

DISEÑO HIDROLÓGICO



Edición 2023

Rafael Terra

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

rterra@fing.edu.uy

DISEÑO HIDROLÓGICO

Objetivos

- ❖ Al finalizar el curso el estudiante estará en condiciones de evaluar el impacto de los eventos hidrológicos sobre un sistema hídrico y de **seleccionar magnitudes de diseño de las variables más importantes del sistema, para el control y uso del agua**, de modo que éste se comporte adecuadamente
- ❖ Proporcionar al estudiante los fundamentos del diseño hidrológico y la **evaluación del riesgo, en un contexto de cambio de uso del suelo, vulnerabilidad, variabilidad y cambio climático**, e introducir herramientas básicas de modelación hidrológica

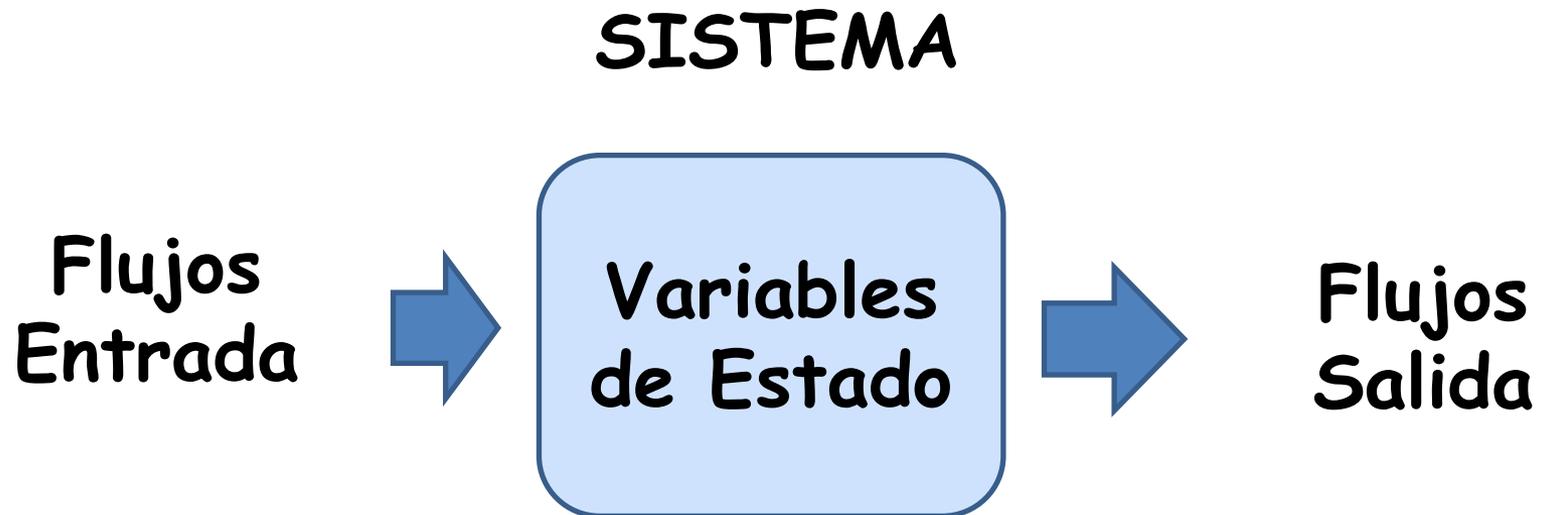
DISEÑO HIDROLÓGICO

Definición de trabajo: Diseño de infraestructura y procesos en un **sistema** sujeto al impacto de eventos hidrológicos para que éste se comporte dentro de los rangos deseados en **variables clave**.

