

ALCANCES Y LIMITACIONES DE LOS CONCEPTOS Y CÁLCULOS HIDROLÓGICOS EN LA DETERMINACIÓN DE LAS LÍNEAS DE RIBERA Y RIESGO HÍDRICO

ING. CARLOS U. PAOLI

- Director del Centro Regional Litoral-INA
- Profesor Titular de Hidrometeorología e Hidrología

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas-UNL

cpaoli@ciudad.com.ar; ingenieropaoli@fich.unl.edu.ar

Interés de las Líneas de Ribera y de Riesgo Hídrico

Dado que la constitución establece que los ríos son bienes de dominio público, es necesario definir territorialmente hasta donde llegan

Por otra parte las afectaciones que los ríos producen en sus valles de inundación que ocupan periódicamente requieren de la regulación territorial del uso de estas zonas con la finalidad de evitar pérdida de vidas humanas y mitigar daños

Finalidad de determinar la línea de ribera:
deslindar en ríos y lagos el dominio público del privado

Finalidad de determinar líneas de riesgo hídrico: establecer restricciones al uso mediante un régimen legal especial en zonas inundables de dominio privado o público

Ambas están relacionadas con la magnitud que se adopte de las **crecidas** de los cursos de agua

QUIEN Y COMO SE ADOPTAN ESTAS MAGNITUDES DE CRECIDAS?

Línea de Ribera vs Crecidas

- Se entiende por río el agua, las playas y el lecho por donde corre, delimitado por la **línea de ribera que fija el promedio de las máximas CRECIDAS ORDINARIAS**. Por lago o laguna se entiende el agua, sus playas y su lecho, respectivamente, delimitado de la misma manera que los ríos; (Art 235, inc c, Nuevo Código Civil y Comercial, 2015)
- Cauce del río. No constituye aluvión lo depositado por las aguas que se encuentran comprendidas en los límites del cauce del río determinado por la **línea de ribera que fija el promedio de las máximas CRECIDAS ORDINARIAS**. (Art 1960)

Línea de Ribera vs Crecidas

Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en **las máximas CRECIDAS ORDINARIAS**. Se considerará como **caudal de la máxima CRECIDA ORDINARIA la media de los máximos caudales anuales**, en su régimen natural, producidos durante diez años consecutivos, que sean representativos del comportamiento hidráulico de la corriente. (Texto Refundido de la Ley de Aguas de España, Real Decreto Legislativo 1/2001, modificado por la ley 62/2003).

Línea de Ribera vs Crecidas

Crecida de diseño para la línea de ribera fluvial. Es **la crecida máxima anual media, obtenida como promedio de los caudales pico de las mayores crecidas de cada año** con registros completos y confiables, o el resultado con que se sustituya numéricamente esa cifra conforme al estado del arte en el momento del cálculo si los registros no fuesen completos o confiables. En caso de ausencia de datos de escurrimiento, se toma el pico de la crecida tipo obtenida de la tormenta regional máxima media, transformada en caudales. (Cano y otros, 1988-95)

