

**DIPLOMADOS EN
MEDIO AMBIENTE
2007**



**DIPLOMADO EN CONTAMINACION DE AGUAS
MODELOS DE CALIDAD DE AGUAS**

Relator:
Carlos Espinoza
Ingeniero Civil, Ph.D.
Académico Universidad de Chile



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA DE POSTGRADO



- **INTRODUCCION**
- **CONCEPTO DE MODELO**
- **UTILIDAD DE LOS MODELOS**
- **TIPOS DE MODELOS**
- **DESARROLLO DE MODELOS**
- **ASPECTOS COMPLEMENTARIOS**
- **EJEMPLO DE MODELOS**



MODELACION COMO HERRAMIENTA DE GESTION

La **gestión o manejo de recursos hídricos** requiere de herramientas adecuadas para estimar las consecuencias de las decisiones adoptadas, tanto en términos económicos, técnicos, como ambientales.

Una parte esencial de un adecuado proceso de toma de decisiones implica conocer la **respuesta del sistema** antes de llevar a cabo la **acción o estrategia** seleccionada.

Modelación numérica de recursos hídricos (flujo y transporte) es **una herramienta** utilizada para informar al tomador de decisiones sobre las consecuencias de determinada acción sobre la cantidad y calidad del recurso hídrico.

INTRODUCCION



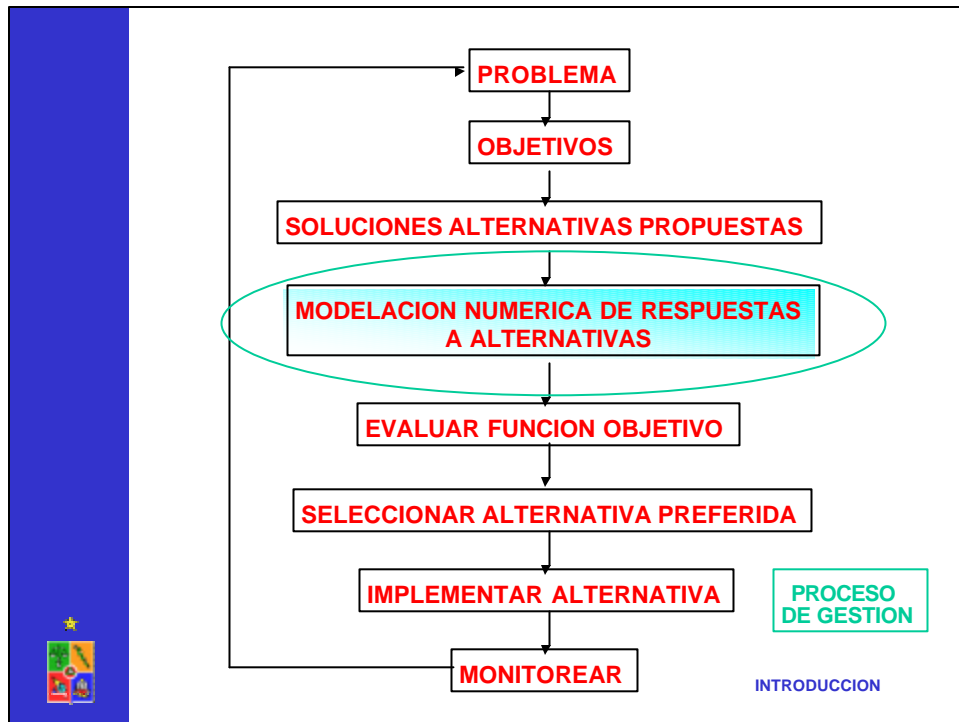
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE SANTIAGO



PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LOCALIDADES

UTILIDAD DE MODELOS





- INTRODUCCION
- **CONCEPTO DE MODELO**
- UTILIDAD DE LOS MODELOS
- TIPOS DE MODELOS
- DESARROLLO DE MODELOS
- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS
- EJEMPLO DE MODELOS



Un mapa carretero de Bolivia que muestra una red de carreteras. Las carreteras están representadas por líneas de diferentes colores y espesores. Una leyenda en la parte superior derecha indica:

- ROSPERFUNDIAS
- ROSPERFUNDIAS
- ROSPERFUNDIAS
- ROSPERFUNDIAS
- ROSPERFUNDIAS

 El mapa incluye etiquetas para ciudades como Santa Cruz, Cochabamba, Sucre, y Potosí, así como para departamentos como Beni, Pando, y Chuquisaca.

¿QUE ES UN MODELO?

Una representación **simplificada** y **seleccionada** de un sistema real, la que reproduce en **forma aproximada** las **relaciones causa-efecto** de interés.

MAPA CARRETERO

CONCEPTO DE MODELO

- INTRODUCCION
- **CONCEPTO DE MODELO**
 - **MODELO DE CALIDAD DE AGUAS**
 - **MODELO DE AGUAS SUBTERRANEAS**
- UTILIDAD DE LOS MODELOS
- TIPOS DE MODELOS
- DESARROLLO DE MODELOS
- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS
- EJEMPLO DE MODELOS

¿QUE ES UN MODELO DE CALIDAD DE AGUAS?

Una **representación matemática** del transporte y destino de compuestos descargados a cuerpos de agua, que permite predecir la concentración de estos compuestos en forma temporal y espacial ante escenarios hidrológicos y de descarga.

Utiliza las **ecuaciones** que gobiernan el flujo y conservación de la masa para simular flujo de agua y transporte de sustancias contaminantes.

Se basa en **observaciones** del “mundo real” y percepciones del sitio seleccionado.



