

Diseño de un Sistema de Vigilancia de la Calidad del Agua Potable Urbana (SVCAPU)

*Estrategia para el desarrollo
de modelos de simulación*

Sistema de Vigilancia (SVCAPU)

Especial enfoque en el uso de modelos

- Interés inicial del ERSP por identificar sitios de muestreo utilizando modelos matemáticos de calidad del agua
- Bibliografía reciente sobre el tema
- Anexo A del proyecto

Modelos de simulación

Definiciones

- **Modelo.** Representación de una red hidráulica existente mediante un software y la información que describe la red.
- **Calibración.** Es el procedimiento de realizar ajustes a los parámetros del modelo (rugosidad, demandas, fugas, controles, niveles en tanques, etc.) para que se obtengan resultados que representen mediciones reales con cierto grado de exactitud.
- **Simulación.** Son los resultados que ofrece un modelo calibrado y que representan con cierto nivel de confiabilidad las condiciones de operación reales de una red

Modelos de simulación

Es una herramienta que permite entender el comportamiento de un sistema complejo y con la que es posible simular el comportamiento del sistema en diferentes situaciones hipotéticas

Modelos de simulación

■ Modelo hidráulico

- Flujo en cada tubo, presión en cada nodo
- Procedencia del agua
- Edad del agua
- Concentración de componentes no reactivos

Parámetros hidráulicos que funcionan como indicadores de la calidad del agua

La calibración puede tener diferentes niveles de exactitud

Modelos de simulación

- **Modelo de calidad del agua**
 - Concentración de componentes reactivos
 - Las variaciones son ocasionadas por advección (modelo hidráulico) y reacciones fisicoquímicas
 - Forma de estudiar las variaciones temporales y espaciales de la calidad del agua

Modelos de simulación

Aplicaciones

■ Control del sistema

- El **control** se consigue cuando se comprende el comportamiento del agua en la red y es posible modificar ese comportamiento.
- Ejemplo: sectorización en México

■ Vigilancia

- Ejemplo: EPA y Brasil

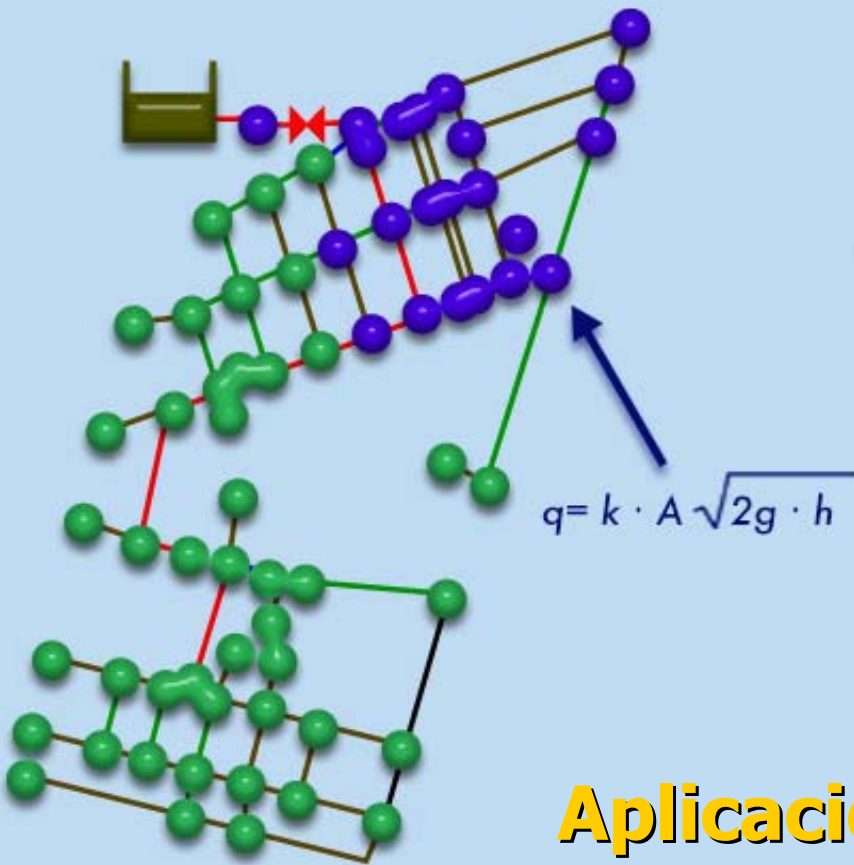
Modelos de simulación

Aplicación en control

■ Sectorización en Ciudad de México

- **Sector**: porción de la red secundaria aislada del resto de la red hidráulica del sistema
- Los modelos se utilizaron para diseñar los sectores y estimar reducción de fugas
- Ahorro gracias al control de presión y el control activo de fugas (ALC)

