

Los estudios de peligrosidad en la delimitación del Dominio Público Hidráulico y las zonas inundables

Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Málaga
Enero de 2010

Antonio Gallegos Reina
MEDIODES, Consultoría Ambiental y Paisajismo





Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	2
2.	NOCIONES BÁSICAS SOBRE EL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y EL ÁREA INUNDABLE DE UN RÍO	3
2.1	El Dominio Público Hidráulico (D.P.H.).....	3
2.2	La zona inundable	3
3.	EL NUEVO REGLAMENTO DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO	4
3.1	La incorporación de las directivas europeas a la legislación estatal y la nueva sensibilidad respecto a los ríos y la gestión de riesgos.	4
3.2	Definición de cauce	5
3.3	Definiciones de las zonas de servidumbre y policía	5
4.	EL ESTUDIO DE PELIGROSIDAD EN LA DELIMITACIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y LA ZONA INUNDABLE	7
4.1	El estudio hidrológico.....	7
4.2	El estudio hidráulico.....	9
4.3	La incorporación de los criterios geomorfológicos, ecológicos e históricos	12
4.3.1	El DPH, la zona de policía y la zona inundable según criterios geomorfológicos	12
4.3.2	Primer paso: delinear los cauces actual e histórico, incluyendo sus principales elementos geomorfológicos y ecológicos	12
4.3.3	Principales características geomorfológicas y de dinámica fluvial	13
4.3.3.1	<i>Ríos trezados y meandriformes.....</i>	13
4.3.3.2	<i>La energía y el comportamiento meandrizante de los ríos</i>	13
4.3.3.3	<i>Meandros abandonados y canales abandonados.....</i>	14
4.3.3.4	<i>Peligros asociados a avenidas: movimientos de ladera próximos al cauce (existentes o potenciales)</i>	15
4.3.3.5	<i>Otros fenómenos geológicos a considerar</i>	16
4.3.4	El caso particular de las ramblas mediterráneas	16
4.3.5	Paleohidrología: depósitos y marcas de paleoinundaciones.....	17
4.3.6	Los estudios históricos en el análisis de peligrosidad de inundaciones	18
4.3.7	El criterio ecológico	18

1. INTRODUCCIÓN

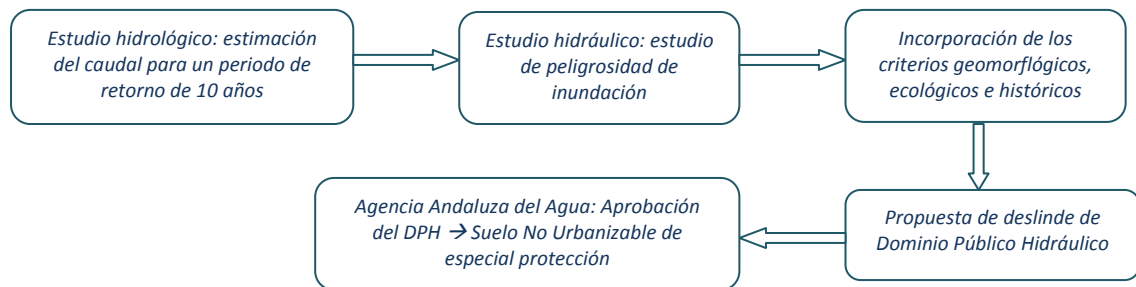
- Las inundaciones son los **desastres naturales con mayor repercusión socioeconómica**, y tal como reconoce el nuevo reglamento de Dominio Público Hidráulico, es “uno de los aspectos fundamentales que debe gestionar todo país moderno”.
- Así, la gestión del riesgo de inundación se ha convertido en un **tema de gran interés**, que está generando una extensa producción científica y está moviendo un importante mercado de trabajo.
- Además, con la nueva legislación europea y con el citado nuevo reglamento de DPH, los estudios de delimitación del DPH y de zona inundable han sumado componentes que lo hacen:
 - o **más multidisciplinar**
 - o **más cercano a la realidad**
 - o **más respetuoso con la ecología del río.**
- Todo esto lo hace especialmente **interesante para el geógrafo**, pues si bien antes este tipo de estudio eran competencia de ingenieros, ahora hace falta un equipo multidisciplinar, o como suele ocurrir en la realidad, no un equipo, sino solamente un profesional multidisciplinar
- En este taller vamos a repasar de un modo práctico los pasos para hacer el estudio, pero dedicaré más tiempo a las **novedades introducidas por el reglamento**
- Los **apartados** que veremos son los siguientes:
 1. Nociones básicas del DPH y zona inundable
 2. Novedades del nuevo reglamento de DPH
 3. Proceso del estudio
 - a. Estudio hidrológico
 - b. Estudio hidráulico
 - c. La incorporación de los criterios geomorfológicos, históricos y ecológicos

2. NOCIONES BÁSICAS SOBRE EL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y EL ÁREA INUNDABLE DE UN RÍO



2.1 El Dominio Público Hidráulico (D.P.H.)

- El Dominio Público Hidráulico es una franja variable de protección de cauces cuyo objetivo es **proteger ambientalmente** el cauce y sus ecosistemas fluviales, y **prever el terreno necesario para evacuar determinadas avenidas**.
- Esta avenida a la que hacemos referencia se basa en datos estadísticos de pluviometría, y equivale a la máxima lluvia diaria (24 horas) que se espera en una determinada región en un **periodo de tiempo de 10 años**.
- La franja de terreno resultante de esta estimación hidrológico-hidráulica, junto con factores ecológicos, geomorfológicos e históricos, delimitarán la **propuesta de deslinde de DPH**
- Esta propuesta luego debe ser aprobada por la **Agencia Andaluza del Agua**, pasando a convertirse en el Dominio Público Hidráulico de ese río o tramo de río.
- Una vez aprobado por la AAA, este suelo pasará a considerarse **Suelo No Urbanizable de Especial Protección**.