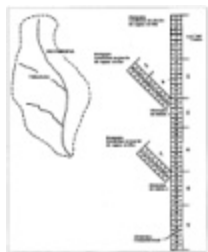
CONCEPTO DE MODELO

Los modelos matemáticos de calidad de aguas pueden ser de tipo:

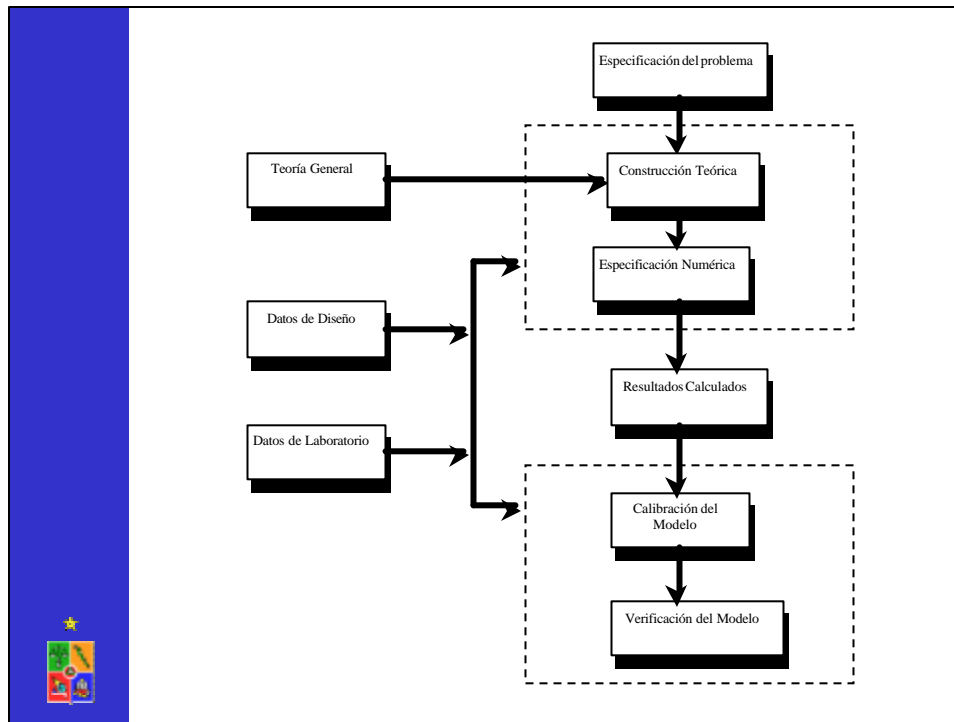
Analítico: se basa en ecuaciones o expresiones matemáticas que describen en forma “exacta” la variación espacial o temporal de la concentración de un determinado compuesto.

$$C(x) = C_0 + a \cdot x$$

Númerico: relaciones principales entre elementos relevantes de un sistema se reemplazan por relaciones numéricas algebraicas que las representan en forma aproximada.



CONCEPTO DE MODELO



POTENCIALES APLICACIONES DE MODELOS DE CALIDAD DE AGUA

Utilidad predictiva

Evaluación del impacto de las decisiones de manejo en una cuenca.
Caracterización o conceptualización de problemas complejos.

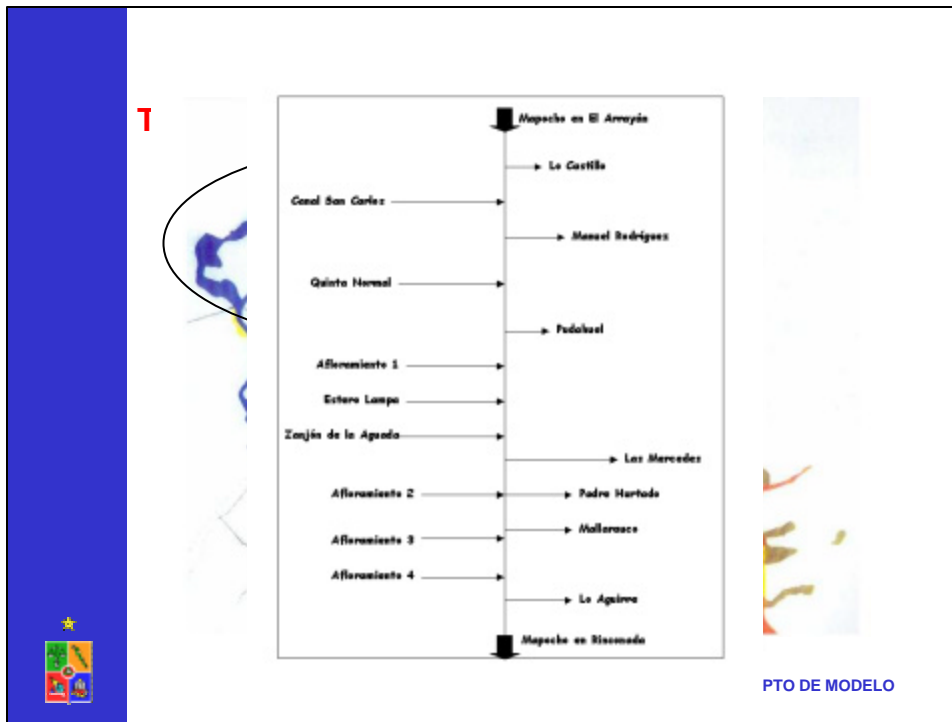
Herramienta de Planificación

Establecimiento de objetivos de calidad ambiental.
Establecimiento de objetivos de calidad de emisiones para alcanzar objetivos de utilidad ambiental.

Otros usos

Evaluación de riesgos de descargas accidentales.
Evaluación de probabilidades de ocurrencia de eventos de contaminación.

CONCEPTO DE MODELO



- INTRODUCCION
- **CONCEPTO DE MODELO**
 - MODELO DE CALIDAD DE AGUAS
 - **MODELO DE AGUAS SUBTERRANEAS**
- UTILIDAD DE LOS MODELOS
- TIPOS DE MODELOS
- DESARROLLO DE MODELOS
- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS
- EJEMPLO DE MODELOS

¿QUE ES UN MODELO DE AGUA SUBTERRANEA?

Una **representación física, analógica, o matemática** que simplifica la compleja hidrología y química de un sitio seleccionado.