Modelos de simulación



$$K = \sum (k \cdot A \cdot \sqrt{2g})$$

Teórico: $q_r = K \sqrt{hm}$

Real: $q_r = K' \cdot hm$

**Aplicación en control
Reducción de fugas de fondo**

Modelos de simulación

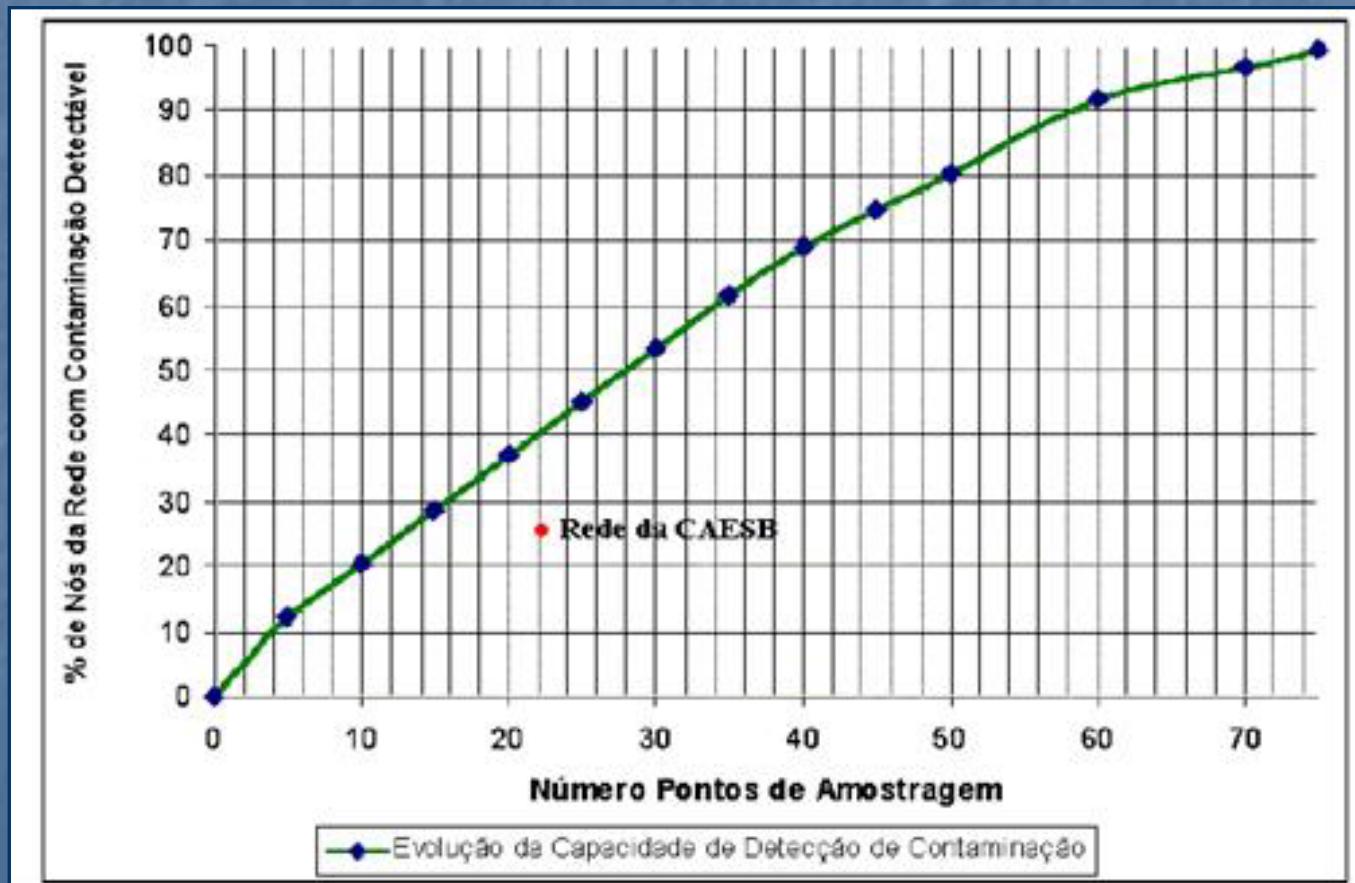
Aplicación en vigilancia

- **Etapa 2 del reglamento DBPR elaborado por la USEPA**
 - Atender los puntos de mayor riesgo
 - Evaluación inicial del sistema (IDSE) mediante el uso de modelos hidráulicos
 - Recomiendan utilizar edad del agua

Modelos de simulación

Aplicación en vigilancia

Caso Brasil



Fuente:
Vasconcelos
et al.

