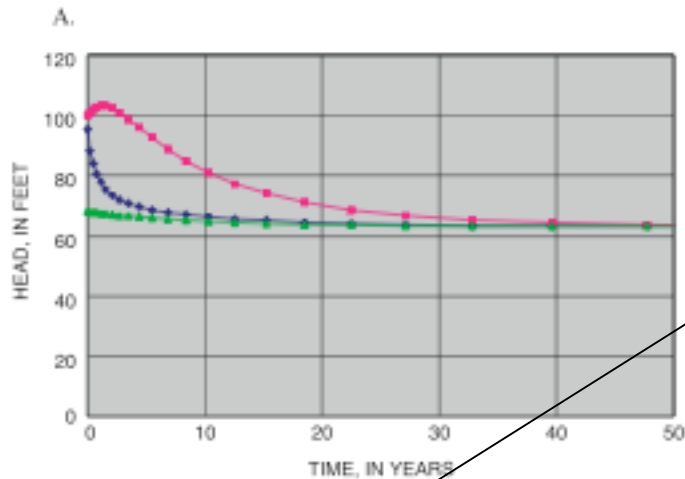
condiciones iniciales

- el efecto de una condición transiente no es observable si el tiempo transcurrido es (significativamente) mayor que la constante de tiempo





$T = 44$ años (constante de tiempo)