Utiliza las **ecuaciones** que gobiernan el flujo y conservación de la masa para simular flujo de agua y transporte de sustancias contaminantes.

Utiliza **analogías** con procesos o fenómenos diferentes para estudiar sistemas hidrogeológicos.

Se basa en **observaciones** del “mundo real” y percepciones del sitio seleccionado.



CONCEPTO DE MODELO

Los modelos pueden ser de tipo:

Físico: representa a escala la geometría y propiedades de los materiales de un sistema: maquetas en arquitectura y modelos hidráulicos de un canal o una central hidroeléctrica a escala.

Analógico: representan las propiedades del sistema a través de fenómenos diferentes pero que tiene un comportamiento similar: escurrimiento de agua subterránea a través de una corriente eléctrica en un conductor.

Conceptual: identifica las características más relevantes de un sistema, sin llegar a representarlas cuantitativamente. Se utilizan para tener una mejor comprensión del sistema real. Problemas ambientales como externalidades de la economía.

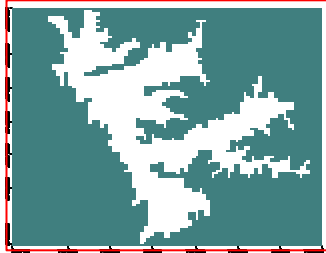
Matemático: relaciones principales entre elementos relevantes de un sistema se reemplazan por relaciones matemáticas que las representan en forma aproximada.



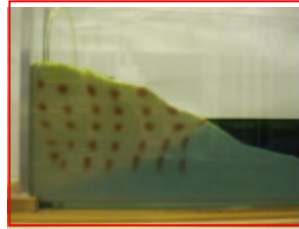
CONCEPTO DE MODELO

TIPOS DE MODELO

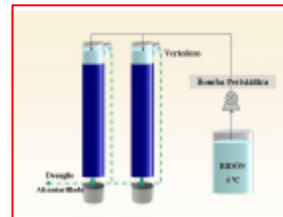
MATEMATICO



ANALOGO



FISICO



CONCEPTO DE MODELO

POTENCIALES APLICACIONES DE MODELOS DE AGUA SUBTERRANEA

Mejorar conocimiento de la hidrogeología

Manejo o gestión de recursos hídricos

Determinar tasas de bombeo máximas en un sector

Calcular áreas de protección del agua subterránea

Predecir impactos sobre el agua subterránea a través de casos estudio

Influencia de una presa sobre el flujo regional de agua subterránea

Analizar fallas en sistema de drenaje de una presa

Diseñar y optimizar sistemas de remediación

Analizar riesgos ambientales

Determinar dirección más probable de una pluma de contaminante

CONCEPTO DE MODELO

- INTRODUCCION
- CONCEPTO DE MODELO
- **UTILIDAD DE LOS MODELOS**
- TIPOS DE MODELOS
- DESARROLLO DE MODELOS
- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS
- EJEMPLO DE MODELOS

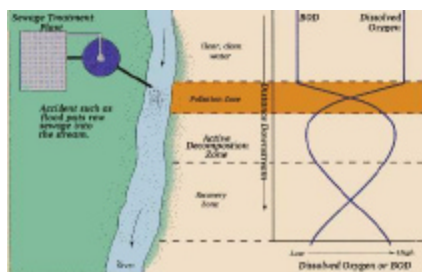


Los modelos matemáticos de calidad de agua tiene una gran cantidad de aplicaciones, siendo algunas de las más conocidas las que se indican a continuación:

–Utilidad Predictiva

–Utilidad como herramienta de planificación

–Otros usos



UTILIDAD DE MODELOS



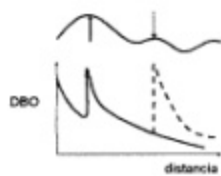
UTILIDAD PREDICTIVA:

Evaluación del impacto de las decisiones de manejo en una cuenca.

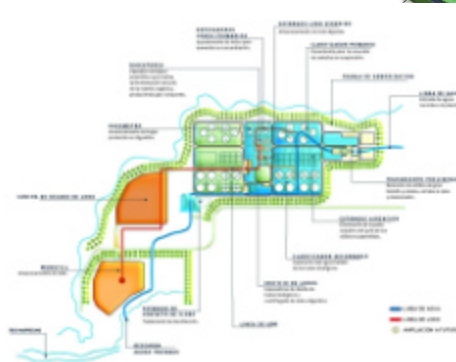
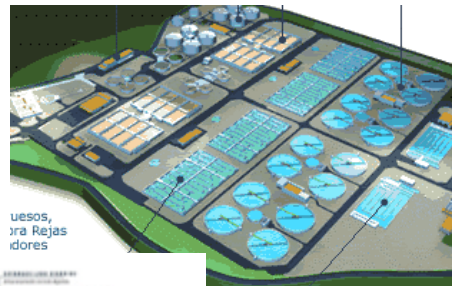
Caracterización o conceptualización de problemas complejos.

Predicción de la evolución de la calidad del agua bajo diferentes escenarios de desarrollo y control.

Normativas de calidad ambiental versus calidad de emisiones.



UTILIDAD DE MODELOS



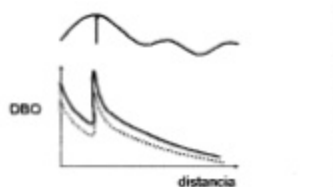
UTILIDAD DE MODELOS

UTILIDAD COMO HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN:

Establecimiento de objetivos de calidad ambiental.

Establecimiento de objetivos de calidad de emisiones para alcanzar objetivos de utilidad ambiental.