Conceptos de Crecidas

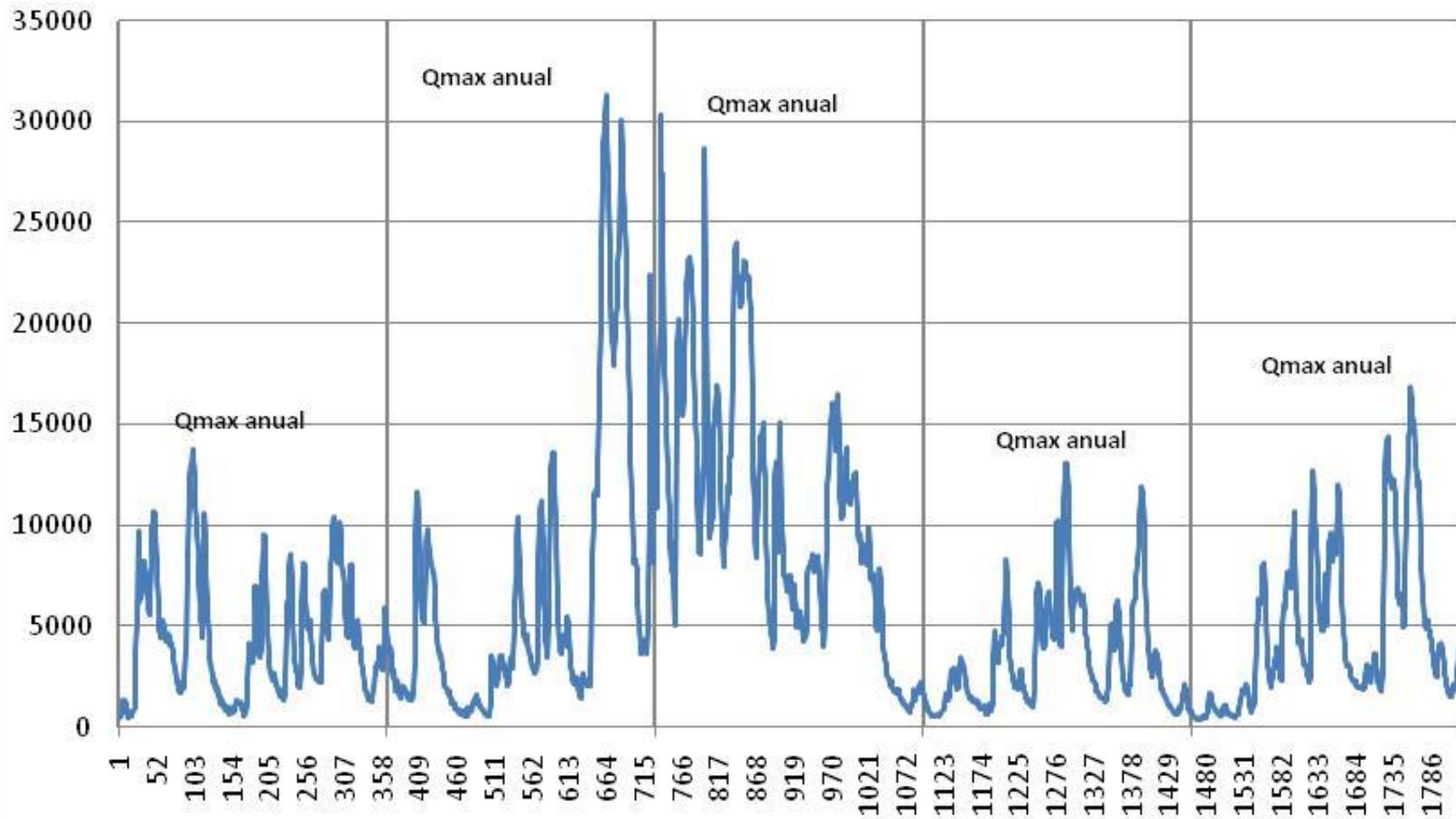
Crecida: Proceso de elevación de las aguas de un curso o cuerpo de agua hasta un máximo a partir del cual descienden. La crecida es producida por una parte del total de precipitación caída sobre el área de captación que se transforma en escurrimiento.

Las crecidas presentan un ciclo anual similar al resto de los fenómenos hidrológicos, por lo cual las crecidas de cada año hidrológico son estadísticamente un subconjunto de la población total de crecidas.

Crecidas ordinarias: No tienen una definición estipulativa, son las habituales?, son las cercanas a la media?, son las que no desbordan el cauce principal?, son las mas frecuentes?