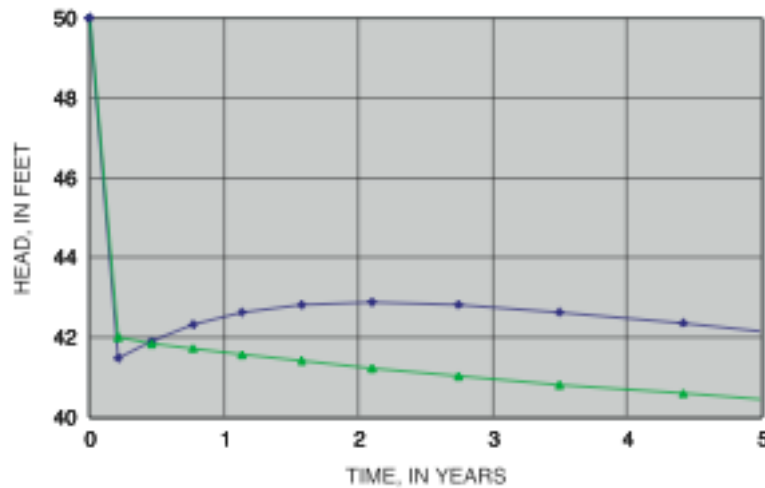
EXPLANATION

INITIAL CONDITIONS

— LINEAR

— CONSTANT 100 FEET

— STEADY-STATE HEAD
DISTRIBUTION

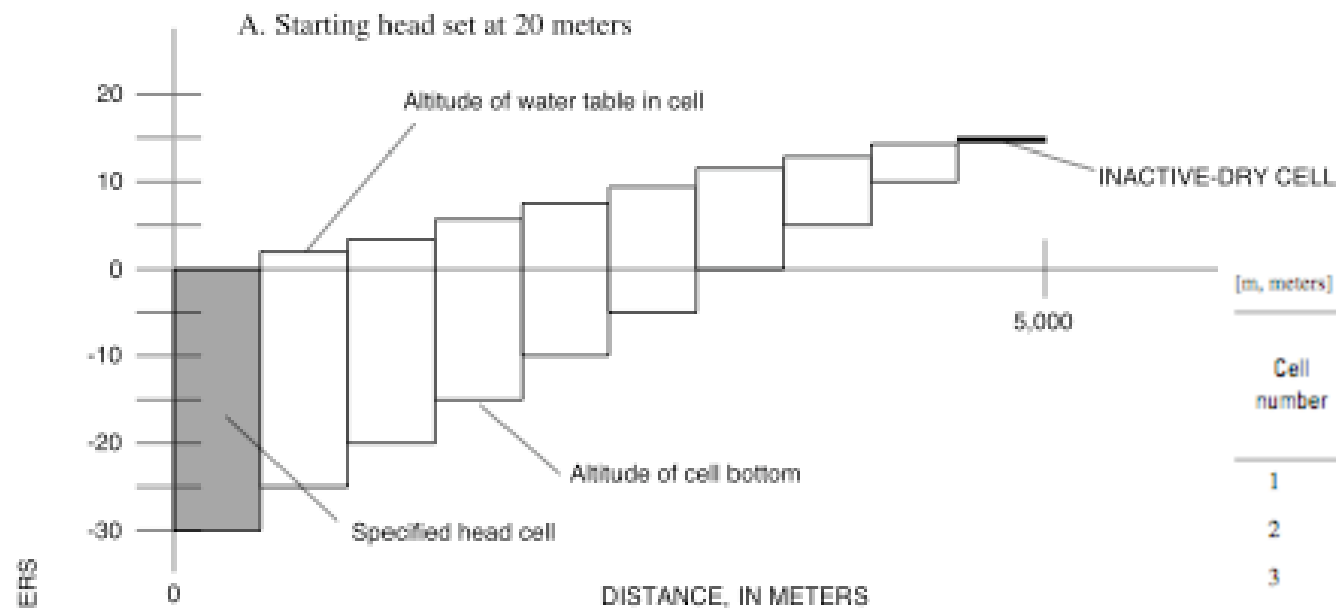


Algunos aspectos importantes

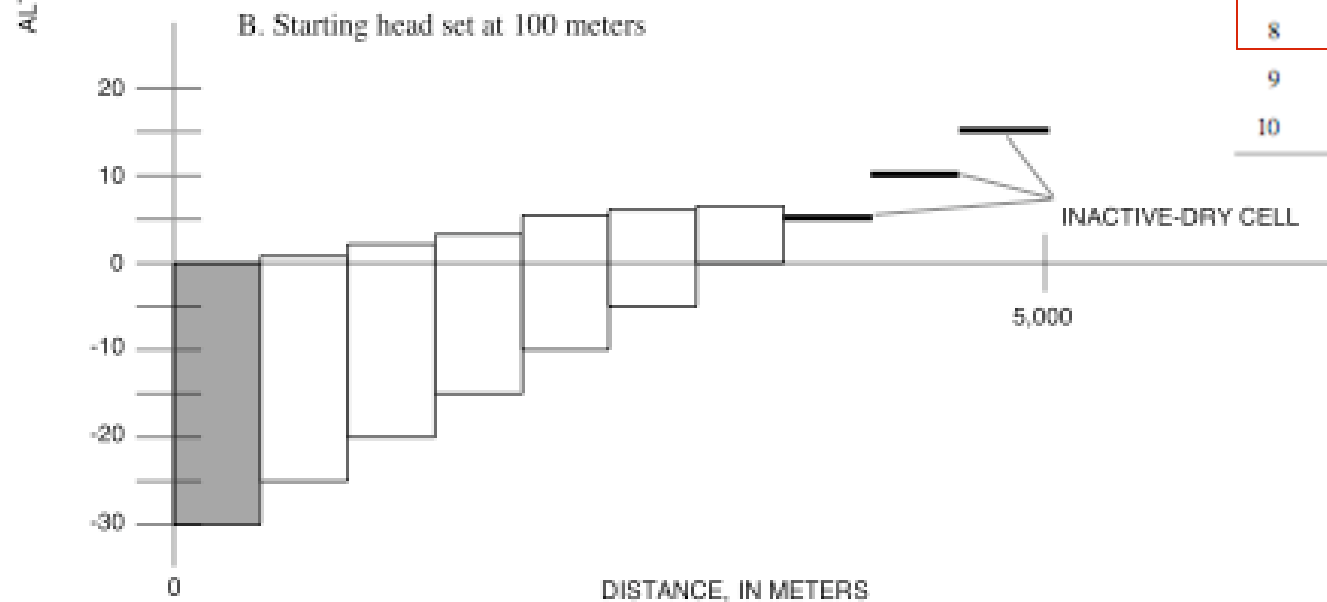
- Discretización y representación del sistema -> celdas, volúmenes, pasos de tiempo
- Condiciones de borde
- Condiciones iniciales
- **Precisión de la solución numérica**
- Precisión de la calibración en función de los objetivos del estudio