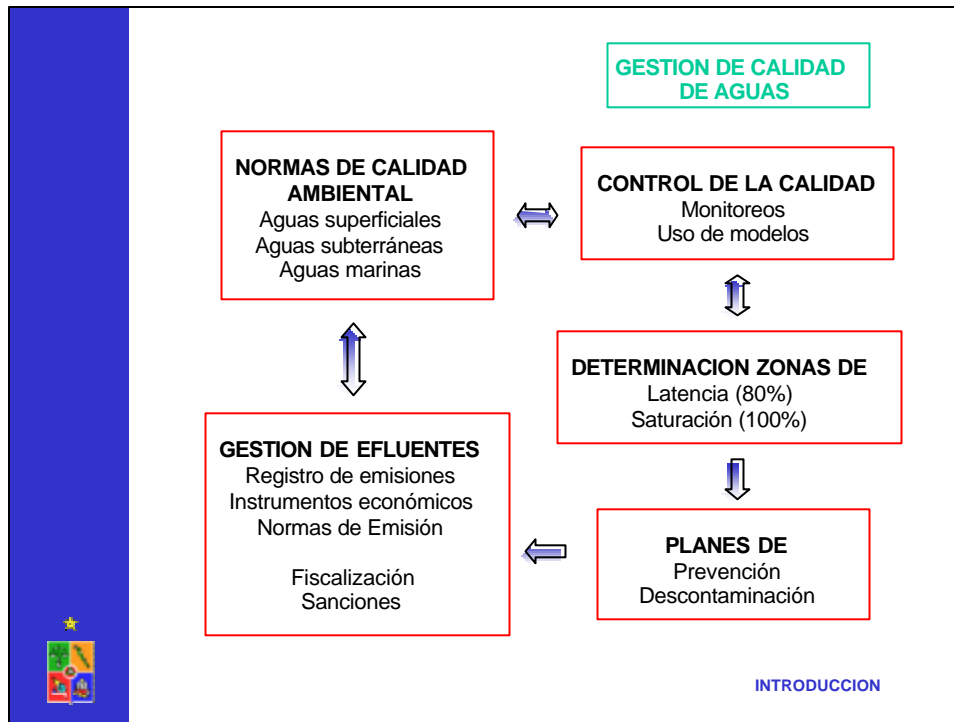
Distribución de costos ambientales asociados al efecto de diferentes descargas.



UTILIDAD DE MODELOS



UTILIDAD DE MODELOS



OTROS USOS:

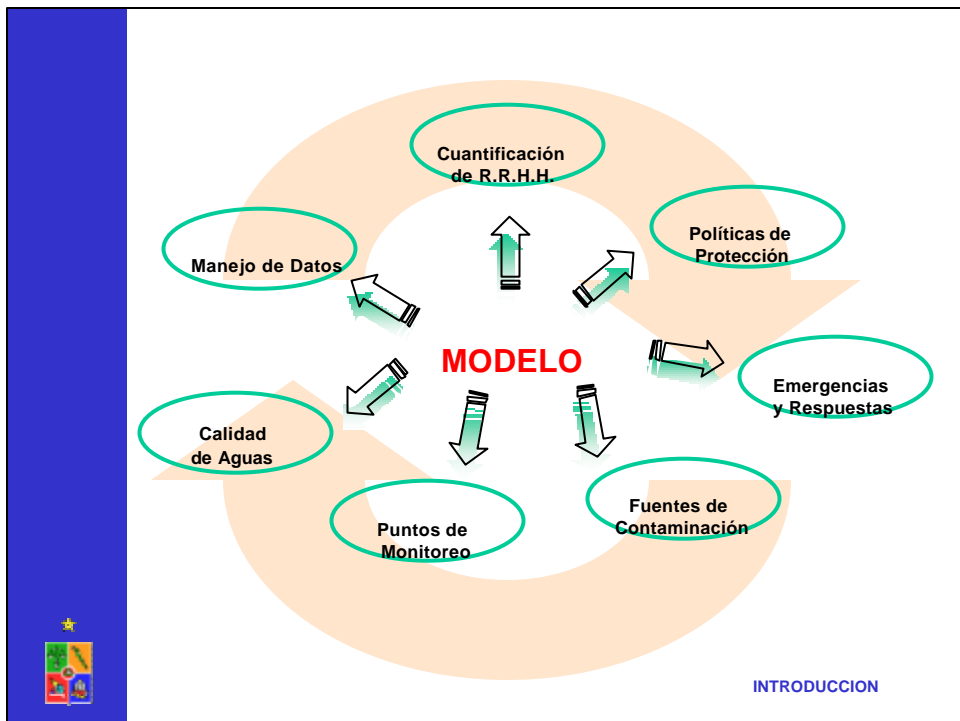
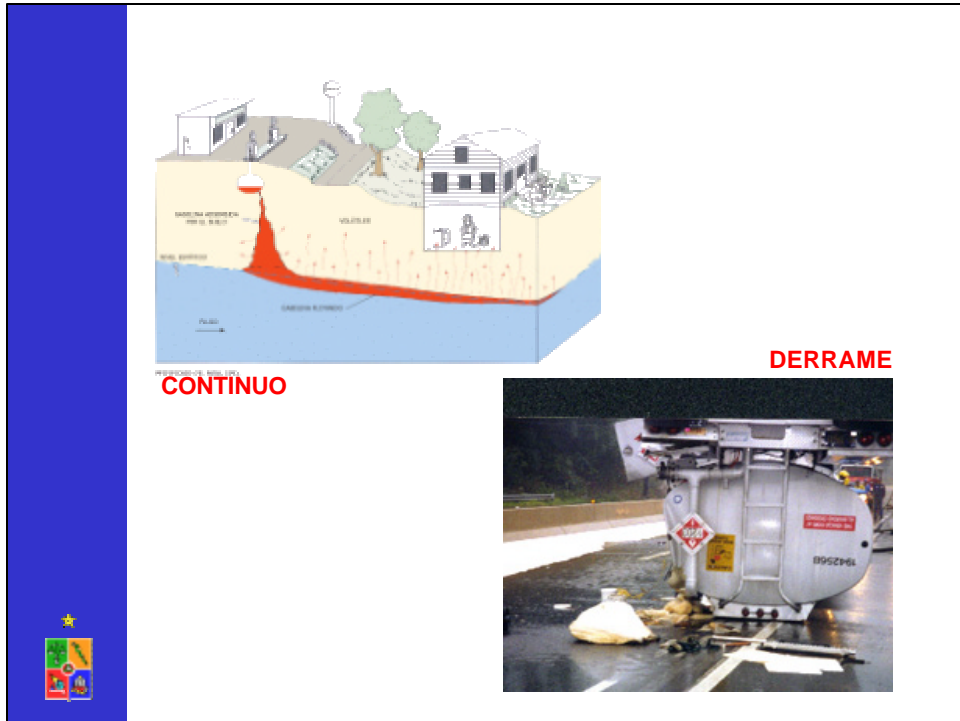
Evaluación de riesgos de descargas accidentales.