2.2 La zona inundable

- La zona inundable es una franja de protección frente a inundaciones, necesaria para evacuar avenidas cuyo **periodo estadístico de retorno sea 500 años**
- La franja de terreno resultante de esta estimación hidrológico-hidráulica, junto con factores geomorfológicos e históricos, delimitarán la **propuesta de zona inundable**
- Una vez aprobado por la AAA, este suelo no cambiará su calificación jurídica, pero sí pasará a tener ciertas **restricciones de uso** (en Andalucía, por ejemplo, pasará a ser suelo no edificable)

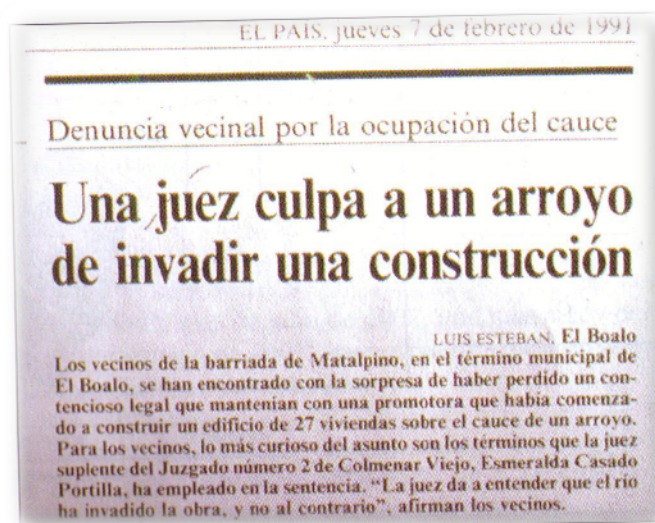


- En la actualidad se está ejecutando un ambicioso plan nacional de delimitación de zonas inundables: el **Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI)**.
- En esta cartografía recogerá, además de la zona inundable:
 - o **el DPH,**
 - o **la zona de servidumbre,**
 - o **y la zona de policía (considerando las vías de flujo preferente)**

3. EL NUEVO REGLAMENTO DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO



- El 11 de enero de 2008, se publicó el RD 9/2008, por el cual **se modificaba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico de 1986**, vigente hasta entonces.
- El nuevo Real Decreto da una nueva definición del cauce y de la zonificación de sus riberas y márgenes. Con esto, **el D.P.H., la zona de flujo preferente o el área inundable se calcularán de modo diferente a como se venía haciendo** históricamente.
- Con este cambio legislativo, resulta evidente el **cambio de sensibilidad respecto a la protección de los ríos y el riesgo de inundación**



Diario El País, 1991

3.1 La incorporación de las directivas europeas a la legislación estatal y la nueva sensibilidad respecto a los ríos y la gestión de riesgos.

- Tal como cita el propio RD, el enfoque tradicional frente al riesgo de inundación consistía en plantear soluciones estructurales (construcción de presas, encauzamientos, motas de defensa, etcétera), si bien resulta evidente que **eran insuficientes, además de ser medidas demasiado duras para el Medio Ambiente**. Ahora es necesario profundizar en la gestión del riesgo, fundamentalmente desde la prevención y la Ordenación del Territorio.
- Ya no se consideran únicamente los aspectos de ingeniería, sino que se introducen nuevos factores aún más importantes que el estudio ingenieril o hidráulico:
 - o **la geomorfología de los cauces,**
 - o **las características ecológicas,**
 - o **e incluso el estudio de las inundaciones históricas**
- Este importante cambio en la política de aguas y en la legislación viene de :
 - o **la nueva sensibilidad social por el medio ambiente** y el respeto a los ríos (valga como ejemplo la fuerza de la Red Nueva Cultura del Agua),
 - o **la importancia geoestratégica, económica y política** de la gestión del agua,
 - o **las nuevas directivas de la legislación europea** en cuanto a riesgos ambientales

3.2 Definición de cauce

- Retomando el D.P.H., con la nueva ley, se incluyen de manera explícita **su función medioambiental**. Se reconoce que éste cumple funciones:
 - o ambientales,
 - o de protección de ecosistemas fluviales,
 - o y de prevención de inundaciones.

- En el artículo 4.1, **se redefine cauce** en función de las siguientes características (en el mismo orden en que aparecen en el artículo):
 1. geomorfológicas
 2. ecológicas
 - 3. hidrológicas**
 - 4. hidráulicas**
 5. referencias fotográficas y cartográficas existentes

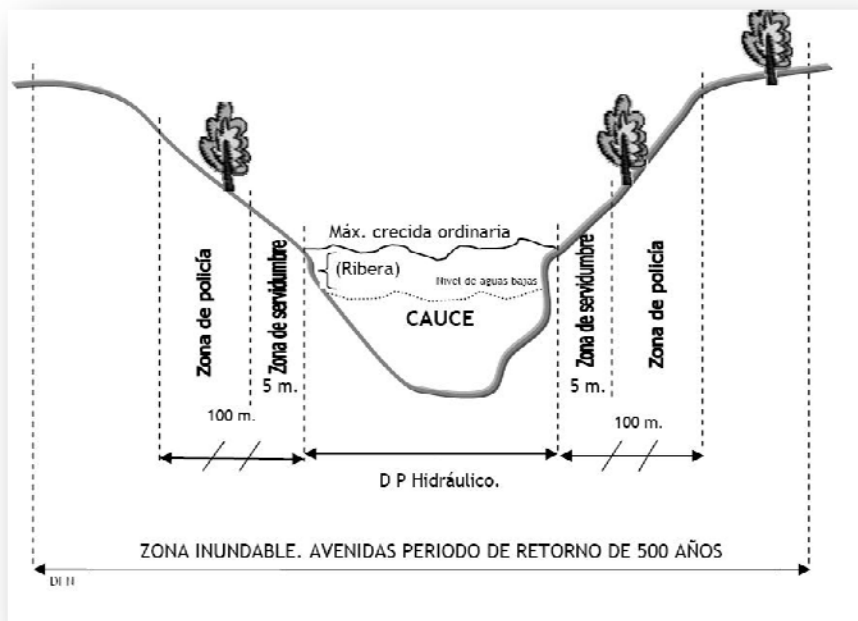
→ esto significa no solo que se amplían las características que lo definen, sino incluso que **se antepone los conceptos geomorfológicos y ecológicos a los hidrológicos e hidráulicos** que existían antes.