Precisión de la solución numérica

- Criterios
 - Cambio máximo en carga hidráulica (solución) entre iteraciones
 - Error en balance de masas (ojalá menos de 0.5%)
- Aún cuando estos criterios se cumplan podría haber errores en la solución. Riesgo se magnifica cuando el modelo no incluye condiciones de borde tipo Dirichlet (carga conocida)

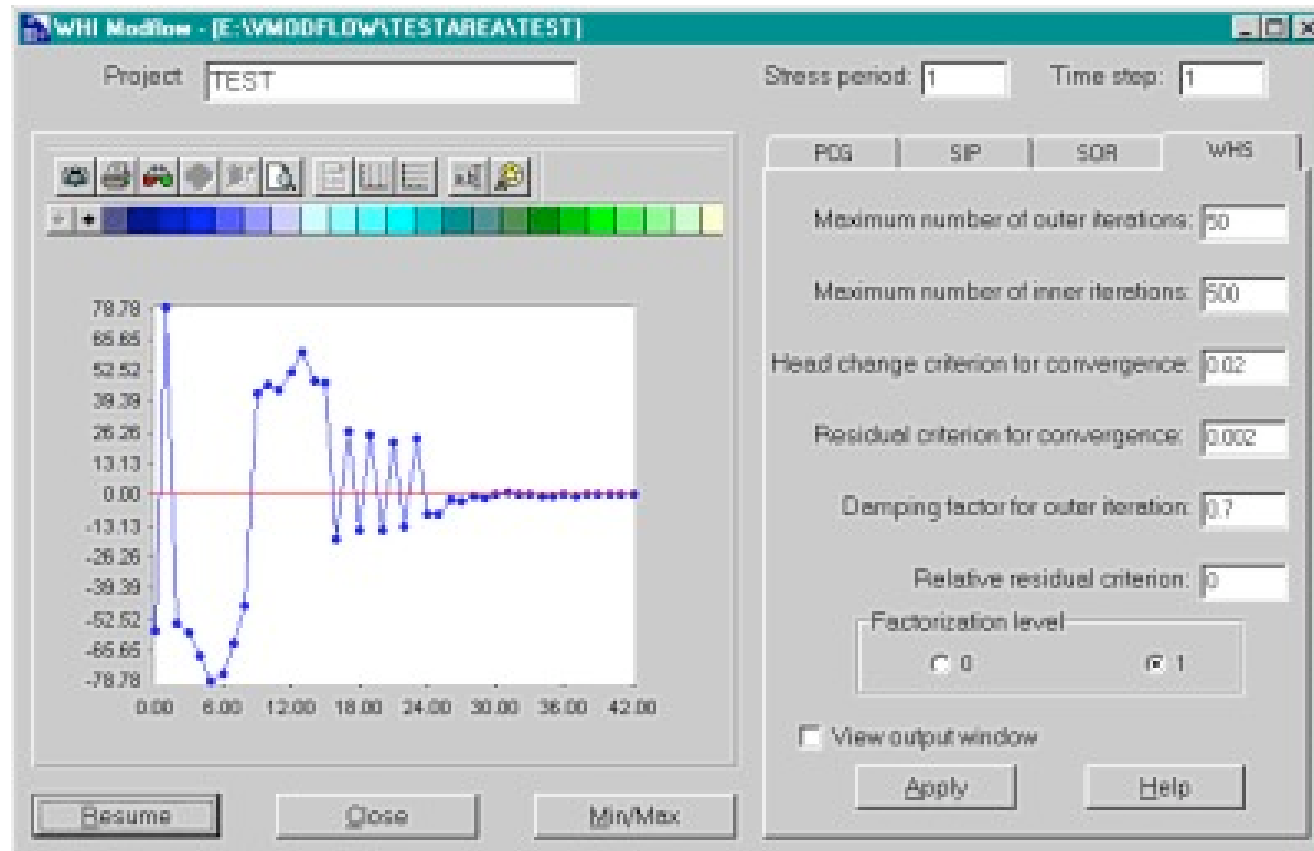


Cell number	Bottom elevation of cell	Head calculated with the initial head at 20 m	Head calculated with the initial head at 100 m
1	-30.0	0.00	0.00
2	-25.0	1.93	1.46
3	-20.0	3.83	2.86
4	-15.0	5.68	4.17
5	-10.0	7.49	5.38
6	-5.0	9.24	6.42
7	0.0	10.90	7.20
8	5.0	12.45	Dry
9	10.0	13.81	Dry
10	15.0	Dry	Dry