Evaluación de probabilidades de ocurrencia de eventos de contaminación.

Validación y procesamiento de información de calidad de agua y orientación en programas de monitoreo de calidad de agua.

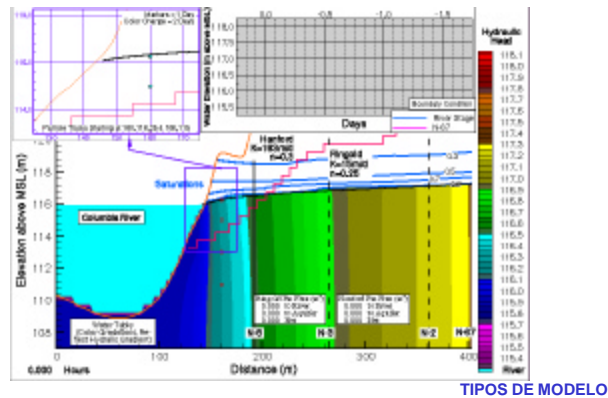
Identificar variables relevantes de un problema.

UTILIDAD DE MODELOS



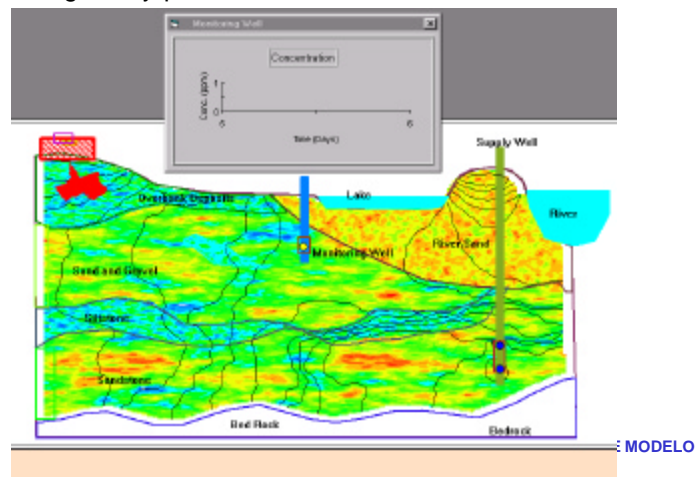
Los modelos pueden ser de tipo:

Bidimensionales: se utilizan para ríos de gran ancho, en los cuales las concentraciones de contaminantes varían de una lado de la ribera al otro.



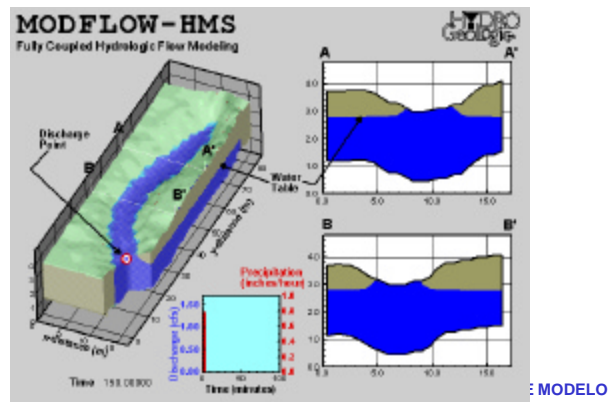
Los modelos pueden ser de tipo:

Bidimensionales: se utilizan para estudiar sistemas acuíferos a nivel regional y para estudios de contaminación locales.



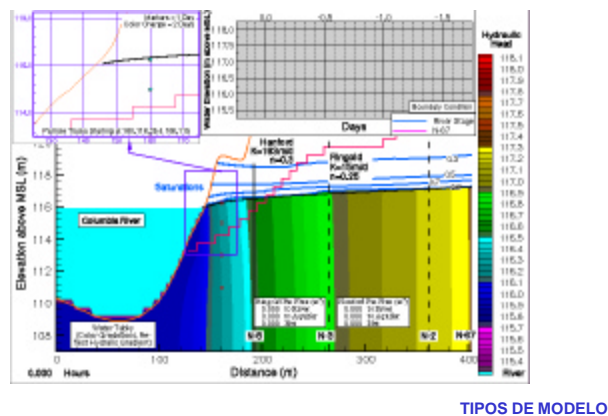
Los modelos pueden ser de tipo:

Tridimensionales: se utilizan para representar sistemas de aguas subterráneas y sistemas complejos de aguas superficiales.



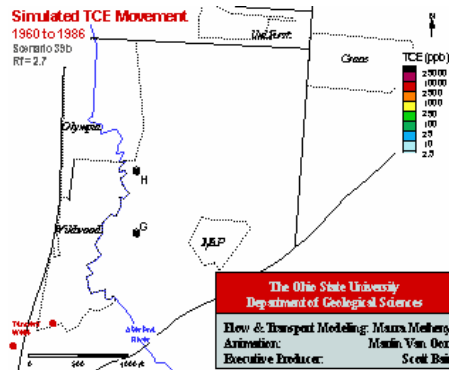
Los modelos pueden ser de tipo:

Dinámicos o Transientes: proveen información acerca de la calidad del agua tanto en la distancia como el tiempo.