Modelos de simulación

Costos del modelo

- **Elaboración del modelo**
 - Catastro actualizado y digitalizado
 - Personal capacitado en la elaboración de modelos
 - Equipo de cómputo y software
- **Calibración hidráulica del modelo**
 - Mediciones continuas de flujo y presión (macromedición)
 - Capacidad y patrón de flujo en los tanques del sistema
 - Curvas de operación de los equipos de bombeo
 - Registro del consumo (micromedición)
 - Estudios con trazadores

Modelos de simulación

Costos del modelo

- **Calibración de calidad del agua**
 - Análisis continuos de los componentes a simular
 - Estudio de laboratorio para determinar coeficientes de decaimiento
- **Mantenimiento del modelo**
 - Actualizar cuando se realicen cambios en la red
 - Verificar constantemente contra mediciones en campo

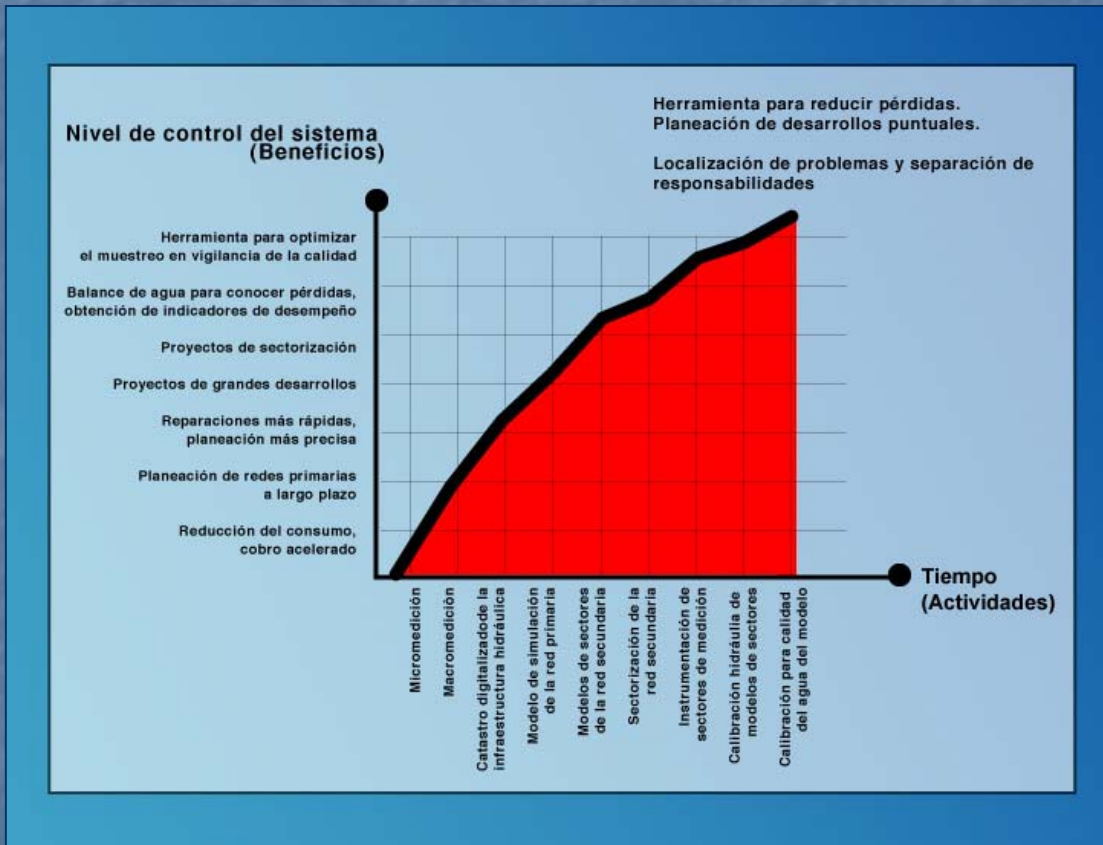
Aplicación en vigilancia

- Sólo es redituable si también se utilizan en acciones de control
- El sistema de vigilancia funciona más eficientemente en sistema controlados