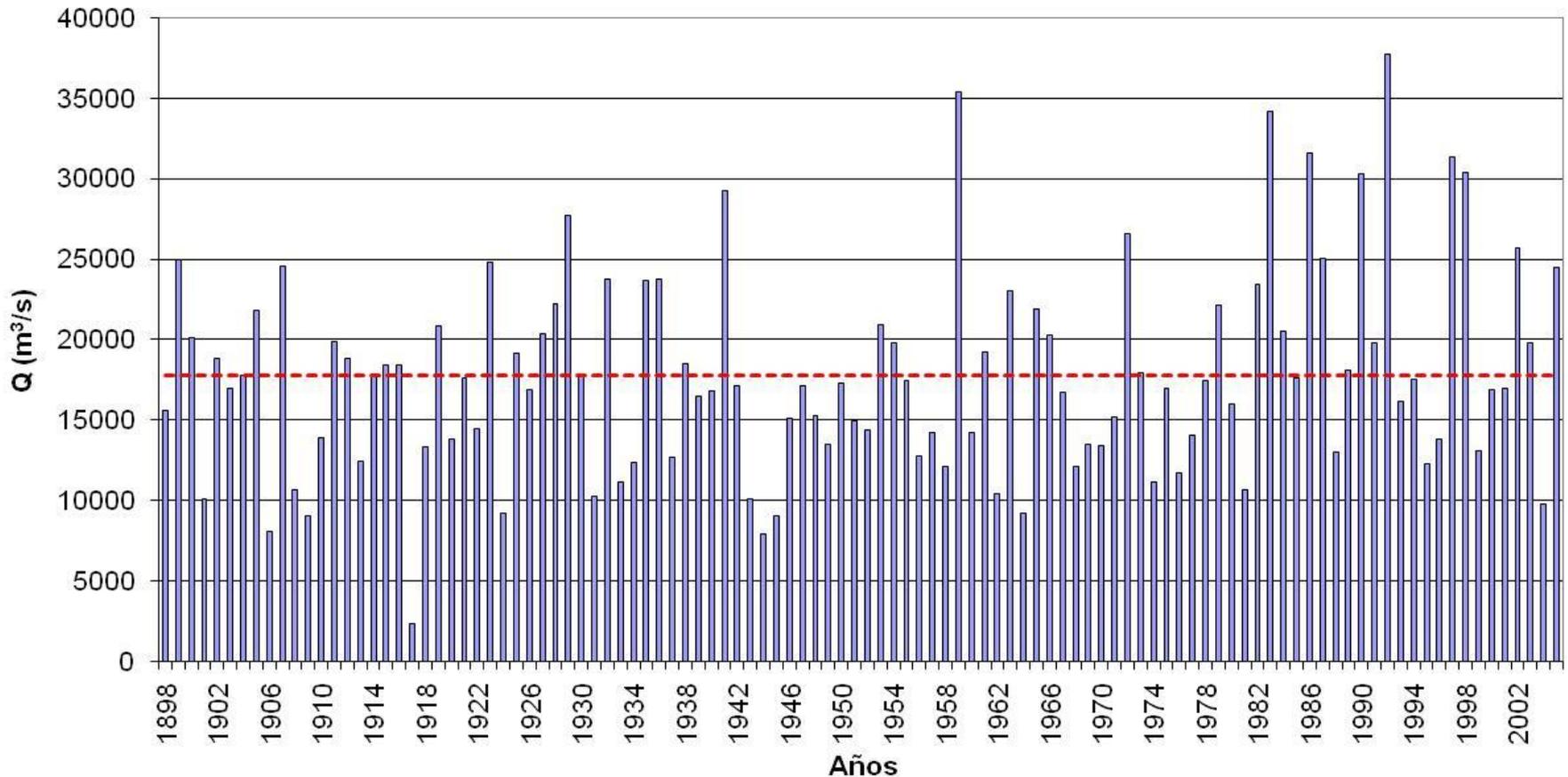
De cada año se selecciona el pico de la mayor crecida

Caudales diarios Río Uruguay 1996-2000



Con los picos máximos seleccionados de cada año se conforma la serie a analizar, completa o períodos seleccionados

Caudales máximos río Uruguay
Serie civil 1898-2005



La Adopción de la Crecida máxima anual media y su Recurrencia para la Determinación de la Línea de Ribera.

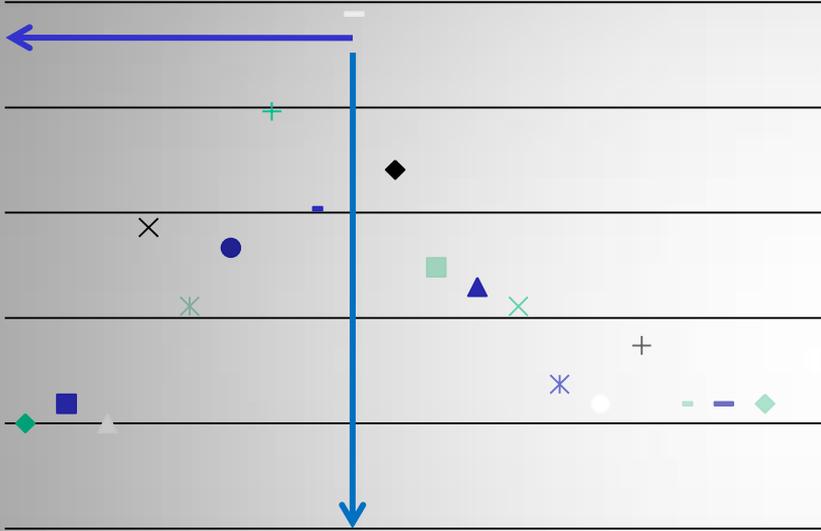
Si el cauce principal del río está modelado para transportar sin desbordamiento hacia el valle de inundación a la **crecida máxima anual “media”** que puede ser representada por:

- el promedio
- la mediana (valor de igual probabilidad de ser o no superado)
- la moda (valor mas frecuente).

