

 **CIATF**  
Consejo Insular  
de Aguas de Tenerife

*Santa Cruz de Tenerife*  
**29-30 septiembre 2009**

JORNADAS SOBRE  
HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE  
EN TENERIFE



*Segunda Jornada:*


**GUIA METODOLOGICA  
CALCULO CAUDALES AVENIDA**

**6**

**MODELIZACIÓN Y  
CÁLCULO DE CAUDALES**

*D. Jesús López García.*  
*Dr. Ing. CCP. YACU*

**INDICE**



- 1** CONCEPTOS BÁSICOS
- 2** TIPOLOGÍA
- 3** REFLEXIONES SOBRE MODELO ADOPTADO EN LA GUÍA

1. Modelos matemáticos. Conceptos básicos



### Definición

*Procedimientos basados o no en conceptos físicos que se utilizan para simular los procesos hidrológicos en las cuencas hidrográficas*

### Componentes

- ✓ Variables de estado
  - Caudal
  - Estado de humedad
- ✓ Parámetros
  - Parámetros físicos de cuencas y cauces
  - Parámetros de pérdidas
- ✓ Datos externos
  - Campos de precipitación, evapotranspiración
- ✓ Condiciones iniciales y de contorno
- ✓ Método de solución
- ✓ Procedimientos de implementación informática

1. Modelos matemáticos. Conceptos básicos



### Historia de la modelación matemática

- La historia de los modelos matemáticos es paralela a la de la informática
- Los algoritmos hidrológicos que utilizan los modelos actuales se desarrollaron entre 1940 y 1970

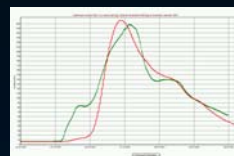
#### Evolución histórica de las tecnologías de apoyo

- Ejecutables que se alimentan de ficheros de datos numéricos
- Modelos interactivos con interfaz gráfica (GUI)
- Apoyo de GIS
  - Parcial (cálculo de parámetros y campos de precipitación)
  - Completa (algoritmos específicos para GIS)
- Conexión con datos externos
  - Datos en tiempo real
  - Predicciones meteorológicas

## 1. Modelos matemáticos. Conceptos básicos



### Fases del desarrollo



#### Calibración

Proceso de ajuste de parámetros en el que se trata de demostrar que la herramienta matemática es capaz de reproducir situaciones reales (observadas)

*Los modelos matemáticos no son más que un conjunto de ecuaciones y parámetros hasta que pueden duplicar por métodos numéricos los fenómenos naturales observados*

#### Verificación

Comprobación de que el modelo calibrado reproduce otra situación histórica diferente a la de calibración sin modificar los parámetros

#### Ejecución

Obtención de los valores desconocidos de una variable (caudal) partiendo de un modelo calibrado y de las variables conocidas que lo producen (precipitación).

## 2. Modelos matemáticos. Tipología



*Todos los modelos se clasifican en una categoría de las parejas siguientes*

- ✓ Suceso / Continuos
- ✓ Globales / Distribuidos
- ✓ Empíricos / Conceptuales
- ✓ Deterministas / Estocásticos
- ✓ Proyecto / Predicción

2. Modelos matemáticos. Tipología



**Modelos de suceso**

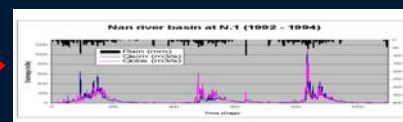
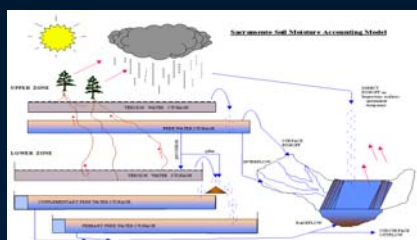
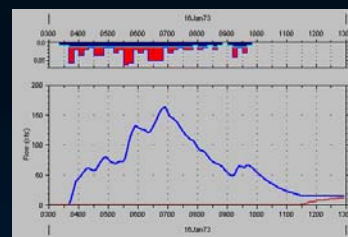
Calculan los hidrogramas para una lluvia concreta de duración corta horas-días (ejemplo: HEC-1, HMS). Las pérdidas se reducen exclusivamente a las de infiltración