Los modelos pueden ser de tipo:

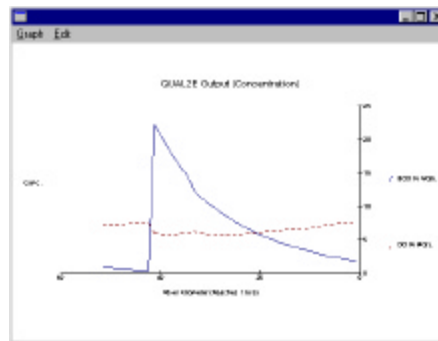
Dinámicos o Transientes: proveen información acerca de la calidad del agua tanto en la distancia como el tiempo



TIPOS DE MODELO

Los modelos pueden ser de tipo:

Estacionarios o Permanentes: sólo existe variación en el espacio, como por ejemplo en el caso de una descarga constante. Menor grado de dificultad y de menor costo que los modelos dinámicos.

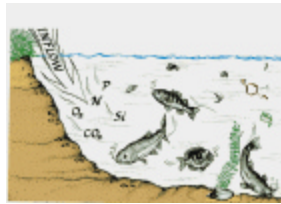


TIPOS DE MODELO

Modelo de la Zona de Mezcla: Modelo muy simple de balance de masas. Se utiliza para estimar los impactos de una descarga sobre la calidad del agua.

Modelos de Oxígeno Disuelto: Basados en la ecuación de Streeter y Phelps. Incorporan múltiples términos entre los que se puede mencionar el efecto del bentos y respiración algal sobre el consumo de oxígeno.

Modelos para descargas térmicas: Considera la incorporación de descargas de aguas de enfriamiento a cursos de agua.

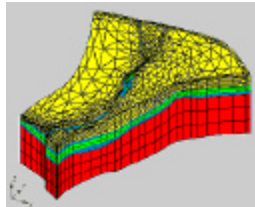


TIPOS DE MODELO

Modelos de Escorrentía: Permiten estudiar el efecto de un proyecto sobre la distribución temporal y espacial de la escorrentía.

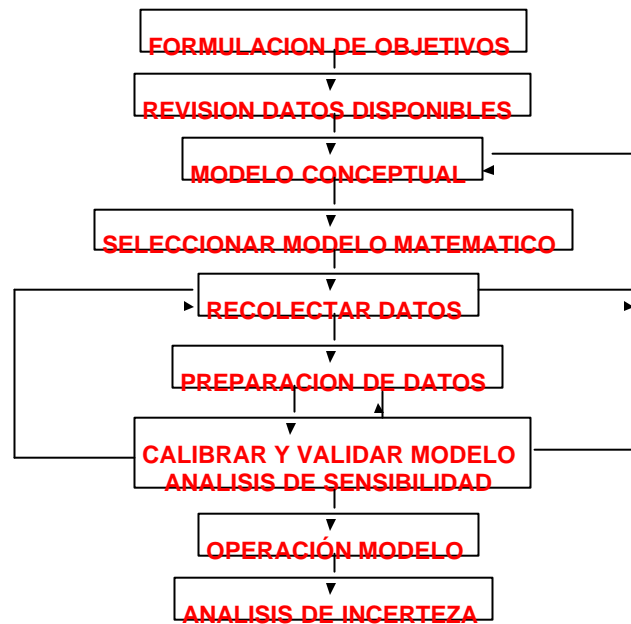
Modelos de Aguas Subterráneas: Aplicables a zonas saturada y no saturada. Transporte de contaminantes y flujo (MODFLOW, FEMWATER, FEFLOW, MT3D, RT3D).

Modelos de Calidad de Aguas: QUALII es aplicable a ríos (clorofila, OD, DBO, Coliformes, T, entre otros parámetros). WASP se utiliza para análisis de lagos.



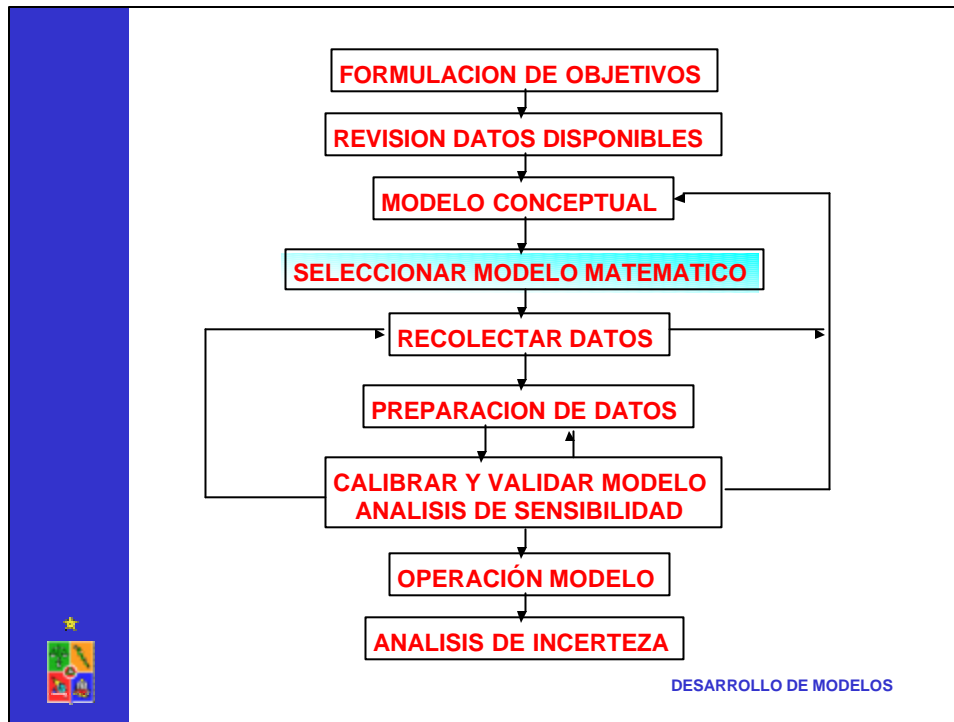
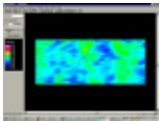
TIPOS DE MODELO