Considerando a las crecidas máximas anuales como eventos independientes distribuidos según una ley de probabilidades, se correspondería con lo que se definió como “mediana”, es decir el evento que tiene la misma probabilidad anual (50 %) de ser superado como de no serlo.

A partir de la frecuencia empírica de los Q max anuales se ajustarán luego distribuciones de Frecuencia Teórica para calcular T

Frecuencia de Q max anuales - Río Uruguay



Título del gráfico

Frecuencia empírica acumulada:

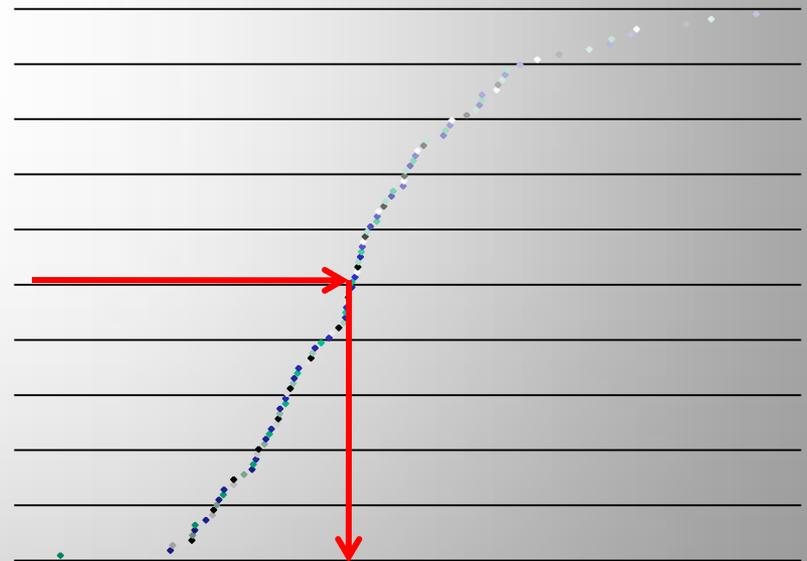
$$F(Q) = i / (n + 1)$$

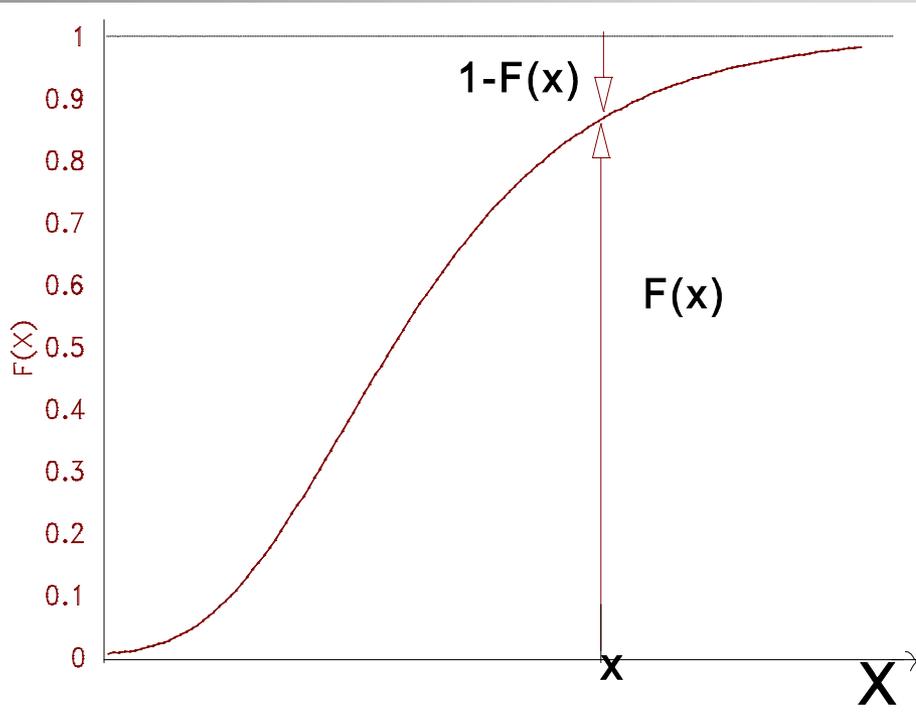
i: n° de orden de menor a mayor

n: cantidad de datos (108 años)