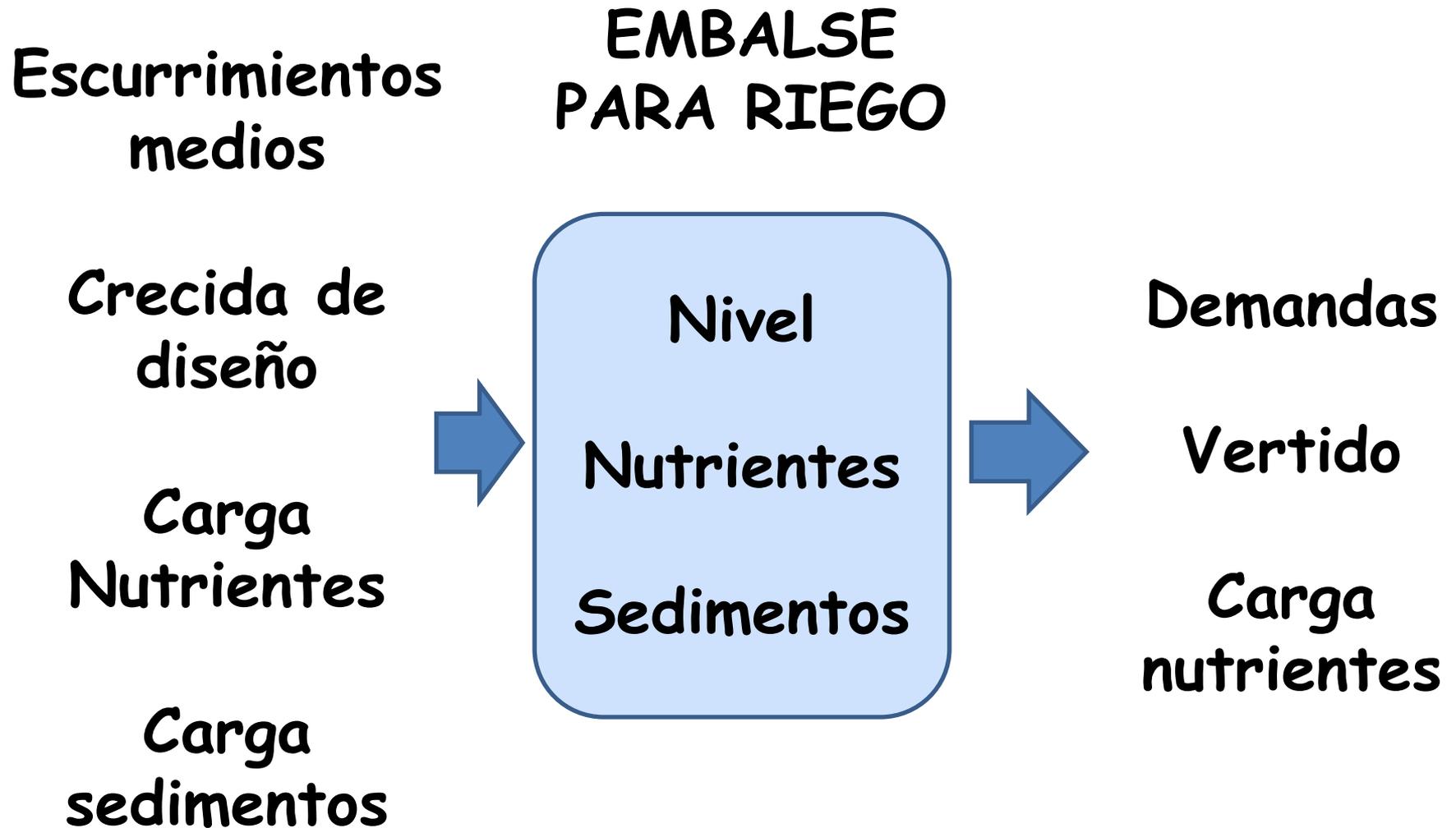
Además de la hidrología:

- ✓ Seguridad, paisajismo
- ✓ Salud Pública
- ✓ Ecología, economía
- ✓ Legislación vigente
- ✓ Geotécnica, ingeniería estructural
- ✓