- INTRODUCCION
- CONCEPTO DE MODELO
- UTILIDAD DE LOS MODELOS
- TIPOS DE MODELOS
- **DESARROLLO DE MODELOS**
- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS
- EJEMPLO DE MODELOS



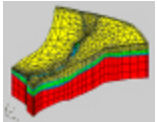
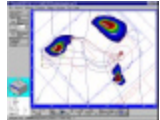
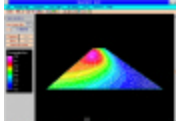
DESARROLLO DE MODELOS



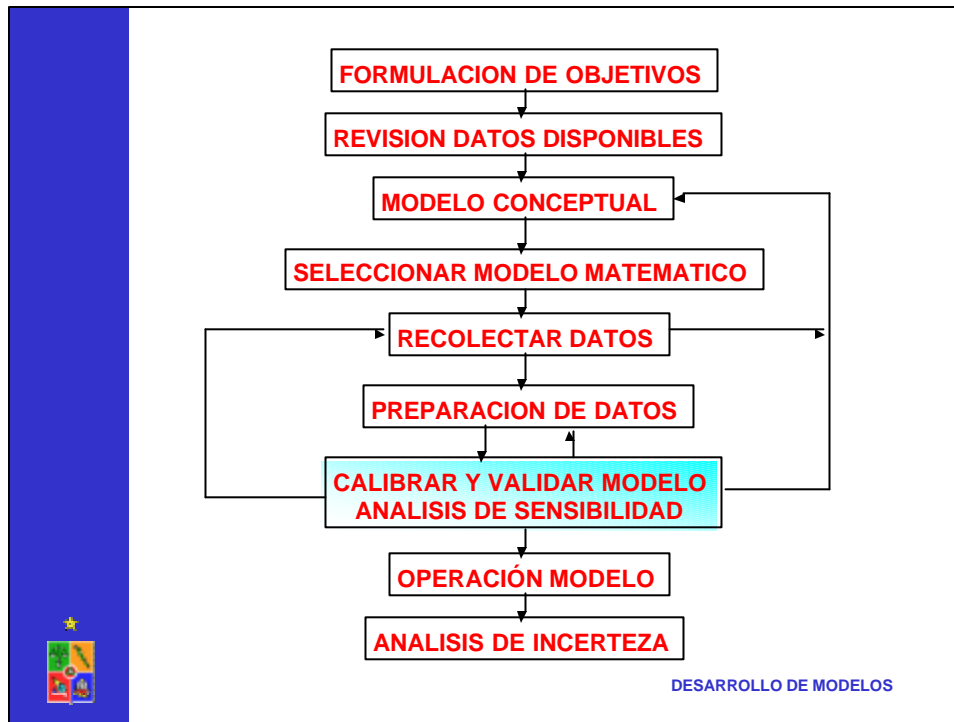



SELECCIONAR MODELO MATEMATICO

1-D, 2-D, o 3-D?
 Transiente o régimen permanente?
 Flujo o transporte?
 Compuesto disueltos, fase líquida o gaseosa?
 Modelo predictivo o inverso?
 Se requiere algún programa específico o genérico?
 Experiencia y confianza del usuario?
 Soporte técnico?
 Capacidades de pre y post proceso?
 Presupuesto y tiempo disponible?

DESARROLLO DE MODELOS



CALIBRACION

Objetivos de una Calibración

Desarrollar un modelo predictivo adecuado

Aplicar el modelo a un conjunto conocido de datos y analizar los resultados simulados. Conciliar los resultados simulados y medidos, mediante la variación de los "parámetros" del modelo.

Consideraciones Generales de la Calibración

Observaciones específicas son inciertas y están sujetas a interpretación

Necesidad de criterios de calibración cualitativos y cuantitativos

CALIBRACIÓN NO ES ÚNICA

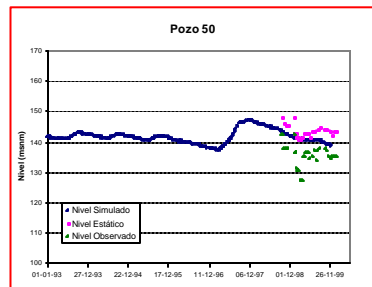
¿Cuál es el efecto de pequeñas variaciones en los datos de entrada?

DESARROLLO DE MODELOS

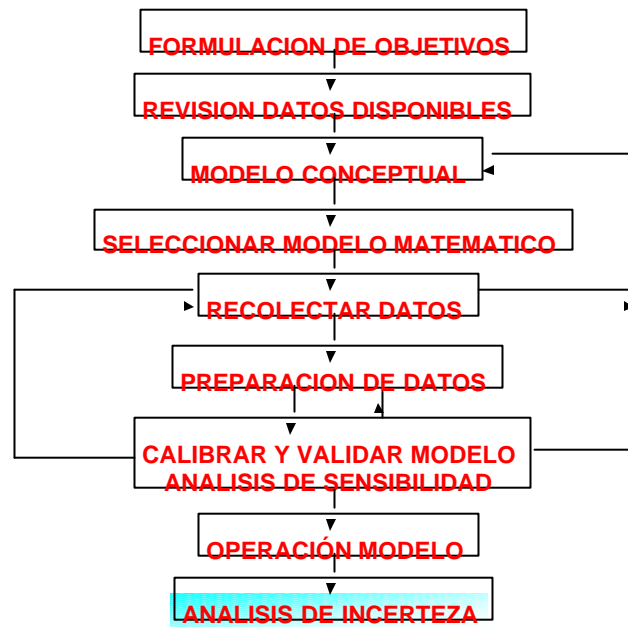
VALIDACION

Objetivos de una Validación

Una vez calibrado el modelo debe ser utilizado para “simular” un segundo conjunto de datos conocidos. El modelo debe ser capaz de reproducir estos valores, de otro modo su validez es cuestionable.