Por esto: se propone una **estrategia de desarrollo** de modelos a partir de su aplicación en el control de sistemas

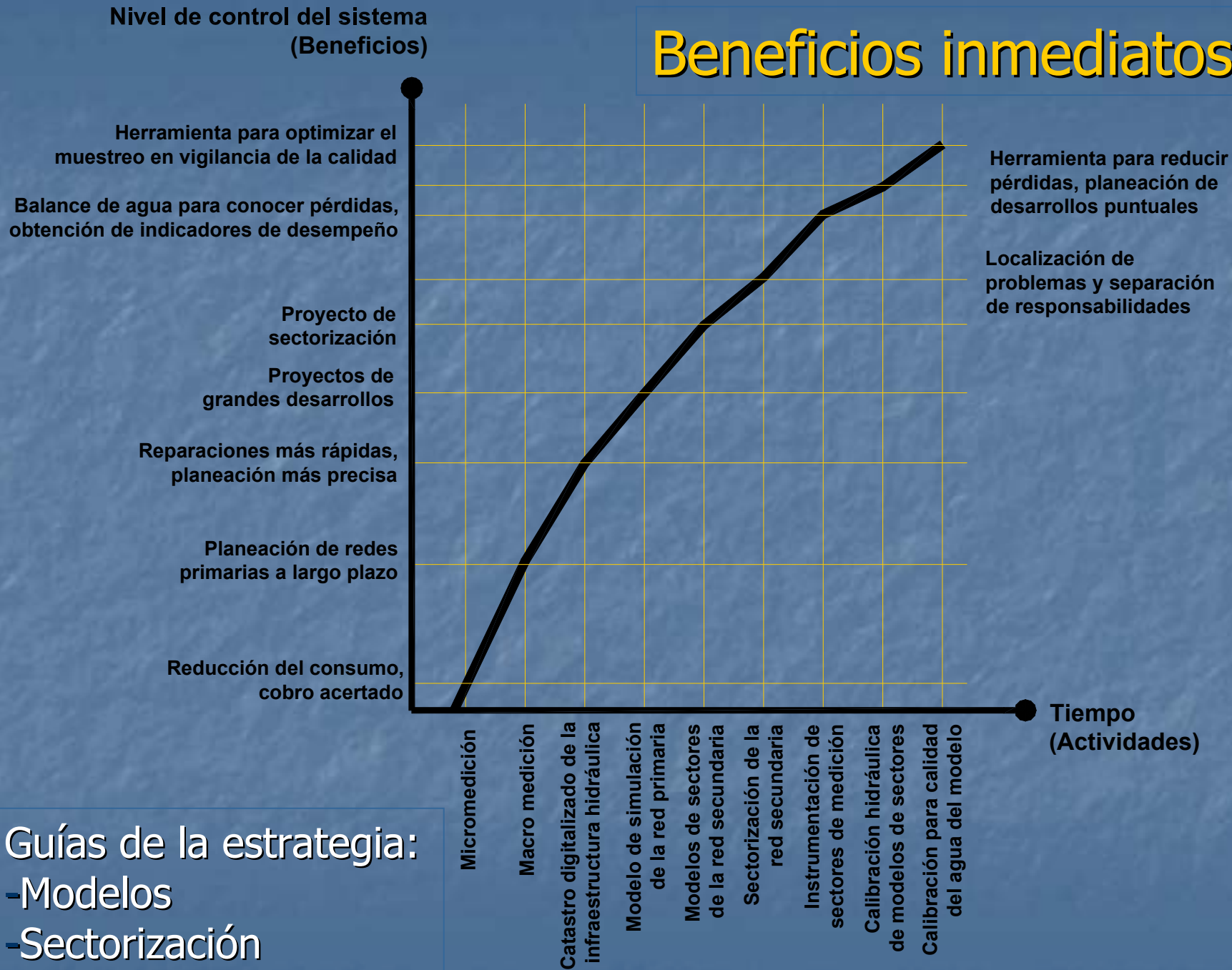
Estrategia de desarrollo

Características de la estrategia de desarrollo de modelos



- Desarrollo gradual
- Considera el estado de desarrollo actual del sistema
- Cada actividad requerida para elaborar el modelo trae beneficios inmediatos
- Se explican los beneficios del uso de modelos en actividades de control