Frecuencia de clases: Porcentaje de crecidas, respecto al total (108) en intervalos de 2.000 m³/s

Frecuencia acumulada de Q max - Río Uruguay





$F(x)$: es la probabilidad de que $X \leq x$

$1 - F(x)$: es la probabilidad de que $X > x$

$$T = \frac{1}{F(x)}$$

período de tiempo promedio en años durante el cual el valor de x **no es superado**.

$$T = \frac{1}{1-F(x)}$$

período de tiempo promedio en años durante el cual **se alcanzaría o superaría el valor de x al menos una vez**

Dado que la inversa de la probabilidad anual es el período de retorno o recurrencia, al ser la probabilidad anual del 0.5, la recurrencia es de 2 años.

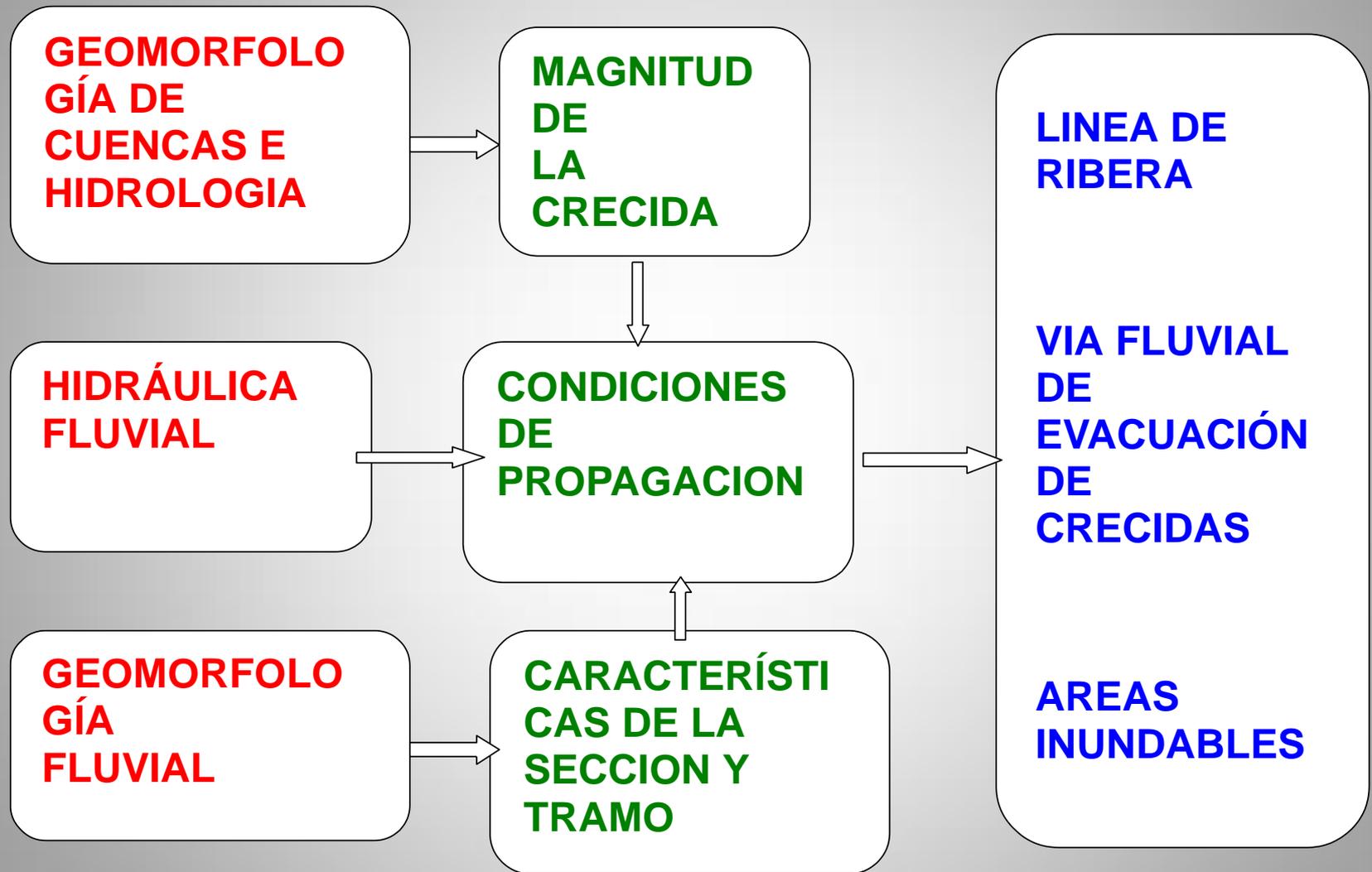
En general los eventos de máximas crecidas anuales no presentan una distribución normal, sino asimétrica, con coeficiente de asimetría positivo, por lo cual no coinciden la media, la mediana y la moda.