**Modelos continuos**

Calculan las variables del ciclo hidrológico para períodos largos (ejemplo: Sacramento). Adquieren gran importancia los procesos de evapotranspiración

	Suceso	Continuos
Ventajas	Sencillez	Realismo Estadística
Inconvenientes	Hipótesis Estado inicial	Volumen de datos Intervalo de cálculo Mala representación de caudales punta

2. Modelos matemáticos. Tipología



2. Modelos matemáticos. Tipología

**Modelos globales**  
Calculan los hidrogramas a partir de características físicas medias de las subcuencas y de las lluvias (ejemplo: HMS, Sacramento)

**Modelos distribuidos**  
Calculan los hidrogramas integrando las contribuciones de cada celda de una malla que cubre la cuenca (ejemplo: WMS, Topmodel)

	Globales	Distribuidos
Ventajas	Sencillez de preparación Fáciles de calibrar	Realismo Precisión Facilidad para automatizar Invitan al modelo continuo y al dato en tiempo real
Inconvenientes	Precisión inferior Complejos en cuencas grandes	Complejos, necesitan GIS Traslación de hidrogramas Dificultad de calibración

2. Modelos matemáticos. Tipología

**Global**

**Distribuido 2D**

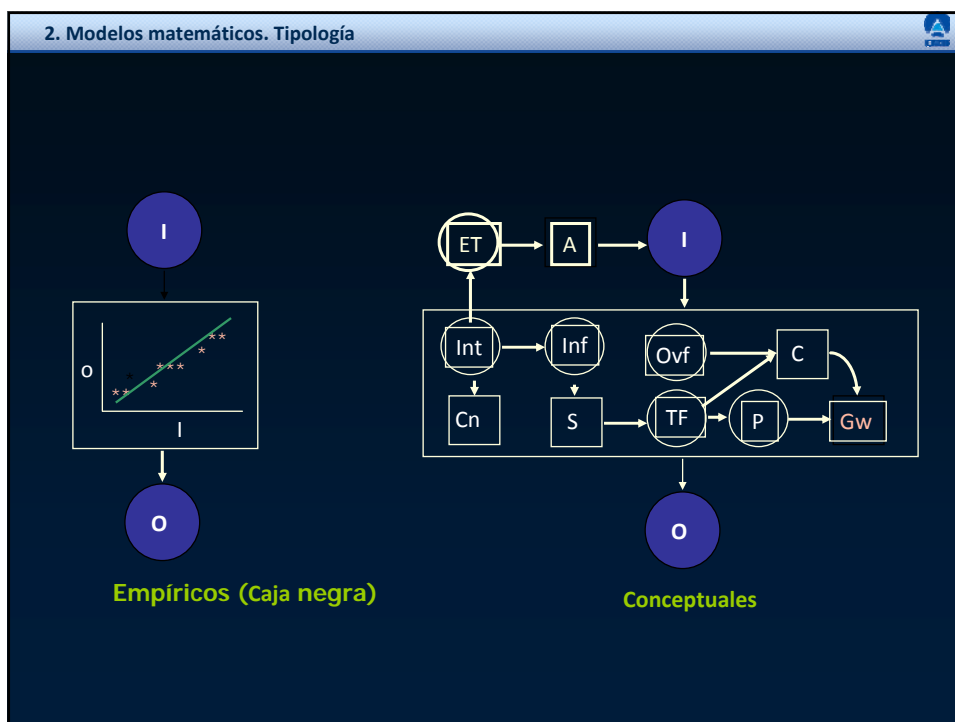
**Distribuido 3D**

2. Modelos matemáticos. Tipología

**Modelos empíricos**  
 Los hidrogramas se calculan a través de formulaciones experimentales (ejemplo: hidrograma unitario)

**Modelos conceptuales**  
 Las ecuaciones que utilizan se sustentan en una base física (ejemplo: onda cinemática, Sacramento)

	Empíricos	Conceptuales
Ventajas	Muy sencillos Fáciles de calibrar	Realistas Flexibles
Inconvenientes	Menor precisión Poco flexibles	Complejos, necesitan GIS Traslación de hidrogramas Dificultad de calibración



## 2. Modelos matemáticos. Tipología



### Modelos de proyecto

Se utilizan para **dimensionar** obras o para analizar extensión de zonas inundables.