Definición de cauce en el artículo 4.1 del RD 849/1986 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico:
“Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias.”

Definición de cauce en el artículo 4.1 del RD 9/2008 de modificación del Reglamento de D.P.H.:
“Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (artículo 4 del texto refundido de la Ley de Aguas). La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles.”

3.3 Definiciones de las zonas de servidumbre y policía

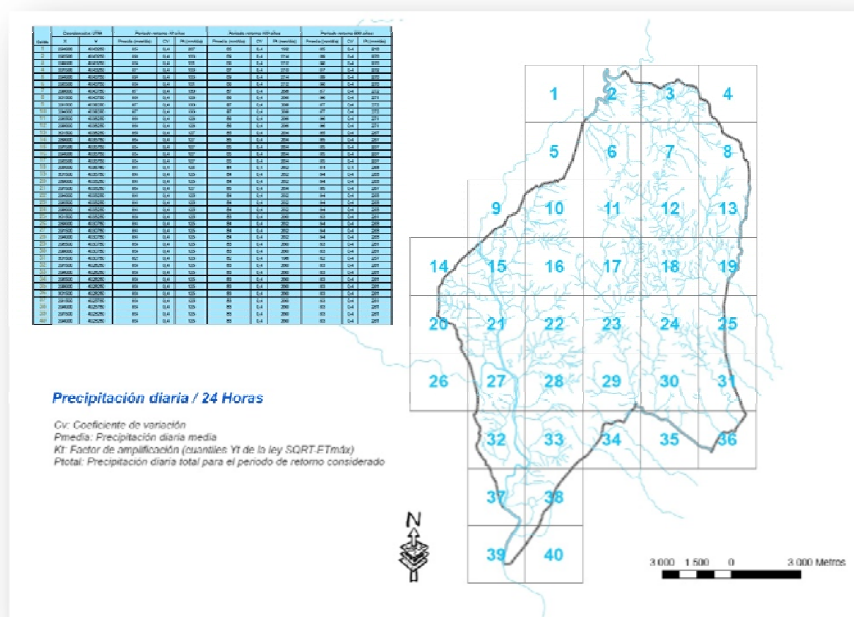
- Más allá de la línea del DPH, existen franjas de protección longitudinales:
 - o **Servidumbre de protección**: franja de 5 metros
 - Reservados para proteger el ecosistema fluvial, permitir el tránsito peatonal, los servicios de vigilancia y conservación o el amarre de embarcaciones
 - Mantiene la titularidad privada, pero únicamente se permiten plantaciones de especies de no arbóreas
 - o **Zona de policía**: franja de 100 metros, ampliable si la zona de flujo preferente así lo exige
 - Se prohíben las construcciones, alteraciones del relieve, extracción de áridos y toda aquella actividad que pueda afectar a la ecología del cauce o impedir las avenidas
 - La zona de flujo preferente es aquella vía de intenso desagüe que se corresponde con una avenida de periodo de retorno de 100 años, con un calado superior a 1 metro o una velocidad superior a 1 metro/segundo
 - Cuando este flujo (previamente calculado de modo similar al DPH y área inundable) supera la franja de protección de 100 metros, **la zona de policía debe ampliarse a esta zona de flujo**



4. EL ESTUDIO DE PELIGROSIDAD EN LA DELIMITACIÓN DEL DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO Y LA ZONA INUNDABLE

4.1 El estudio hidrológico

- Consiste en **simular una tormenta de diseño** para conocer el caudal (m^3/s) que circulará por un punto determinado de la cuenca que estemos estudiando
 - o Para una cuenca extensa o **un río con afluentes**, se estudiarán varios puntos de caudal → a cada tramo de cauce, generalmente entre afluente y afluente, se le delinea su propia cuenca de drenaje y se le asigna un punto de caudal
- Existen dos posibilidades para el estudio hidrológico:
 - o **Análisis estadístico de caudales históricos**
 - o **Métodos hidrometeorológicos**
- La Agencia Andaluza del Agua, basándose en la “Instrucción 5.2-IC de Drenaje Superficial”, del Ministerio de Fomento, exige el uso del **Método Racional modificado de Témez**, que es un método hidrometeorológico
 - o No obstante, y con el objetivo siempre de mayorar la seguridad, es recomendable hacer también un análisis estadístico de caudales, y tomar **el mayor de los resultados que se obtengan** por uno u otro método
- En aquellos casos en los que la cuenca de drenaje supera los 30 kms², el método racional resulta inapropiado, y es recomendable usar modelos hidrológicos más complejos, como el software **HEC-HMS (método hidrometeorológico de hidrograma unitario)**
- Los pasos a seguir (usando el Método Racional Modificado) son los siguientes:
 1. Calcular la **precipitación máxima diaria** para los periodos de retorno que se estudien (habitualmente, 10, 100 y 500 años)
 - Usando los datos de la publicación “**Máximas lluvias diarias en la España Peninsular**”, obteniendo un valor para cada celda de 2500x2500 m²