1) DEFINICIÓN DEL SISTEMA



1) DEFINICIÓN DEL SISTEMA



1) DEFINICIÓN DEL SISTEMA

SISTEMA de POTABILIZACIÓN

Flujos
Entrada

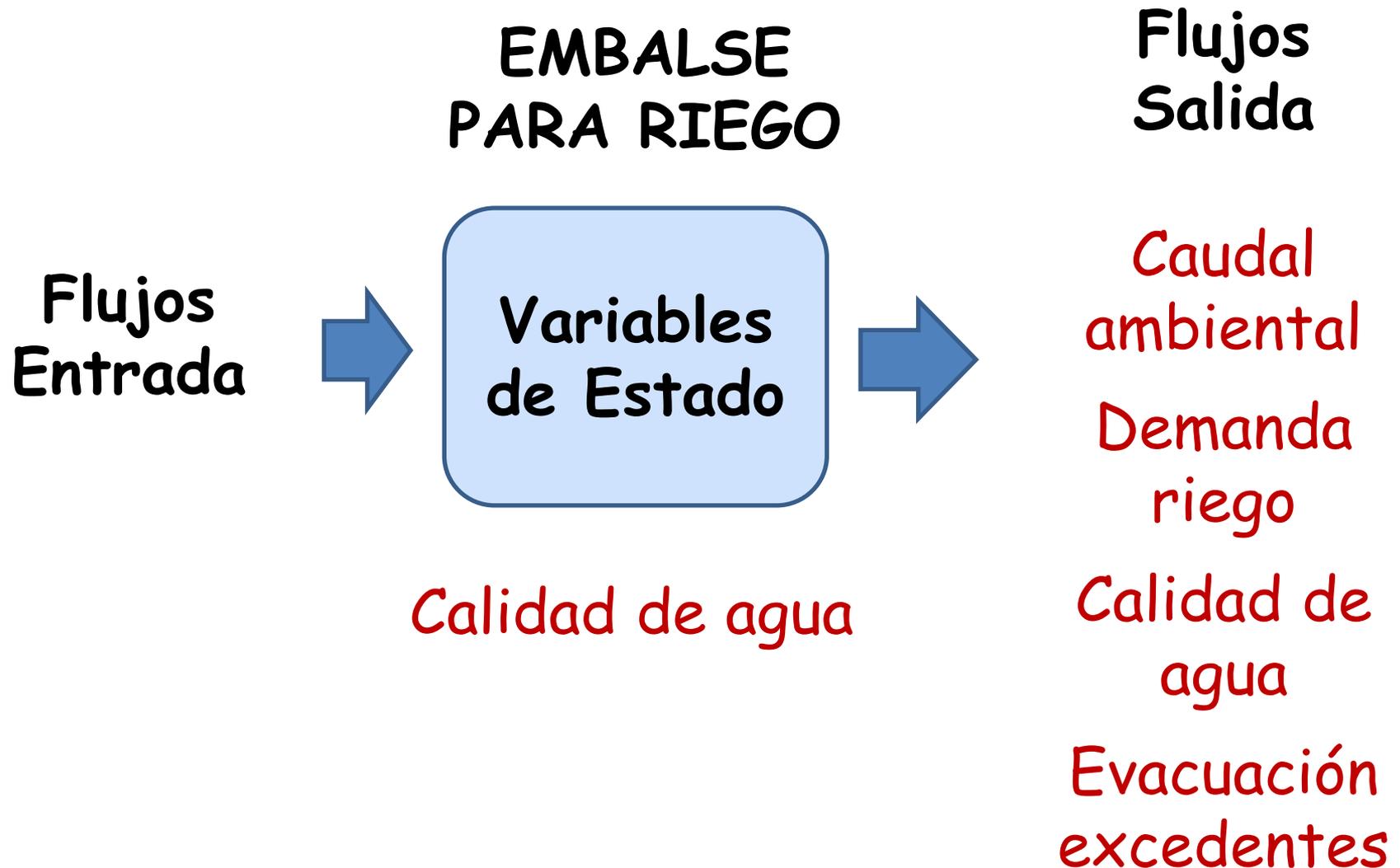


Flujos
Salida

2) PARÁMETROS DE DISEÑO

"Control" del agua	"Uso" del agua
<ul style="list-style-type: none">✓ Drenaje✓ Crecidas✓ Calidad✓ Sedimentos✓ Salinidad✓	<p>Consuntivo</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Suministro de agua potable (uso doméstico e industrial)✓ Riego <p>No consuntivo</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Generación hidroeléctrica✓ Recreación y mejora de la vida silvestre