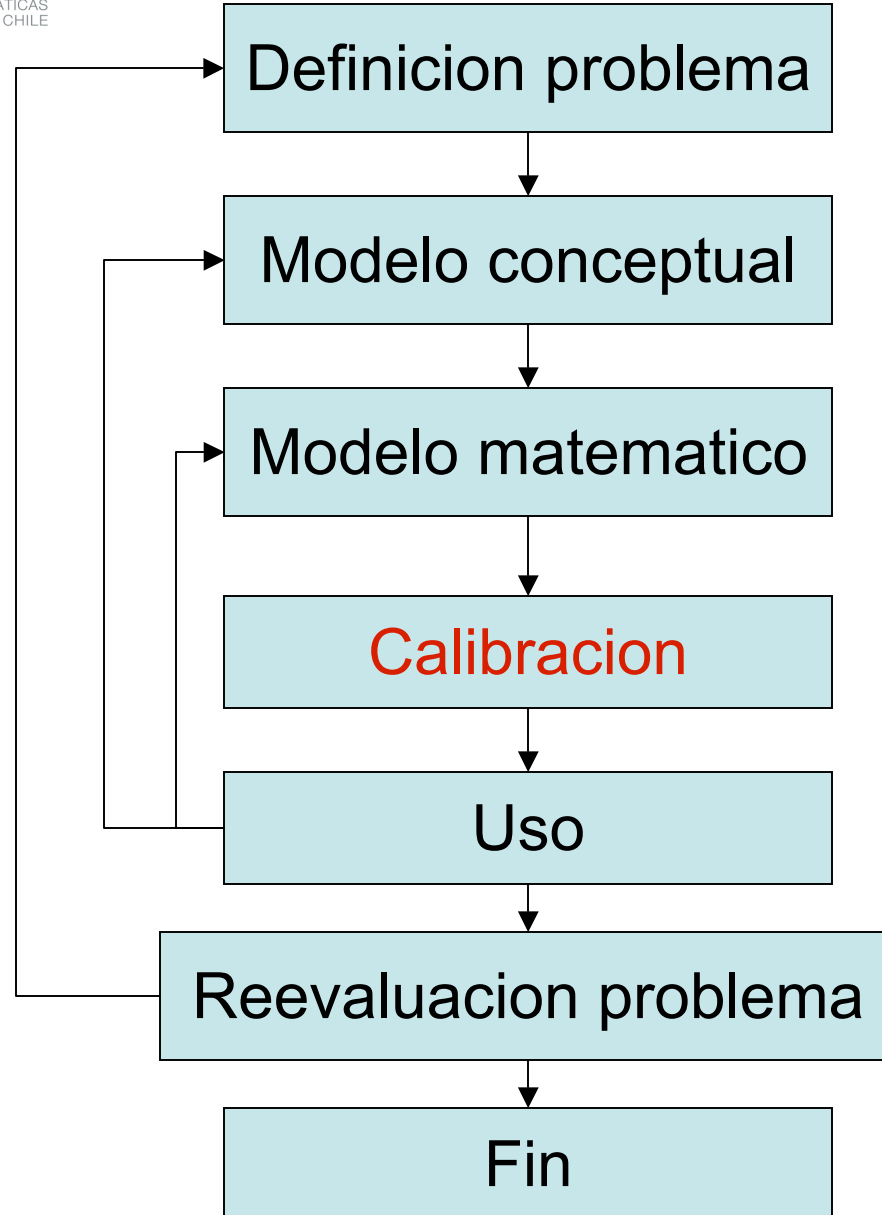


convergencia sol. numérica

- Típicamente no es un problema
- Es algo a tener en cuenta, sin embargo, en modelos no lineales (libres) o que no convergen suavemente



10/18/07



Algunos aspectos importantes

- Discretización y representación del sistema -> celdas, volúmenes, pasos de tiempo
- Condiciones de borde
- Condiciones iniciales
- Precisión de la solución numérica
- Precisión de la calibración en función de los objetivos del estudio