2. **Delinear las distintas cuencas de drenaje** con las que voy a trabajar (se usará un punto de caudal para cada cuenca)
3. Obtener la siguiente información sobre la **geometría de las cuencas**:
 - a. Superficie
 - b. Longitud del cauce principal
 - c. Cota máxima del eje
 - d. Cota mínima del eje
 - e. Desnivel
 - f. Pendiente media
4. Zonificar la cuenca en función de áreas con diferente **umbral de escorrentía** y obtener un umbral medio
 - La misma Instrucción de Drenaje Superficial anteriormente citada incluye unas **tablas de estimación del umbral de escorrentía** en función de:
 - uso del suelo ← *mapa de usos y coberturas vegetales*
 - pendiente ← *mapa de pendientes*
 - caracterización hidrológica ← *mapa litológico*
 - caracterización edafológica ← *mapa edafológico*
5. A raíz de los anteriores datos, obtener lo siguiente:
 - a. **Coefficiente de escorrentía**
 - b. **Tiempo de concentración**
 - c. **Intensidad media de la precipitación**
6. Con todo lo anterior y mediante el citado Método Racional Modificado se obtiene, en m³/s, el **caudal para cada cuenca**

CÁLCULO DE CAUDALES CON EL MÉTODO RACIONAL MODIFICADO
 SEGUN INSTRUCCIÓN DE CARRITERAS 5.2-IC - DIBUJOS SUPERFICIAL-11

Cuenca: 2 (Arroyo de la Galera)
 Punto de Caudal: 1
 Población de la zona: 10 almas

PLUVIOMETRÍA (P)
 Precipitación total diaria [mm] correspondiente a dicho período de retorno

P₀ = **125** mm

DATOS DE LA CUENCA

Superficie (km ²)	Longitud cauce principal (km)	Cota de la cumbre (m)	Cota de inundación (m)	Desnivel (m)	Pendiente media (%)	Pendiente media (m/m)
0.380	0.472	0.124	0.040	0.084	17.8	0.1780

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA (C)
 Coeficiente resultante según la precipitación diaria P₀ [mm] correspondiente al período de retorno y al umbral de escorrentía P₀ [mm]

$$C = \frac{[(P_0/P_0) \cdot (1 \pm [(P_0/P_0) \cdot 2])]}{[(P_0/P_0) + 1]} \quad \text{C} = \mathbf{0.43}$$

Umbral de escorrentía P₀ (mm) = **0.33** × **3.00** = **25.00**

- Uso de la tierra:
 - Tipo de suelo:
 - Factor corrector de la humedad del suelo al calcular el aguacero (Fig. 7.5) = **3.00**

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (T_c)
 Tiempo de concentración (horas) para el punto calculado

$$T_c = 0.9 \left[\left(\frac{L}{V} \right)^{0.7} \right] \quad T_c = \mathbf{0.24} \text{ horas}$$

INTENSIDAD MEDIA DE LA PRECIPITACIÓN (I)
 Intensidad media de la precipitación [mm/h] correspondiente al tiempo de concentración

$$I = \frac{P_0}{T_c} \left(\frac{24^{T_c+1}}{24^{T_c}-1} \right) \quad I = \mathbf{82.58} \text{ mm/h}$$

Si P₀ > 25 = **5.13** mm/h
 Si P₀ < 25 = **0.00** (Fig. 7.7)

CAUDAL (Q)
 Caudal del caudal [m³/s] según el método racional modificado por J. R. Tamez

$$Q = 1 + \frac{(P_0)^{0.8}}{14 + (C \cdot I \cdot A)} \quad Q = \mathbf{1.01}$$

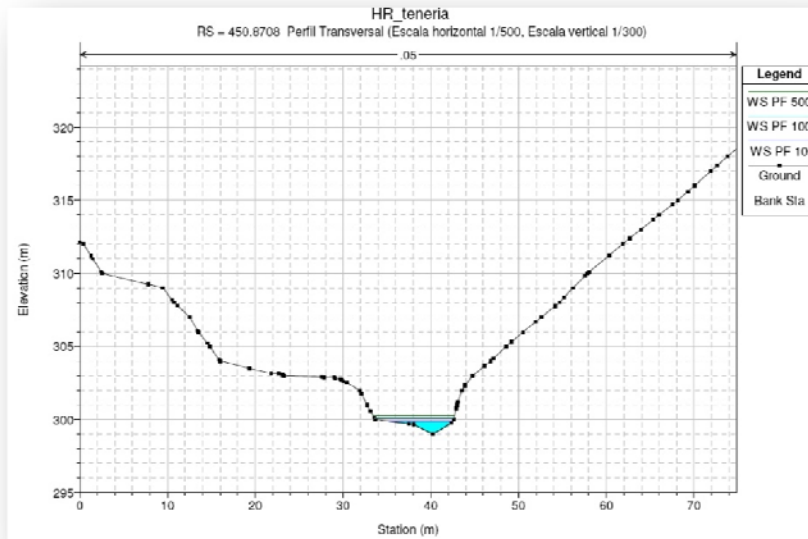
$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} \quad Q = \mathbf{4.55}$$