Beneficios inmediatos



Guías de la estrategia:

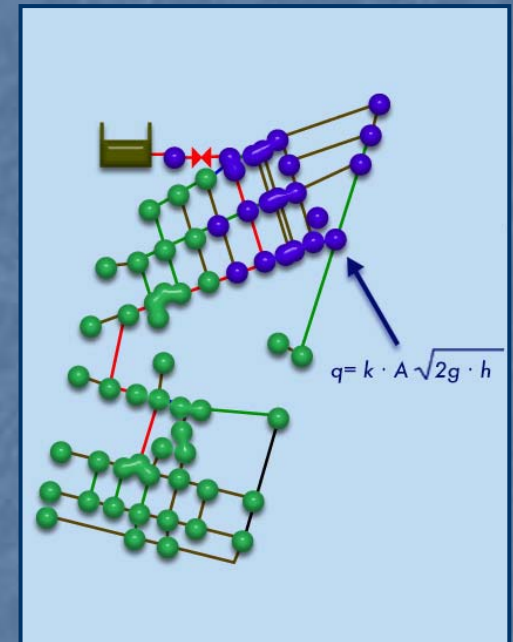
- Modelos
- Sectorización

Estrategia de desarrollo

Fase de desarrollo	Actividades
Fase preliminar	Definición de sectores conceptuales
Fase I Modelo hidráulico	Micro y macromedición
	Digitalización del catastro
	Elaboración de modelos hidráulicos para aplicaciones de planeación (de la red primaria, de estado estacionario)
Fase II Simulación hidráulica	Modelos de simulación de la red secundaria
	Sectorización de la red secundaria
	Calibración de los modelos hidráulicos (EPS)
Fase III Simulación de calidad del agua	Control activo de fugas (ALC)
	Calibración de calidad del agua
	Estudios de calidad del agua
Fase IV Mantenimiento del modelo	Actualización de los modelos y mejora de la exactitud de sus simulaciones
	Aplicaciones en actividades avanzadas de control

Sectorización conceptual

- Sector conceptual: sector identificado en planos que se convertirá en un sector de red secundaria
- El sector como unidad geográfica básica del SV: espacio que ocupa la población que se ve afectada por un conjunto único de factores de riesgo
- El sector conceptual definirá los sitios de muestreo iniciales
- La sectorización sirve a los objetivos del control y la vigilancia



Fase I: Modelo hidráulico

- **Micro y macro medición**
- **Catastro digitalizado**
- **Elaboración de modelos hidráulicos para planeación (Estado estacionario)**

Fase II: Simulación hidráulica

- **Modelo de simulación red secundaria**
- **Sectorización física**
- **Calibración de modelos hidráulicos**
- **Control activo de fugas**

Fase III: Simulación de calidad del agua

- **Calibración de calidad del agua**
- **Control de DBPs**
- **Estudios de calidad del agua (Cl residual,**