Umbrales a cumplir	Satisfacción de demanda

2) PARÁMETROS DE DISEÑO



2) PARÁMETROS DE DISEÑO

SISTEMA de POTABILIZACIÓN

Flujos
Entrada



Flujos
Salida

3) INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS PASIBLE DE DISEÑO



3) INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS PASIBLE DE DISEÑO

SISTEMA de POTABILIZACIÓN

Flujos
Entrada



Flujos
Salida

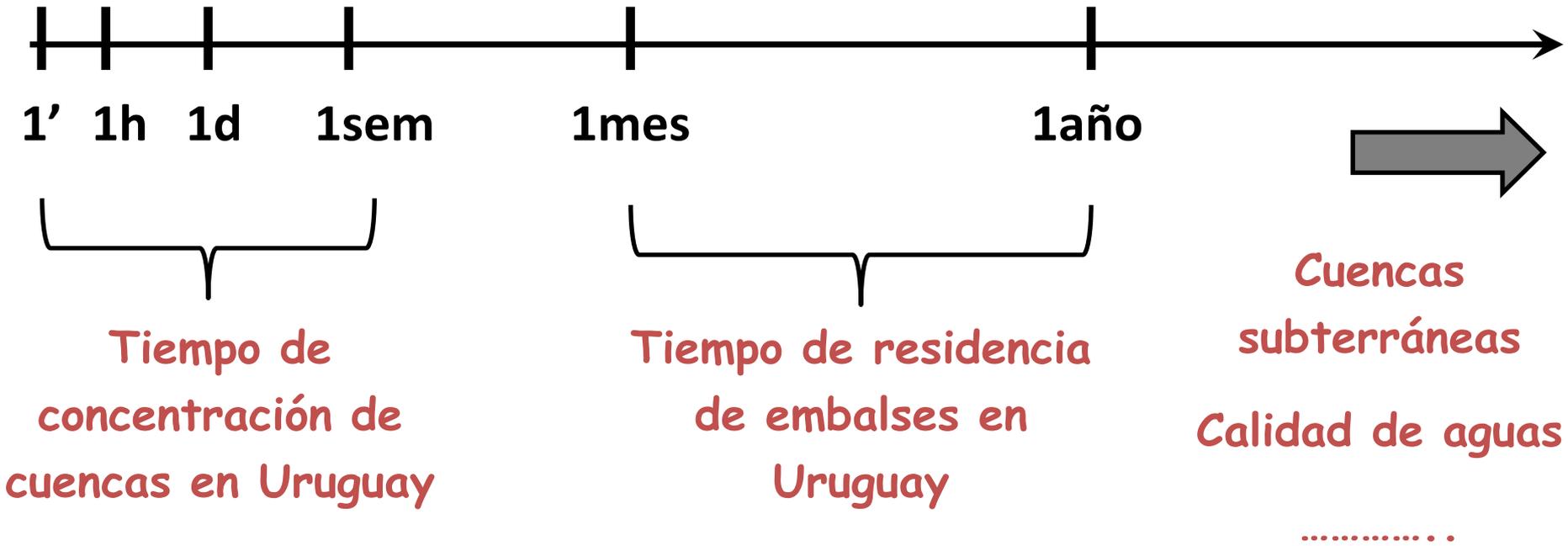
3) INFRAESTRUCTURA Y PROCESOS PASIBLE DE DISEÑO