DESARROLLO DE MODELOS



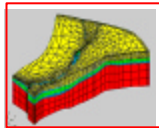
DESARROLLO DE MODELOS

ANALISIS DE INCERTEZA

Predecir tendencias y direcciones de cambio de determinadas variables de estado

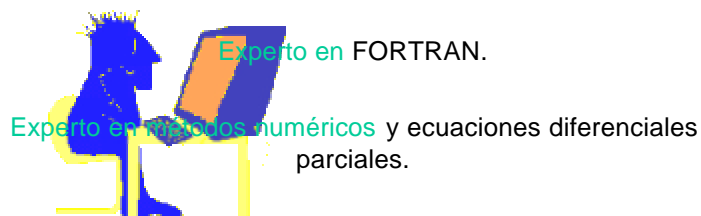
Generar información sobre sensibilidad del sistema a cambios en determinados parámetros (incorporar más recursos en su determinación)

Aumentar conocimiento del sistema y de los fenómenos de interés que son relevantes



DESARROLLO DE MODELOS

¿PERFIL DEL MODELADOR (1970-1990)?



Podía reducir fácilmente un problema complejo en 3D (heterogéneo) a un modelo simple en 2D (homogéneo).

Poca experiencia en métodos de terreno.

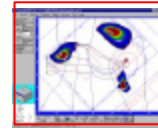
Manejo de mucha información impresa y compleja de digerir.
Pensamiento abstracto.

DESARROLLO DE MODELOS

¿PERFIL DEL MODELADOR (1990-)?

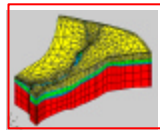
Herramientas visuales

Definir geometrías
Incorporar parámetros
Incluir condiciones de borde
Herramientas para apoyar proceso de calibración
Salidas gráficas



Resultados

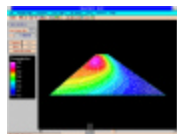
Mejores modelos conceptuales
Mejor comprensión de los resultados de un modelo




DESARROLLO DE MODELOS

PROBLEMAS TIPICOS EN LA MODELACION

Conceptualización inadecuada del sistema en estudio
Selección de un programa (software) inadecuado para resolver el problema
Aplicación inadecuada del modelo
Interpretación errónea de resultados



DESARROLLO DE MODELOS

- 
- INTRODUCCION
 - CONCEPTO DE MODELO
 - UTILIDAD DE LOS MODELOS
 - TIPOS DE MODELOS
 - DESARROLLO DE MODELOS
 - **ASPECTOS COMPLEMENTARIOS**
 - EJEMPLO DE MODELOS

Recopilación de información básica como:

- información bibliográfica,
- datos estadísticos históricos (escorrentía y pluviosidad),
- entrevistas a lugareños y autoridades.

Complementar lo anterior con muestreos adicionales de calidad del agua, especialmente si esta información es muy escasa.

Plan de monitoreo debe incluir: programa de recolección de muestras detallado (variación estacional), selección de puntos de muestreo, parámetros a analizar, frecuencia de muestreo, técnicas de muestreo, metodologías de manipulación de la información, entre otras.



ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

Identificar aspectos del proyecto que podrían afectar el medio ambiente hídrico.

Requerimientos del cuerpo receptor y de las descargas.

Seleccionar variables específicas que sean indicadores ambientales representativos factibles de cuantificar:

Normas de calidad del agua.

Temperatura, pH, Conductividad, Turbiedad, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendidos Totales, DBO, DQO, OD, Alcalinidad, Nitratos, Nitritos, Amonio, Nitrógeno Kjeldahl, Fosfatos, Sulfatos, Cloruros, Hierro, Manganeseo, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Sílice, Mercurio, Cadmio, Arsénico, Plomo, Cobre, Coliformes Fecales y Totales, Pesticidas.



ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

Ubicación de puntos de muestreo:

Proveer adecuada descripción de calidad del agua
Parámetros conservativos o no conservativos?
Características físicas del curso de agua
Acceso puntos de muestreo
Conservación muestra

Frecuencia de muestreo:

Hora del día
Estación del año
Frecuencia de muestreo



ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

Metodología de recolección:

Muestras puntuales o muestras compuestas
Empleo de equipos automáticos de muestreo
Mediciones de velocidad y caudales

Técnicas analíticas:

Preservación de las muestras
Uso de técnicas estandarizadas de análisis
Control de calidad de laboratorios



ASPECTOS COMPLEMENTARIOS

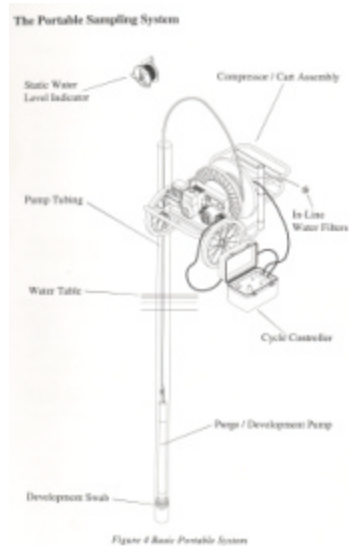
MUESTREADORES



BAILERS



BOMBA BLADER



MEDICIONES IN SITU



MEDIDA DE PROFUNDIDAD DE POZO



EQUIPO DE FILTRACIÓN



MEDICIONES IN SITU

PURGA DE PIEZOMETRO



- INTRODUCCION
- CONCEPTO DE MODELO
- UTILIDAD DE LOS MODELOS
- TIPOS DE MODELOS
- DESARROLLO DE MODELOS
- ASPECTOS COMPLEMENTARIOS
- **EJEMPLO DE MODELOS**