4.2 El estudio hidráulico

- Una vez que conocemos el caudal para cada cuenca, el modelado hidráulico nos permitirá **conocer el comportamiento de la red hidrográfica para el caudal introducido**
- Así, para la totalidad de la cuenca y para cada uno de los periodos de retorno considerados, obtendremos:
 - o **Superficie de inundación (área mojada)**
 - o **Calado**
 - o **Velocidad del flujo**
- Y para ello habremos introducido, además del caudal:
 - o la **topografía del terreno**
 - o la **geometría del cauce y afluentes**
 - o la **geometría de puentes, alcantarillados, muros de defensa, etcétera**
 - o determinadas **variables hidráulicas**, como el coeficiente de rugosidad de Manning, coeficientes de contracción y expansión del flujo, etcétera
 - o las **condiciones de contorno del flujo**
- En Andalucía está **normalizado el uso del HEC-RAS como software de modelado hidráulico**
 - o No obstante, tiene profundas **carencias**, razón por la cual en otras comunidades están empezando a usar modelos más complejos. Las principales limitaciones son:
 - Se trata de un **modelo unidimensional**, esto es, considera que el río fluye en un única dirección, lo cual no es real en caso de inundación, cuando el intercambio de flujo con las llanuras de inundación (transversal al eje) no queda modelizado
 - Trabaja en **flujo permanente**, lo que dejaría fuera más de la mitad de los ríos de nuestra provincia, que se comportan como ramblas (régimen discontinuo)
 - Sus resultados se ajustan mal a **pendientes superiores al 10%**
 - o Como veremos más adelante, **las ramblas tienen un comportamiento particular** que exige, más que cualquier otro tipo de río, de otros métodos de estudio complementarios más allá del hidráulico
 - o HEC-RAS está compuesto en realidad por dos paquetes de software diferentes:
 - **HEC-RAS** propiamente dicho, con una interfaz algo árida y compleja, que calcula la lámina de agua en secciones de control
 - devuelve resultados numéricos y un perfil de la lámina en cada sección de control
 - **HEC-GeoRAS**: es un conjunto de dos extensiones de HEC-RAS para ArcGIS:
 - **RAS geometry**: permite, con un interfaz y toda la potencia de herramientas de ArcGIS, modelizar la cuenca hidrográfica, el cauce y las secciones de control en ArcGIS. Tras usarlo, se exportan los resultados a HEC-RAS, que realiza los cálculos hidráulicos.
 - **RAS mapping**: una vez obtenida la lámina de agua en las secciones de control, se puede exportar el resultado a ArcGIS nuevamente, para extrapolar los resultados a la totalidad del cauce y representarlo en planta
- El proceso de modelización hidráulica se estructura del modo siguiente:
 1. Trabajo previo de **delineación y trabajo de campo**
 - En la fase inicial del estudio hidráulico **se delinea el cauce del río y los afluentes**
 - Para esto usaremos el levantamiento topográfico y la ortofotografía (el levantamiento topográfico debe tener curvas de nivel, como máximo, cada metro → el MDT resultante nunca será superior a 1/1000)
 - Se realiza una **visita al cauce**, tomando nota y fotografiando cualquier característica que pueda influir en la dinámica fluvial o que pueda validar los resultados finales

2. Generar las **geometrías de cauces e infraestructuras**
 - En HEC-RAS se introduce, en cualquier caso:
 - **modelo digital del terreno**
 - **eje y sentido del cauce y afluentes**
 - **secciones de control**
 - **orillas**
 - y si el modelo lo precisa:
 - **puentes o entubamientos**
 - se trata de infraestructuras que modifican la normal trayectoria del flujo ← es uno de los puntos más complejos e importantes del proceso
 - en el campo se deben obtener datos como la geometría del puente, las medidas y localización de las pilas, el diámetro de los tubos, la altura de la plataforma, etcétera
 - **líneas de flujo**
 - éstas son importantes en ríos meandriformes, donde el eje central del flujo se desplaza al exterior del meandro en las curvas
 - **áreas de flujo inefectivo**
 - aguas no corrientes
 - **bloques de obstrucción**
 - edificios, por ejemplo
 - **diques laterales y motas**
3. Introducir las **variables hidráulicas**
 - **Coefficiente de rugosidad de Manning:** puede llegar a influir hasta en el 20% de la lámina resultante, y depende del uso del suelo, la existencia de vegetación o la localización transversal en el cauce
 - **Coefficientes de contracción y expansión:** modo en que se comporta el flujo al llegar a estrechamientos como puentes o entubamientos
4. Introducir los **datos de caudal y condiciones de contorno**
 - El caudal ya se había obtenido en el estudio hidrológico, y se introduce **uno para cada periodo de retorno y para cada tramo estudiado**
 - Las condiciones de contorno condicionarán la **energía y velocidad del flujo:**
 - **régimen supercrítico:** ríos rápidos, de montaña
 - un caudal en supercrítico va muy rápido, lo que significa que el agua tendrá menos calado (pues evacua con mayor velocidad ← “cabén más m³ de agua” por cada segundo), pero más energía y velocidad
 - **régimen subcrítico:** ríos lentos, de llanura
 - un caudal en subcrítico va muy lento, por lo que el agua tiene más calado, pero menos energía y velocidad
 - **régimen mixto:** tramos que incluyen ambos regímenes o bien tramos en los que no se conoce con exactitud y preferimos que lo calcule el modelo automáticamente
5. Cálculo de la **lámina de agua en cada sección de control**
 - Con toda la información introducida, HEC-RAS calcula la lámina de agua en cada sección de control
 - Los resultados de salida son numéricos, para cada sección, incluyendo al menos:
 - **Elevación de la lámina de agua** (altura del agua en el perfil de cada sección de control)
 - **Velocidad del flujo** (m³/s)
 - **Sección mojada** (superficie del agua, en m², en el perfil)
 - **Anchura máxima de la lámina** (longitud de la inundación transversal al cauce, en metros)



6. Cálculo del **área inundable**

- Exportando la anterior información a HEC-GeoHMS, en ArcGIS podemos **extrapolar el resultado de las secciones de control a la totalidad del cauce**, y representar la lámina de inundación en 2D