CUENCA HIDROLÓGICA



*Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
en una cuenca hidrológica*

ESCALA TEMPORAL DE EVENTOS HIDROLÓGICOS



ESCALA TEMPORAL DE EVENTOS HIDROLÓGICOS

"Control" del agua	"Uso" del agua
<ul style="list-style-type: none">✓ Drenaje✓ Crecidas✓ Calidad✓ Sedimentos✓ Salinidad✓	<p>Consuntivo</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Suministro de agua potable (uso doméstico e industrial)✓ Riego <p>No consuntivo</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Generación hidroeléctrica✓ Recreación y mejora de la vida silvestre
<p>Eventos extremos de "corta" duración</p>	<p>Hidrograma completo (incluyendo colas)</p>

Gestión Integrada de Riesgos

SELECCIÓN DEL NIVEL DE DISEÑO

EVENTOS QUE
CONFIGURAN
EL DISEÑO

INFRAESTRUCTURA
Y PROCESOS
PASIBLE DE DISEÑO

$$\mathbf{Riesgo} = \left\{ \begin{array}{l} \textit{Evento} \\ \textit{Amenaza} \\ \textit{Peligro} \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \textit{Fiabilidad} \\ \textit{Exposición} \\ \textit{Falla} \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \textit{Pérdida} \\ \textit{Impacto} \\ \textit{Vulnerabilidad} \\ \textit{Daño} \\ \textit{Consecuencia} \end{array} \right\}$$



Probabilidad



Condicional
al evento



Si se da
la falla

Riesgo

Medida de la **probabilidad** y la **severidad** de un efecto adverso. Involucra una valoración de la amenaza y de sus consecuencias.

SELECCIÓN DEL NIVEL DE DISEÑO

PARA APROVECHAMIENTO O USO DEL AGUA

Aproximación empírica

- Se selecciona el/los evento(s) más extremo(s) de las observaciones pasadas como referencia de diseño.
- ¿Cuál es la limitación a tener un solo registro de una longitud dada?

Método de generación de caudales

- En base a modelos de base física/estadística que se pueda justificar que representan la distribución de eventos esperados

GESTIÓN DE RIESGOS

Aplicación sistemática de políticas de gestión, procedimientos y prácticas para identificar, analizar, valorar, mitigar y monitorizar el riesgo

❖ **Análisis de riesgos (*risk analysis*)**

- ✓ Delimitación del sistema, identificación de amenazas y modos de fallo
- ✓ Análisis de la probabilidad de ocurrencia
- ✓ Análisis de las consecuencias

❖ **Valoración de riesgos (*risk assessment*)**

❖ **Control de riesgos**

EVENTOS EXTREMOS

VALORES LÍMITES ESTIMADOS

- ❖ **Precipitación máxima probable (PMP):** "Una lámina de precipitación cercana al límite físico superior, para una duración dada, sobre una cuenca particular". OMM(1983)
 - ✓ Aplicación de modelos de tormenta
 - ✓ Maximización de tormentas reales utilizando las lluvias más intensas registradas en el mundo
 - ✓ Cartas generalizadas de PMP
- ❖ **Creciente máxima probable (CMP)**
 - ✓ Modelación lluvia - escorrentía

PADE (Plan de Acción Durante Emergencias): CTM - UTE

EVENTOS EXTREMOS

LÍMITES BASADOS EN PROBABILIDADES

El cálculo de las dimensiones del vertedero se realiza a partir del tránsito en el embalse de una avenida extraordinaria de período de retorno Tr