Desde un punto de vista práctico y dado que las diferencias entre la crecida anual de recurrencia 2 años (mediana) y el promedio de las máximas crecidas anuales puede no ser significativa, es lo que lleva a adoptar a ésta última como crecida de diseño para línea de ribera:

Magnitud y recurrencia de las líneas de riesgo hídrico

- Zonificación según impactos y tipo de restricciones a establecer: Vía de evacuación de crecidas (entre 5 y 25 años), Zonas Inundables (entre límite anterior y 100 o 500 años o máxima registrada)
- Diferenciar entre Líneas de un determinando riesgo hidrológico de la amenaza de las Líneas de Riesgo de Afectación por inundación (producto de la amenaza por la vulnerabilidad)
- Considerar para el establecimiento de zonas de distinta peligrosidad el binomio velocidad-tirante
- Tener en cuenta las incertidumbres de cada caso

PROCEDIMIENTOS GLOBALES



Incertidumbres en los cálculos hidrológicos

Incertidumbres en la determinación de la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos hidrológicos

- **Variabilidad natural de los eventos extremos**
- **Disponibilidad y deficiencia en la información, longitud de los registros**
- **Métodos y modelos de análisis**

Incertidumbre por cambios globales y puntuales

- **Cambio climático**
- **Cambios fisiográficos por modificaciones progresivas naturales**
- **Modificaciones en el uso del suelo**
- **Modificaciones por obras**

Variabilidad de los estadísticos muestrales según período

Río Uruguay distintos periodos entre 1898 y 2005

Caudales máximos anuales (m³/s):

CRECIDA MAXIMA MEDIA ANUAL Y CRECIDA MAXIMA DE RECURRENCIA 2 años

Serie	MEDIA	DESVIO	COEF ASIM	COEF VARIAC	COEF CURT	MAXIMO	MINIMO
Serie 1898 -2005 T = 2 años	17738 16834	6354	0,75	0,36	3,65	37714	2350
Serie 1898 -1950 T = 2 años	16606 16487	5529	-0,30	0,33	2,72	29234	2350
Serie 1951 - 2005 T = 2 años	18829 17284	6935	1,00	0,37	3,14	37714	9194
Serie 1898 - 1970 T = 2 años	16663 16234	5591	0,46	0,34	3,76	35431	2350
Serie 1971 - 2005 T = 2 años	19980 18532	7295	0,75	0,37	2,45	37714	9746
Serie 1981 - 2005 T = 2 años	21206 19977	7860	0,49	0,37	1,98	37714	9746

Variabilidad de los valores estimados para diferentes T, según período

Río Uruguay en Salto Grande - Q max (m³/s)

T (años)	1898-2005	1898-1950	1951-2005	1898-1970	1971-2005	1981-2005
2	16674	15650	17670	15716	18731	19828
5	22397	20790	23903	20810	25453	27241
10	26187	24193	28029	24183	29903	32150
25	30975	28493	33243	28445	35527	38352
50	34527	31683	37111	31606	39698	42953
100	38053	34850	40951	34745	43839	47520
200	41566	38005	44776	37871	47965	52071
1.000	49704	45313	53638	45114	57522	62612