Fase IV: Mantenimiento del modelo calibrado

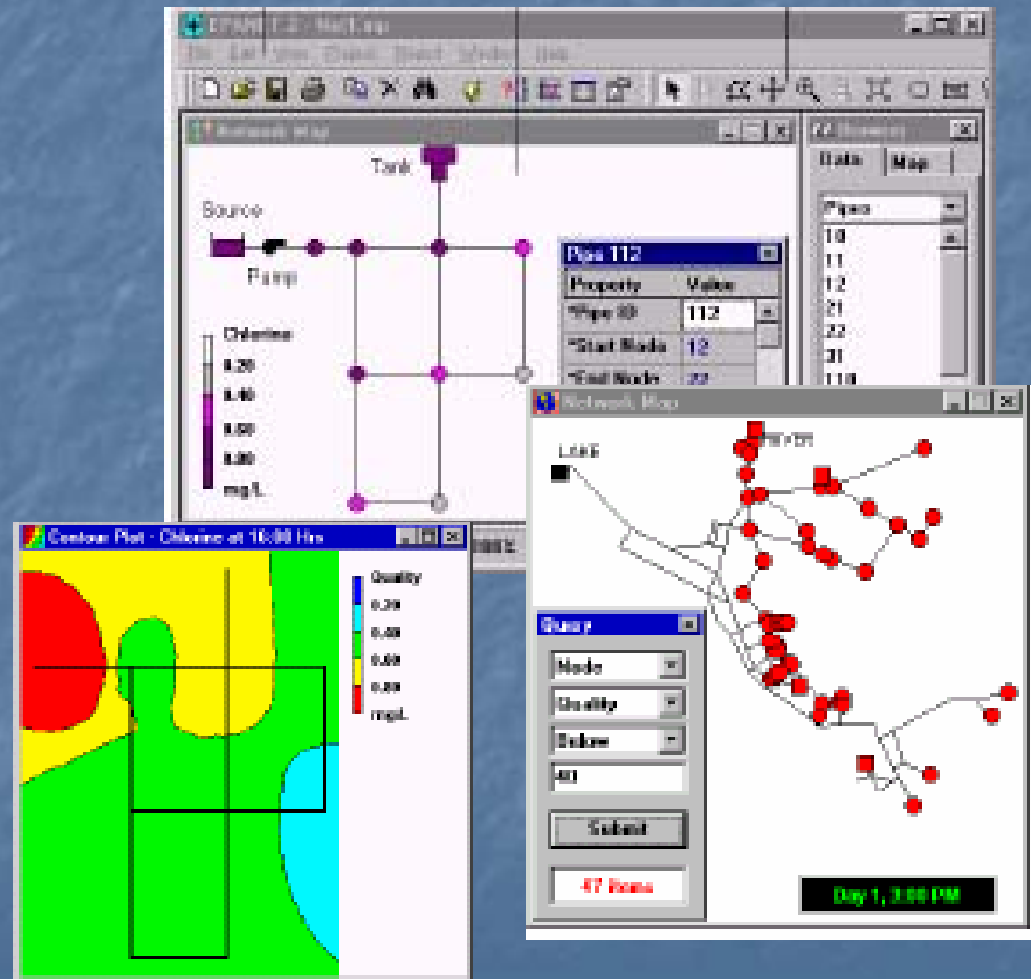
- **Actualización del catastro**
- **Actualización del modelo y mejora de la exactitud de sus simulaciones**

Análisis costo-beneficio

Concepto	Cantidad	Comentarios
Porcentaje de ahorro de agua estimado	15%	Sobre demanda total
Costo para desarrollo del modelo (sectorización) (Balboas/Km ²)	60,000.00	Experiencias en México
Costo del agua (Balboas/m ³)	0.30	Costo promedio
Densidad de población (hab/Km ²)	13,000	
Dotación (L/hab/día)	400	
Dotación por km ² (Lps)	60	
Ahorro por km ² (Lps)	9	
Ahorro anual (Balboas/Km ²)	85,410.00	

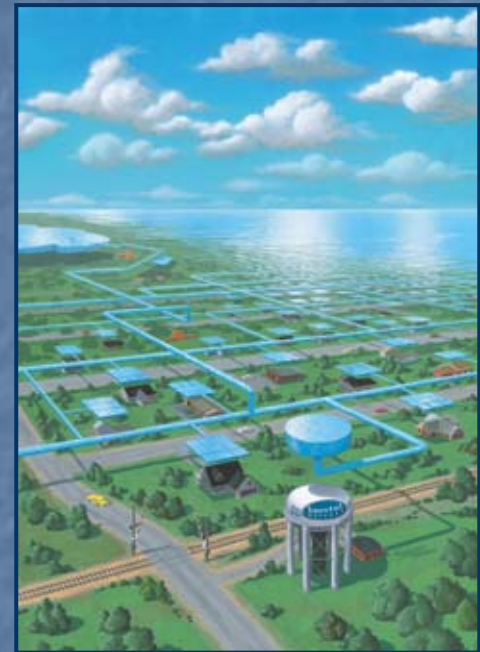
Software EPANET

- Programa de trabajo
- Gratuito
- El mismo "engine" que los software comerciales
- Posibilidad de modificar el código fuente para personalizar el programa



Software WaterCAD

- Programa de captura y análisis
- Es compatible con EPANET
- Buen servicio de atención al cliente y asistencia en línea en Latinoamérica (atienden en español).
- Tienen programado un curso a realizarse en la ciudad de Panamá para el año 2004.
- Su costo es similar al resto de los programas o softwares equivalentes que tienen interfase CAD.