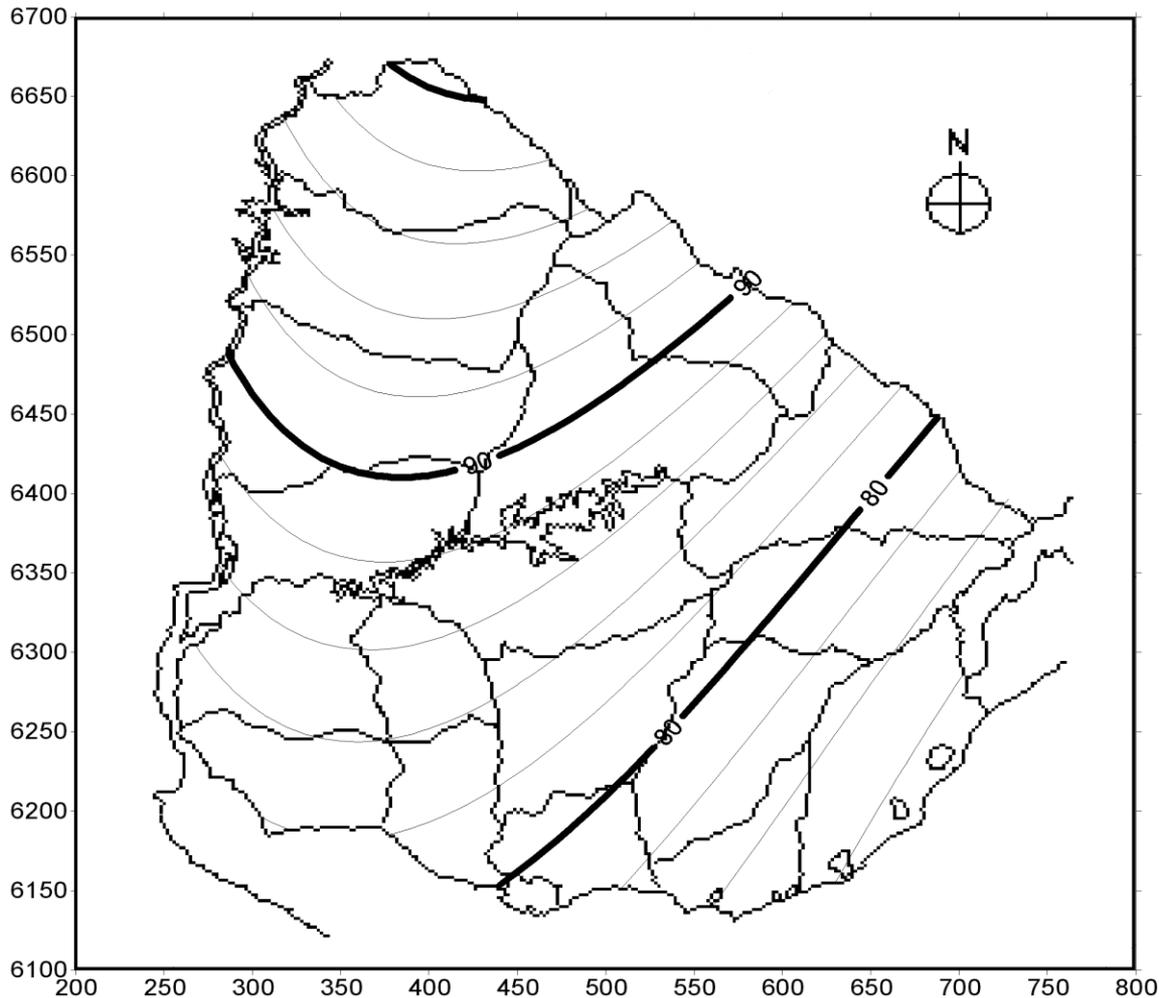
Manual de diseño y construcción de pequeñas presas, propone:

- Para tajamares y presas < a 5 metros de altura, $Tr = 50$ años
- Para pequeñas presas: $Tr = 100$ años

En todos los casos corresponderá verificar que la inundación que provoque la eventual falla de la presa por sobrepaso no tenga como potencial consecuencia la pérdida de vidas o daños importantes a terceros o al medioambiente.