4.3 La incorporación de los criterios geomorfológicos, ecológicos e históricos

- Cómo ya hemos contado con anterioridad, debemos entender el río no solo desde su **dinámica fluvial**, sino también desde su **geomorfología fluvial** y desde su **ecología de riberas**.
- Así, una vez obtenidas la delimitaciones del DPH y zona inundable, debemos **modificar estos límites en función de las características geomorfológicas y ecológicas de su cuenca y sus riberas**.
- Dado que el reglamento ha sido modificado muy recientemente, **aún no existen criterios ni recomendaciones técnicas al respecto**.
 - o El Ministerio de Medio Ambiente está preparando una guía que debe salir en breve y permitirá **homogeneizar los estudios de inundabilidad**
 - o Mientras tanto, la manera de aplicar estos criterios es libre, y la única experiencia al respecto es el 'Diploma de Morfodinámica Fluvial aplicado a la Cartografía de Zonas Inundables' que impartió el pasado año la universidad complutense en colaboración con el IGME y el CEDEX.
 - o Uno de los primeros Decretos que desarrollan este reglamento es el **Decreto 258/2007, de la Región de Murcia**, que establece el contenido y procedimiento de los estudios de inundabilidad en el ámbito del POT del Litoral de Murcia.

4.3.1 El DPH, la zona de policía y la zona inundable según criterios geomorfológicos

- Según estudiemos uno u otro límite, **existe o no posibilidad de aplicar criterios geomorfológicos**
 - o En el caso del Dominio Público Hidráulico (periodo de retorno de 10 años), éste suele responder al cauce común a orillas llenas (**caudal de bankfull**), por lo que resulta fácilmente identificable geomorfológicamente
 - o Para la zona de flujo preferente o zona de policía (periodo de retorno de 100 años) **no existe posibilidad de estudio geomorfológico**
 - o En el caso de la zona inundable (periodo de retorno de 500 años), suele identificarse con el **máximo cauce geomorfológico existente** (*grasso modo*, con el aluvial del río)

4.3.2 Primer paso: delinear los cauces actual e histórico, incluyendo sus principales elementos geomorfológicos y ecológicos

- Como borrador inicial, deberíamos **digitalizar el cauce actual y el cauce más primitivo que la cartografía u ortofotografía histórica nos permita** (habitualmente éste suele ser la fotografía aérea de 1956)
- Esta cartografía o croquis podría incluir:
 - o **Cauce actual**
 - o **Cauce histórico**
 - o **Cauces secundarios, actuales o históricos** (meandros abandonados, por ejemplo)
 - o **Llanura de inundación geomorfológica** (zona activa de desbordamiento)
 - o **Elementos geomorfológicos de interés** (escarpes, movimientos de ladera, acarcavamientos, abanicos fluviales, terrazas, llanuras recientes, etc.)
 - o **Elementos destacables de la dinámica fluvial** (zonas de sedimentación y excavación, zonas encharcables, coluviones, islas y barras centrales, lóbulos de derrame, socavaciones laterales, etc.)
 - o **Elementos de funcionalidad ecológica** (áreas de diversificación de hábitats, bosques de riberas, barras revegetadas, charcas, etc.)

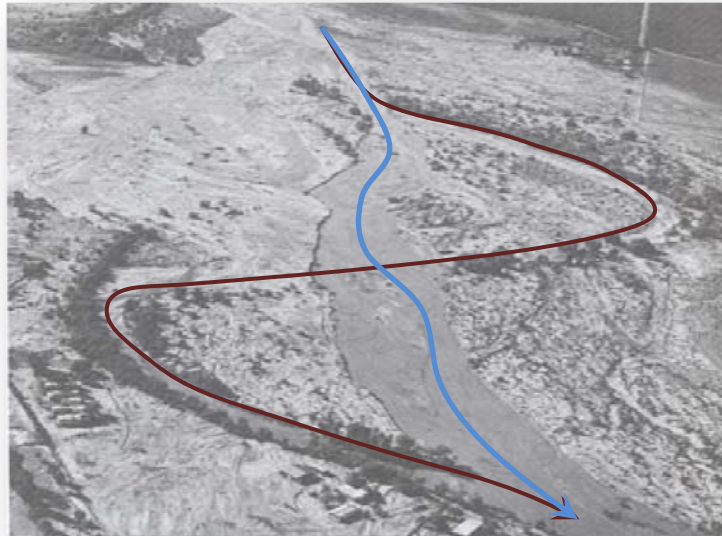
4.3.3 Principales características geomorfológicas y de dinámica fluvial

4.3.3.1 Ríos trezados y meandriformes

- Antes de adentrarnos en este apartado debemos conocer las **distintas topologías de ríos existentes**, pues unos y otros tienen comportamientos muy diferentes.
- Vamos a distinguir únicamente entre los ríos trezados o rectos (*braided*) y los meandriformes.
 - o **Ríos trezados (*braided*):**
 - son cauces rectos, sin meandros
 - tienen alta pendiente y elevada energía
 - suelen tener mucha carga de fondo, lo que será un factor muy importante en caso de avenida
 - resultan anchos y poca profundos
 - cambian bruscamente su cauce por el fondo del valle en las avenidas ← peligrosidad
 - o **Ríos meandriformes:**
 - generalmente se dan en materiales finos (arcillas, por ejemplo)
 - tienen pendiente baja y menor energía (menos violentos)
 - suelen tener carga fina, menos relevante en caso de crecida
 - resultan profundos y estrechos
 - en el interior del meandro la energía es baja (sedimenta), y en el exterior es alta (excava, desborda)
- Las **ramblas mediterráneas** podrían asemejarse tal vez a los ríos rectos, si bien con aguas bajas su comportamiento es meandriforme