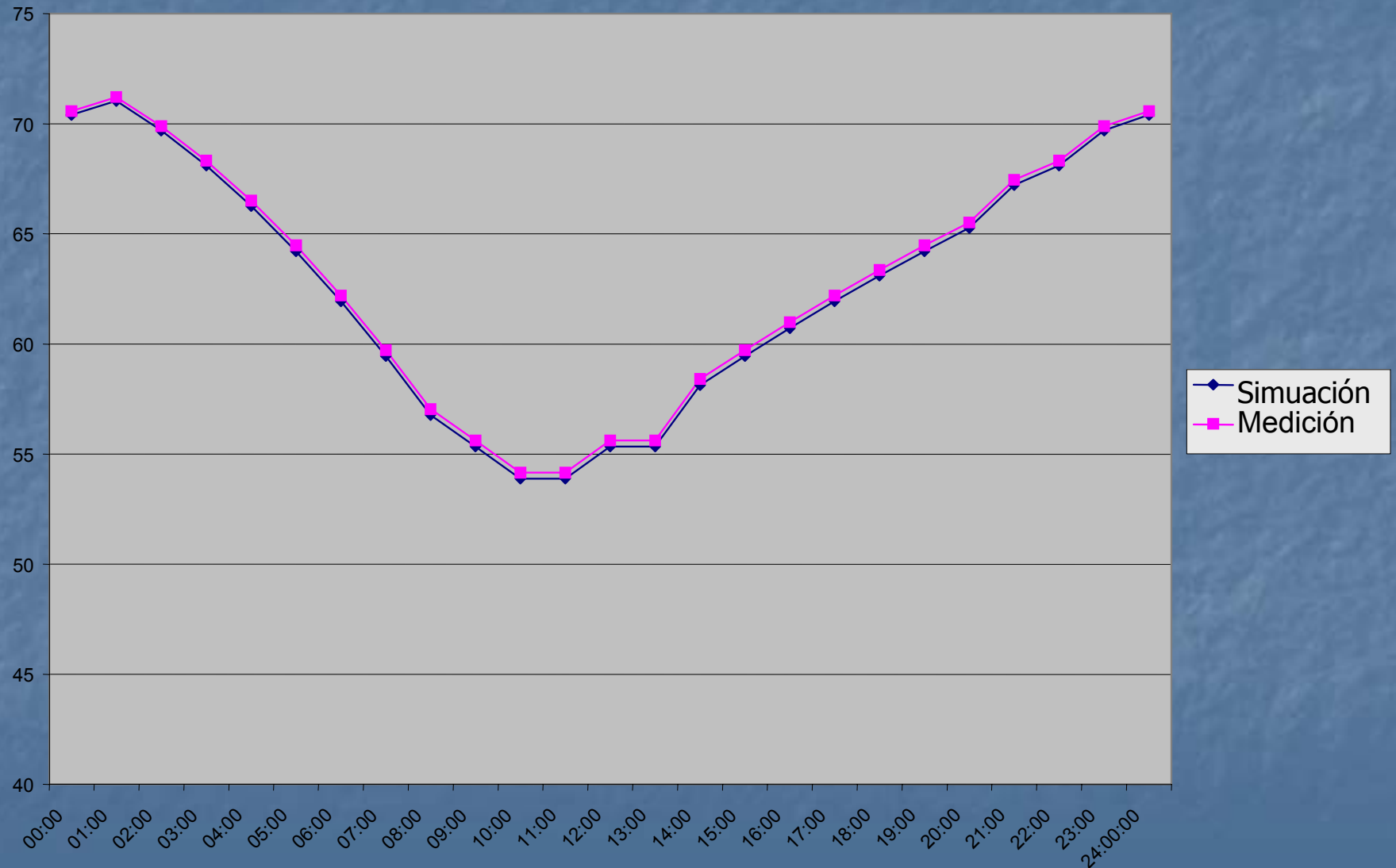


Elaboración del modelo hidráulico de “El Fortín”

- Empresa Altos de Vistamares
- Información sobre su infraestructura hidráulica
- Se elaboró el modelo hidráulico
- Falta poca información para realizar la calibración hidráulica
- Se realizó un ejercicio de calibración con información hipotética