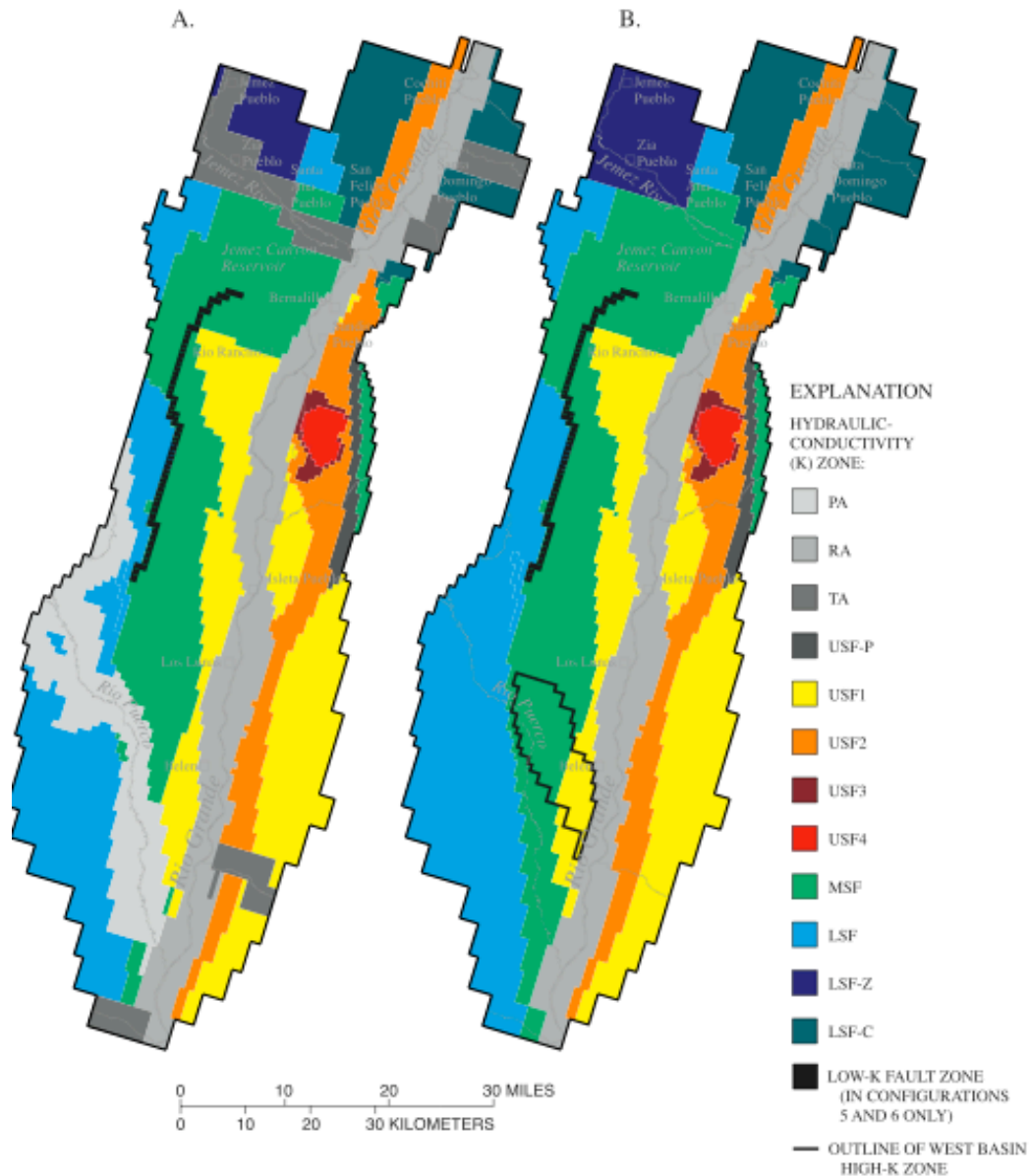
Calibración

- Ajuste de parámetros del modelo para reproducir observaciones
- Algunos modelos no requieren calibración (hipotéticos)
- Típicamente no incluye evaluación del modelo conceptual...
- Un modelo adecuadamente calibrado puede conducir a predicciones erróneas (calibración es condición necesaria, pero no suficiente)



Calibración

- Encontrar valores para parámetros correspondientes a “zonas” del dominio





calibración

- Un enfoque más general: número de zonas, geometría y valores óptimos