4.3.3.2 La energía y el comportamiento meandriforme de los ríos

- Todo curso fluvial tiene un objetivo que cumplirá siempre: **disipar la energía que lleva para lograr el equilibrio.**
- El **modo en que disipa esta energía** es diferente según el tipo de cauce que estemos tratando
 - o Los ríos meandriformes disipan la energía **disminuyendo la pendiente mediante la creación de meandros** (aumentan la sinuosidad)
 - o Los ríos *braided* crean **barras centrales de tierra** (que no deja de ser también una forma de sinuosidad)
- Es importante estudiar la tendencia meandriforme y los **puntos de mayor energía del flujo**
 - o en éstos será **mayor el riesgo de inundación**
 - o y será **mayor la velocidad del flujo**, lo que incrementará además notablemente la peligrosidad de la inundación
- Además, **este comportamiento puede cambiar en el caso de una avenida extraordinaria**, provocando comportamientos inesperados en el río
 - o Así, en el caso de **las ramblas, su tendencia con aguas medias o bajas es meandriforme, pero con aguas altas se corta y hace recto**, lo que implica un peligroso aumento de la energía del río al perder la sinuosidad



- Otra importante característica de peligrosidad la encontramos en las **ramblas confinadas**, que son muy peligrosas en el punto donde dejan de ser confinadas, ya que crean un abanico que genera una inundación inesperada y de gran energía
- Desde un punto de vista ecológico y de morfología fluvial (peligrosidad de inundación) es fundamental que **el trazado sea lo más sinuoso posible y disperse la energía**
 - o **Lo habitual al encauzar un río es todo lo contrario**: hacerlo de manera recta, y además quitando la vegetación y el rozamiento del cauce, con lo cual la peligrosidad de un río encauzado es muchísimo mayor a la de un cauce natural
 - Esto provocará que aguas abajo, e incluso aguas arriba, **se produzcan graves alteraciones del flujo** que desencadenen desbordamientos e inundaciones en sitios donde probablemente nunca existieron (además de problemas de socavamiento, erosión, etcétera)
 - o Por ello, es **fundamental en una restauración fluvial, y como defensa ante inundaciones**, aumentar la sinuosidad
- De otro lado, siempre debemos tener claro que **cualquier efecto aguas arriba o aguas abajo en un río desencadena un periodo de inestabilidad** hasta que el río recupera su equilibrio
 - o Las **escolleras** limitan e incluso frenan completamente la migración del río, pero éste continúa conservando la misma energía, lo que supone que en algún lugar estará actuando (con mayor intensidad a como lo haría en condiciones naturales)

4.3.3.3 *Meandros abandonados y canales abandonados*

- Los meandros y canales abandonados tienen un **importante papel como vía de desagüe rápido** en caso de crecida (facilita la movilidad del río)
- Así, es recomendable un estudio histórico, mediante fotografías o mediante trabajo de campo, tratando de **identificar estos cauces históricos**
 - o Es especialmente útil para identificarlos la **tecnología LIDAR**, que permite un levantamiento topográfico del terreno de precisión centimétrica



- Una vez identificados, se delinearían e incluirían en la cartografía como **zona de flujo preferente** (esto es, como zona de policía)
- No sólo es necesario conservar los cursos abandonados, sino que en caso de que éstos no existan, una buena medida de prevención ante inundaciones sería **crear zonas de retención de aguas (charcas o lagunas)**
- Un ejemplo de la utilidad de estos cauces abandonados lo tenemos en regiones como el Orinoco o cualquier otra cuenca fluvial virgen, donde las crecidas y desbordamientos se producen con mucha frecuencia, pero al mantener las **interconexiones hidráulicas con la llanura**, los desbordamientos son lentos y poco violentos
- Otro aspecto importante sería la **localización de meandros próximos a su estrangulamiento**, pues cuando se produce la corta, generalmente coincidiendo con una crecida, las consecuencias suelen ser bruscas y catastróficas



4.3.3.4 *Peligros asociados a avenidas: movimientos de ladera, existentes o potenciales, próximos al cauce*

- Las avenidas pueden **desencadenar o activar movimientos de laderas** que generen puntos de especial peligrosidad.
- En caso de deslizamiento de la ladera, aparte de la peligrosidad propia de éste, **actúa sinérgicamente con la avenida:**
 - o **aporte repentino y extraordinario de material** al cauce
 - **aumenta la carga sólida** del flujo
 - disminuye la sección útil del cauce, y con ello incrementa el desbordamiento
 - aumenta la energía erosiva, y con ello la erosión de márgenes, lo que a su vez supone mayor aporte de carga sólida

- **desorganiza el esquema de drenaje** y puede producir colapsos en los estrechamientos naturales o artificiales
- Es conveniente, por tanto, **cartografiar estos peligros asociados**:
 - **Movimientos de laderas** (deslizamientos, aludes de piedras en torrentes)
 - Zonas de **erosión acentuada** (abarrancamientos, áreas acarvacadas, cabeceras de torrentes activas, socavación lateral de márgenes)
 - **Depósitos no consolidados** (canchales, coluviones)
- Otra opción recomendable es incluir un **mapa de susceptibilidad a los deslizamientos**
 - Existe una extensión de ArcView que permite hacer un mapa básico de susceptibilidad a deslizamientos: **Shalstab** (Montgomery y Dietrich, Berkeley, 1994) ← trabaja con parámetros topográficos y de suelo, y según las variables que dispongamos para introducir al modelo, el resultado será más o menos preciso

Tabla 19.1 Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología del terreno. (Crozier, 1986)

Clase	Descripción
I Susceptibilidad Muy baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos y por análisis de esfuerzos, analogía con otros taludes, o por análisis de los factores de estabilidad, se considera muy improbable que se desarrollen deslizamientos en el futuro previsible
II	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos, pero que se considera probable que se desarrollen deslizamientos en el futuro. Sin embargo, los análisis de esfuerzos como la analogía con otros taludes o el análisis de los factores muestran una posibilidad baja de que lleguen a presentarse deslizamientos.
III	Taludes con evidencia de actividad de deslizamientos antigua pero que no han presentado movimientos en los últimos cien años.
IV	Taludes con actividad de deslizamientos poco frecuente. La activación de deslizamientos ocurre en los eventos con intervalos de recurrencia mayores a cinco años
V	Taludes sujetos con frecuencia a actividades de deslizamiento. La activación de deslizamientos resulta cuando ocurre eventos con intervalos de recurrencia menor a cinco años.
VI	Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos pueden ser continuos o estacionarios.