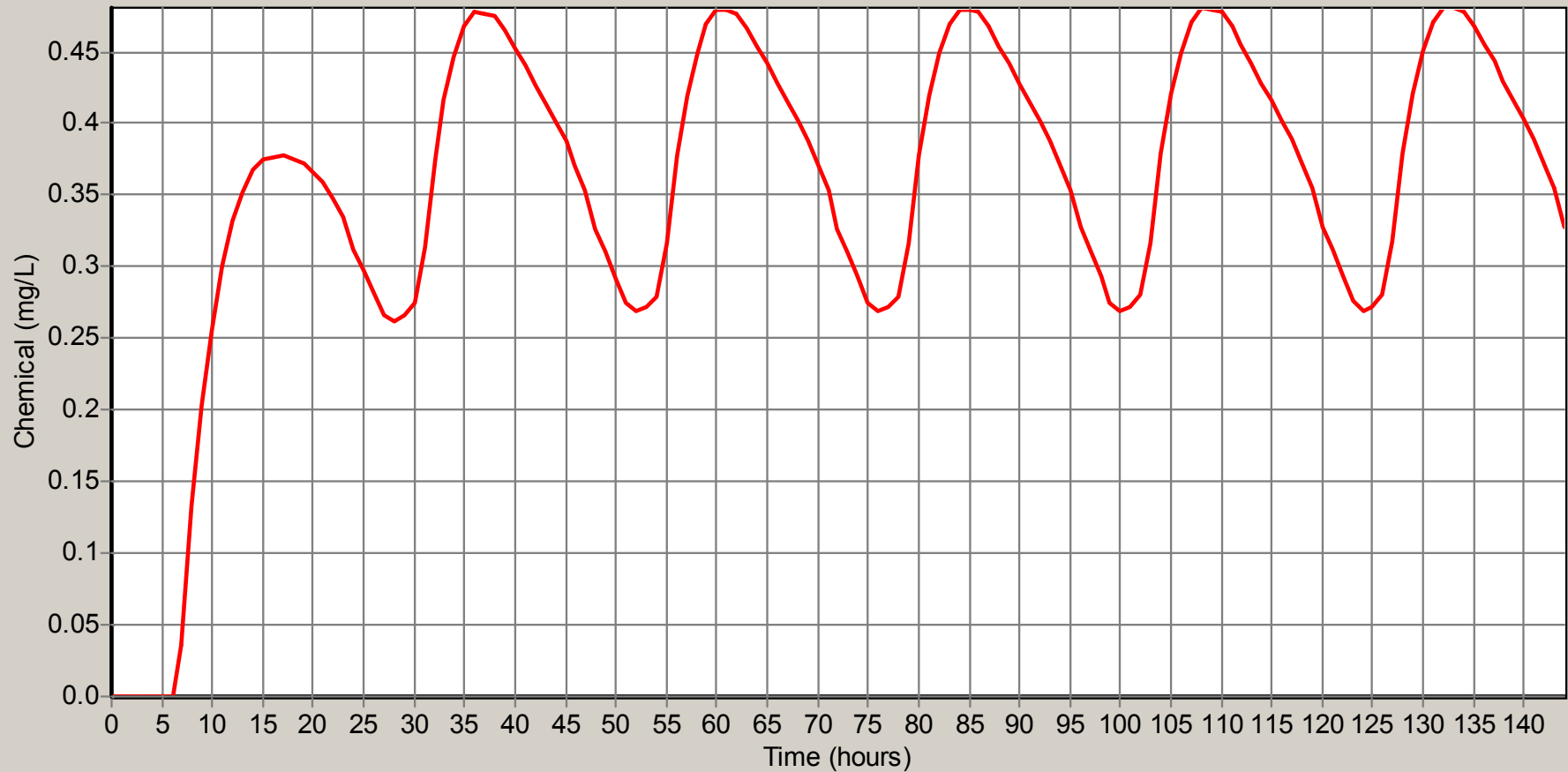


Calibración



Simulación de residual de Cl

Chemical for Node NODO39



Resumen

- **El uso de modelos en vigilancia es útil, pero el desarrollo de modelos es una tarea que demanda muchos recursos.**
- **Por este motivo se propuso la estrategia de desarrollo de modelos que propone un trabajo gradual y resalta lo beneficios en control.**
- **Se propone la sectorización como una estrategia de control y con aplicaciones en la vigilancia.**
- **Como parte de la estrategia se seleccionaron los software con que se desarrollarán los modelos, se capacitó al personal del ERSP en su uso y se adquirió una licencia de WaterCAD.**