Incertidumbres en los cálculos hidrológicos

Incertidumbre en los métodos de transformación lluvia-caudal

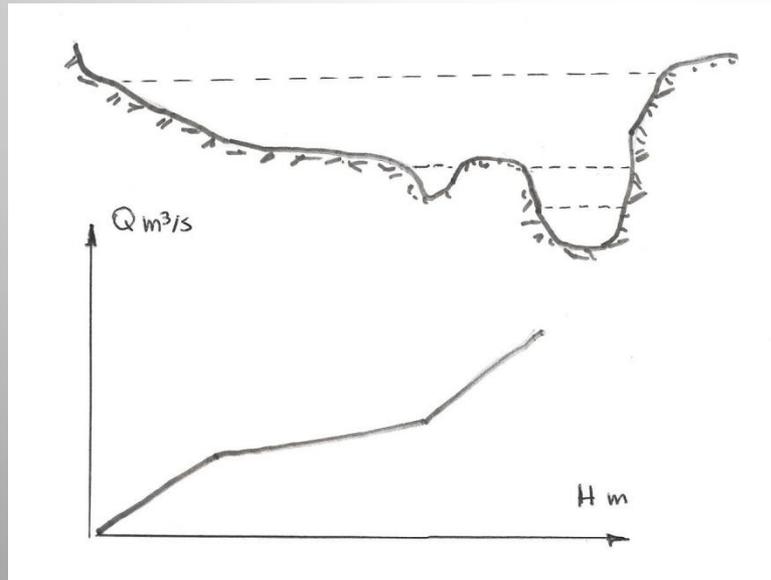
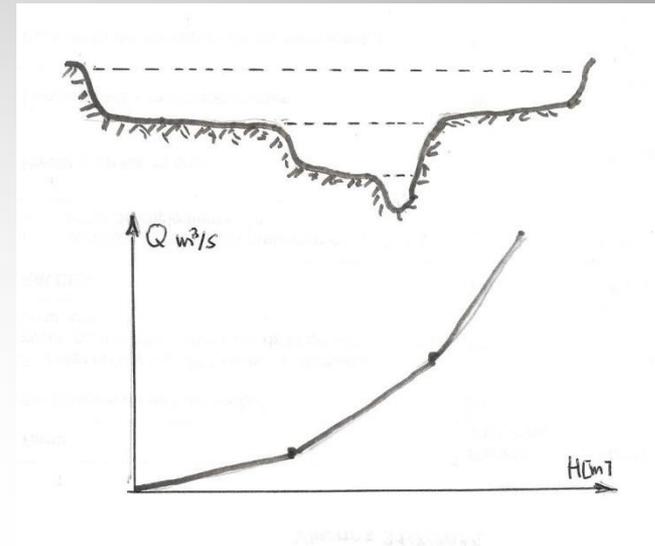
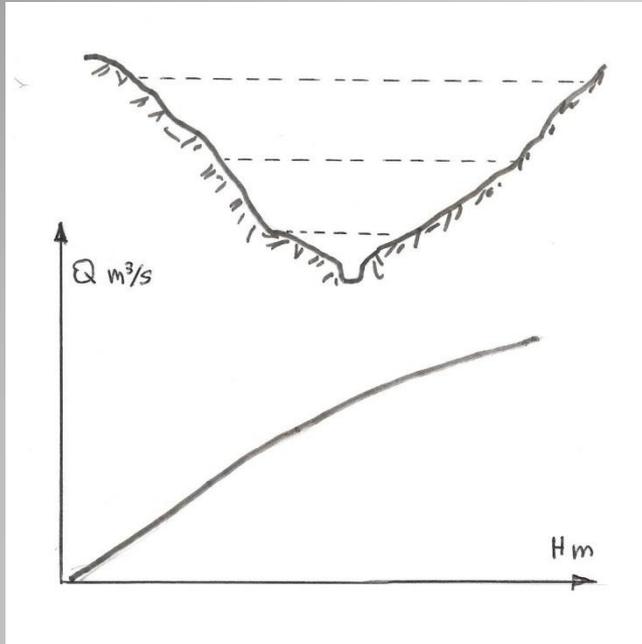
- **Característica y grado de detalle del método o modelo**
- **Disponibilidad y deficiencia de la información de la cuenca**
- **Método de estimación de parámetros y posibilidad de calibración**

Incertidumbre en los métodos de transformación H-Q y de propagación

- **Estabilidad del cauce, desarrollo, perfil longitudinal y secciones transversales**
- **Disponibilidad y calidad de los registros de niveles y aforos, características y confiabilidad de las curvas H-Q**
- **Métodos propagación y de estimación de parámetros**

A considerar.....