Necesitan hipótesis subjetivas, relacionadas con uso posterior de los resultados

### Modelos predictivos

Buscan **estimar caudales futuros**, a corto plazo, a partir de datos observados y predicciones meteorológicas.

Necesitan alimentación continua de datos de redes hidrometeorológicas y predicciones meteorológicas

Una vez calibrados, pueden trabajar como herramientas automáticas

## 3. Modelos matemáticos. Conclusiones



- **Ninguna tipología de modelo es en principio superior a las demás**

La elección es subjetiva, y depende de

- ◆ *las necesidades del problema a resolver*
- ◆ *la disponibilidad de datos*
- ◆ *la experiencia del usuario*

- Los modelos continuos permiten prescindir del estado inicial y producen caudales de frecuencia de presentación conocida. La disponibilidad de datos limita su aplicación.

- Por lo general, los usuarios prefieren modelos que facilitan la parametrización (por ejemplo mediante GIS)

**Se debe elegir el modelo más simple posible,  
en función de los datos disponibles**

3. Modelos matemáticos. Conclusiones

**Los Sistemas de Información Geográfica están facilitando un intenso avance en las técnicas de modelación hidrológica**

- ✓ **Almacenamiento de parámetros y series temporales**
- ✓ **Preproceso de la información**
  - **Cálculo de parámetros a partir de coberturas vectoriales**
    - Número de curva
    - Precipitación media
    - Parámetros de transmisión de ondas de avenida
  - **Cálculo de parámetros a partir de coberturas raster y MDT**
    - Cuenca vertiente, cauce más largo
    - Otros parámetros (número de curva, etc.)
    - Precipitación media por subcuencas
- ✓ **Soporte de modelos de simulación**

MDT puede servir de soporte físico a los algoritmos de procesos hidrológicos
- ✓ **Posproceso y visualización de resultados**



3. Modelos matemáticos. Conclusiones

**Tendencias de la modelación hidrológica**

- *Automatización de labores tediosas (obtención de parámetros)*
- *Uso masivo de Sistemas de Información Geográfica*
- *Facilidades para la calibración (datos y algoritmos)*
- *Aumento progresivo de los modelos continuos para diseño*
- *Uso masivo de datos de sistemas de información en tiempo real*
- *Mejora de la prognosis de caudales en base a predicción meteorológica*
- *Mejora de los algoritmos de base física*

3. Modelos matemáticos. Reflexiones sobre modelo adoptado en la Guía

**Con los datos disponibles en la isla**

- Precipitación máxima diaria suficiente
- IDF mejorable
- Parámetros físicos buenos

**La geometría de los barrancos**

- Tiempos cortos de respuesta
- Red fluvial muy desarrollada
- Pendientes muy altas
- Forma de cuencas muy elongada

**Y la abundancia de datos en formato GIS**

- Cálculo de parámetros físicos
- Delimitación de subcuencas y propiedades



**Lo más aconsejable ha sido desarrollar la Guía con modelos agregados de tormenta, evitando el detalle y los problemas de la distribución espacial de parámetros**

3. Modelos matemáticos. Reflexiones sobre modelo adoptado en la Guía

**Metodologías de cálculo**

- Como consecuencia de que las **hipótesis aplicables a las llluvias** dependen del tamaño de las cuencas, la metodología que se utiliza en los cálculos hidrológicos extremos es diferente para cada grupo.

Cuencas	Uniformidad temporal	Uniformidad espacial	Area máx aproximada (km <sup>2</sup> )	Metodología clásica
Pequeñas	✓	✓	1-3	Método racional
Intermedias	✗	✓	100-200	Hidrograma Unitario
Grandes	✗	✗	Cualquiera	Descomposición en subcuencas

3. Modelos matemáticos. Reflexiones sobre modelo adoptado en la Guía



Metodologías de cálculo

En todos los casos, los cálculos constan de dos partes:

- **Obtención de la lluvia neta a partir del hietograma de proyecto**
  - Se descuentan las pérdidas con los métodos de cálculo de infiltración
- **Distribución temporal de la lluvia neta**
  - Cuando se llega a este paso, la cuenca es a todos los efectos impermeable, por lo cual la morfología de la cuenca es el único factor responsable