EVENTOS EXTREMOS

LÍMITES BASADOS EN PROBABILIDADES



**Precipitación
de 3 horas de
Duración
y
10 años de
Período de
Retorno**

EVENTOS EXTREMOS

LÍMITES BASADOS EN PROBABILIDADES

Características de la superficie		PERÍODO DE RETORNO (años)						
		2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas								
Asfáltico		0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo		0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)								
Condición pobre (cobertura de pasto menor del 50 % del área)								
Plano,	0-2 %	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio,	2-7 %	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente superior a	7 %	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cobertura de pasto del 50 al 75 % del área)								
Plano,	0-2 %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio,	2-7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a	7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cobertura de pasto mayor del 75 % del área)								
Plano,	0-2 %	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio,	2-7 %	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente superior a	7 %	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas								
Áreas de cultivos								
Plano,	0-2 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio,	2-7 %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente superior a	7 %	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales								
Plano,	0-2 %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio,	2-7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente superior a	7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques								
Plano,	0-2 %	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio,	2-7 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente superior a	7 %	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Tabla 3.2 Coeficientes de escorrentía (Extraído de la Tabla 15.1.1, Chow 1994)

GESTIÓN DE RIESGOS

Aplicación sistemática de políticas de gestión, procedimientos y prácticas para identificar, analizar, valorar, mitigar y monitorizar el riesgo

❖ **Análisis de riesgos** (*risk analysis*)

- ✓ Delimitación del sistema, identificación de amenazas y modos de fallo
- ✓ Análisis de la probabilidad de ocurrencia
- ✓ Análisis de las consecuencias

❖ **Valoración de riesgos** (*risk assessment*)

❖ **Control de riesgos**

SELECCIÓN DEL NIVEL DE DISEÑO

VALORACIÓN de RIESGOS

Evaluar si los riesgos estimados durante el análisis de riesgos son tolerables o no

Análisis de costo-beneficio.

El período de retorno de diseño óptimo puede determinarse mediante un análisis hidroeconómico. Para ello es necesario conocer la probabilidad un evento o un rango de eventos hidrológicos y la magnitud de los daños asociados.