- *Dentro de una misma cuenca puede encontrarse cursos o tramos con diferentes características*
- *Una crecida puede ser de distinta importancia según la variable (caudal, altura, duración, volumen) que se analice y puede ser distinta a lo largo de todo el tramo del río.*
- *La variable original de un curso de agua es su caudal. Los niveles que alcanza el agua en una sección dependen de la configuración geométrica de la misma y de las características de pendiente y rugosidad del tramo.*
- *La curva H-Q, además de ser no lineal, puede ser variable temporalmente. Por tal razón, los análisis probabilísticos de caudales y de niveles máximos en una misma sección, pueden no ser totalmente correspondientes*



**Distintos tipos de H-Q
según conformación de
la sección transversal**

Líneas de Ribera y de Riesgo Hídrico en el marco de la Gestión Integrada de Crecidas

Tener en cuenta el Estudio Hidrológico de la cuenca en su conjunto y no solo para una sección o sitio

Distintos ambientes geográficos requieren la adopción de distintas magnitudes de crecidas para las LR y RH

Para determinación de la LR, el solo calculo hidrológico sin el apoyo de la geomorfología fluvial puede resultar inconsistente

Incorporar la Gestión del Riesgo para la determinación de LRH y considerar las características sociales de la población para las restricciones a establecer.

Fases para la concreción de la LR y los Estudios Hidrológicos

Definición de la Línea de Ribera: se refiere a la cuestión conceptual; que es la Línea de Ribera desde el punto de vista jurídico y técnico.

Determinación de la Línea de Ribera: se refiera a los procedimientos y metodologías para llegar a las cotas que corresponderán a la Línea de Ribera según se la ha definido.

Delimitación de la Línea de Ribera: se refiere al volcado en planos y cartografía de la traza de la Línea de Ribera que ha sido determinada.

Demarcación de la Línea de Ribera: se refiere al proceso de replanteo y materialización en el terreno de la línea, y que se refleje en los planos catastrales.

PAUTAS Y METODOLOGÍAS A CONSIDERAR EN UNA GUIA

Estudios hidrológicos para la determinación de la magnitud de la crecida,

- **Métodos Directos de Análisis de Frecuencia**
 - Tratamiento y análisis de los datos**
 - Análisis de frecuencia de crecidas en un sitio**
 - Análisis regional de frecuencia de crecidas**
- **Métodos indirectos - transformación lluvia-caudal**
 - Modelos de eventos**
 - Modelos continuos de transformación lluvia-caudal**

Estudios geomorfológicos de la cuenca y el sistema fluvial

Mapa geomorfológico de la cuenca (para análisis regional y de transformación lluvia-caudal)

Mapa geomorfológico del río o cuerpo de agua

Estudios hidráulicos de la sección y el tramo

Análisis de Curvas de descarga

Niveles en régimen permanente

Transito de crecidas

LIMITACIONES PARA LA APLICACIÓN DE NORMATIVAS Y PROCEDIMIENTOS.

- Cada caso a resolver involucra a un curso o cuerpo de agua que tiene su particularidad
- No existe un método analítico único para ser aplicado en forma sistemática para cualquier caso a resolver
- Cuanto menos información de base se dispone, especialmente registros hidrológicos y relevamientos topográficos, se hacen mas dificultosas las determinaciones a realizar

LIMITACIONES PARA LA APLICACIÓN DE NORMATIVAS Y PROCEDIMIENTOS.

- Los procedimientos recomendados no dejan de ser conceptual y operacionalmente complejos y se requiere por lo tanto de profesionales especializados y preparados
- Para hacer una buena aplicación es necesario realizar el estudio geomorfológico e hidrológico-hidráulico del curso o cuerpo de agua en cuestión
- La realización de estos estudios requiere de tiempo y costos que casi siempre resultan escasos

ALGUNAS CUESTIONES EN LA QUE SERIA DE UTILIDAD AVANZAR.

- Es conveniente planificar una tarea de mediano plazo para la realización de la delimitación de LR y Líneas de afectación en cada territorio provincial, estableciendo prioridades, necesidades de información y costos.
- Resulta de utilidad el reflatar la idea de una ley nacional que de marco a las distintas legislaciones y normativas provinciales ??
- Al menos en los ríos y lagos Interprovinciales o transprovinciales es conveniente la aplicación de un mismo criterio o método.
- Es necesario avanzar en definir parámetros referentes a lo que significa la “alteración del escurrimiento” que habitualmente se mencionan como restricciones de uso u ocupación de zonas con riesgo de inundación.