4.3.3.5 Otros fenómenos geológicos a considerar

- En la cartografía de peligrosidad geomorfológica, además de todo lo visto, habría que incluir también fenómenos tales como:
 - Zonas susceptibles a sufrir **hundimientos y colapsos** (*piping*)
 - Zonas susceptibles a sufrir **avulsiones, capturas o cambios de trazado**
 - Zonas susceptibles a sufrir **aterramiento por depósito o movimiento de barras**
 - Zonas **endorréicas**
 - **Límites entre distintos depósitos** (aluvial, terrazas, gravas, gravas con matriz, bolos, etc.)

4.3.4 El caso particular de las ramblas mediterráneas

- Los modelos hidráulicos no son fiables para trabajar con ramblas, al no poder considerarse sus **particularidades de funcionamiento**
- En estos casos, que además son los más habituales en nuestra provincia, hay que ser especialmente prudente con el resultado del modelo hidráulico y **dar más relevancia al estudio geomorfológico y a la búsqueda de datos históricos**

- Una opción podría ser **usar uno u otro método (modelo hidráulico o geomorfología fluvial) en distintos tramos** del río.
- En cualquier caso, y dado que son más **sensibles a cualquier cambio en su cuenca** que el resto de tipologías fluviales, requieren un estudio muy detallado de los siguientes aspectos:
 - o **Impermeabilización de superficies** (urbanismo)
 - o **Ocupación del espacio inundable**
 - o **Cambios de usos** (cultivos y deforestación)
 - o **Vertidos en los cauces** (disminución de sección, obstrucciones en puentes)
 - o **Infraestructuras peligrosas** (puentes, pasos a nivel, vías de comunicación inadecuadas, etc.)

4.3.5 Paleohidrología: depósitos y marcas de paleoinundaciones

- Otra posibilidad consiste en localizar en campo **afecciones a elementos naturales o depósitos generados en avenidas anteriores**, para reconstruir las zonas geomorfológicamente activas, y por ello, susceptibles de ser inundadas en el marco de la dinámica natural del río.
- Además del nivel de las aguas (calado máximo), también nos permite conocer otros parámetros importantes, como la **velocidad o la carga sólida que llevaba el flujo**.
- Otras variantes menos comunes pero igualmente válidas en determinados casos son:
 - o **Daños en la vegetación y dendrogeomorfología** (cicatrices y malformaciones en árboles, con una recurrencia en ocasiones datable por sus anillos)
 - o **Detritus flotantes (flotsam)**: restos de vegetación dejados por las avenidas durante las aguas altas (se acumulan en zonas de baja velocidad)
 - Representan el nivel máximo alcanzado por las aguas, si bien desaparecen con facilidad, y sólo son válidos para avenidas recientes
 - o **Daños o marcas en edificios o infraestructuras**
 - o **Identificación de eventos mediante perfiles de suelo** (existencia de distintas capas, depósitos no fluviales, cambios de grosor de los sedimentos, restos vegetales, paleosuelos, etc.)



- Habitualmente esta información no es válida por si misma para delimitar las áreas inundadas, pero sí para **calibrar o validar el modelo que estamos usando**
- Cada vez son más comunes los trabajos de paleohidrología en España. En Málaga tenemos un ejemplo reciente en el Alto Guadalhorce (Desfiladero de los Gaitanes)

- Existen **bases de datos paleohidrológicos** que se pueden consultar:
 - o *Paleotagus database*, implementada por el CSIC e IGME
 - o *Sphere-GIS*

4.3.6 Los estudios históricos en el análisis de peligrosidad de inundaciones

- Consisten en la **recopilación de eventos previos** para delimitar:
 - o **puntos conflictivos por inundaciones históricas**
 - o **cartografía de eventos históricos de inundación**
 - o **niveles alcanzados por el agua en inundaciones históricas**
 - o **registros históricos de caudales**
- Estos datos se pueden obtener por:
 - o **Trabajo de campo**
 - o **Encuestas a la población**
 - o **Revisión bibliográfica y referencias de prensa y audiovisuales**
- Y con ellos se hará una base de datos de inundaciones históricas y una cartografía aproximada de inundaciones históricas de la cuenca que estemos trabajando
- Existe la posibilidad, algo más compleja, de **incluir los caudales históricos en un modelo hidráulico** (HEC RAS) y asignarle una determinada probabilidad, permitiendo que se introduzcan como datos complementarios en el análisis estadístico de caudales.

4.3.7 El criterio ecológico

- Atendiendo al criterio ecológico en el nuevo reglamento, **al delimitar el DPH debemos incluir**, más allá de los límites hidráulicos, lo siguiente:
 - o **El cauce histórico**
 - Por cauce histórico, como norma general, consideraremos el cauce digitalizado de la ortofoto de **1956**, salvo que existan imágenes o cartografía precisa anterior a esta fecha
 - o El **bosque de ribera asociado al cauce**
 - o Y en general, aquella **franja de terreno que pueda ser necesaria para la preservar la ecología del cauce y de sus riberas**