SELECCIÓN DEL NIVEL DE DISEÑO

EJEMPLO: Costos por daños causados por crecidas urbanas

❖ Costos para los damnificados

- ✓ Pérdidas de ingreso o lucro cesante
- ✓ Pérdidas materiales

❖ Costos para la comunidad

- ✓ Evacuación y traslado
- ✓ Alimentación; Abrigo; Salud; Retorno

❖ Infraestructura

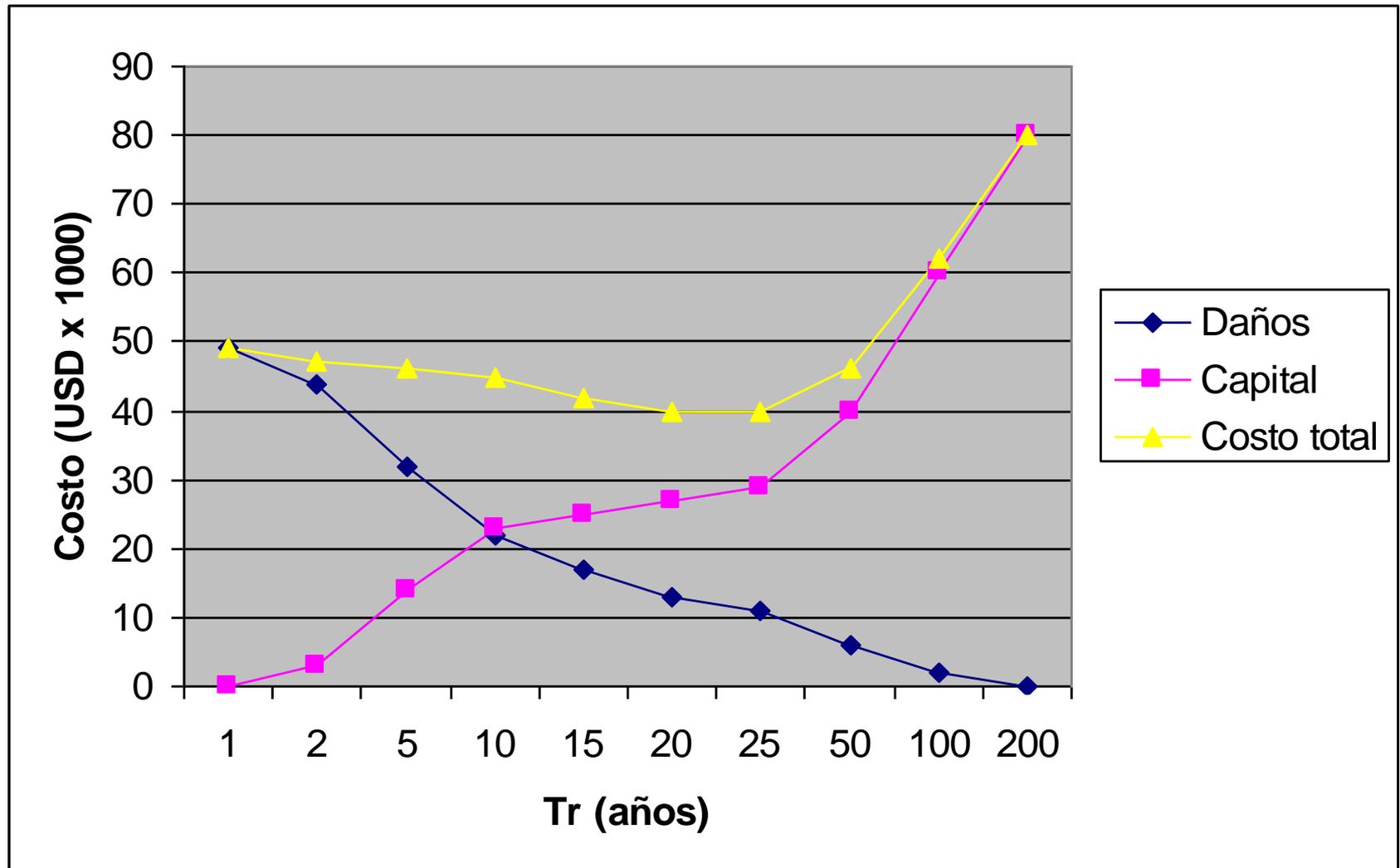
❖ Turismo

SELECCIÓN DEL NIVEL DE DISEÑO

Análisis de costo-beneficio.

- ❖ A medida que el **período de retorno de diseño** se incrementa, los **costos de capital** de la estructura aumentan, pero los **daños esperados** disminuyen debido a que se proporciona una mejor protección.
- ❖ Sumando los costos de capital y los costos de los daños esperados anualmente, puede encontrarse el período de retorno de diseño con menor costo total (capital+daños).

SELECCIÓN DEL NIVEL DE DISEÑO



DISEÑO HIDROLÓGICO

Objetivos

- ❖ Al finalizar el curso el estudiante estará en condiciones de evaluar el impacto de los eventos hidrológicos sobre un sistema hídrico y de **seleccionar magnitudes de diseño de las variables más importantes del sistema, para el control y uso del agua**, de modo que éste se comporte adecuadamente
- ❖ Proporcionar al estudiante los fundamentos del diseño hidrológico y la **evaluación del riesgo, en un contexto de cambio de uso del suelo, vulnerabilidad, variabilidad y cambio climático**, e introducir herramientas básicas de modelación hidrológica