

EVOLUCIÓN DE LAS LÍNEAS DE RIBERA Y DEL CAMINO PÚBLICO POR EFECTO DE LOS CAMBIOS REGIONALES

Néstor Rolando Correa

Dirección Nacional de Vialidad (DNV), Subsecretaría de Obras Públicas
DNV 9° Distrito San Juan, Av. Guillermo Rawson 377 N, (5400) San Juan, Argentina Tel. 0264-421-2966/3566, int. 221
E-mail: ncorreasig@gmail.com, ncorrea@vialidad.gov.ar - Web: <http://www.vialidad.gov.ar>

RESUMEN

El trabajo resume la normativa vigente en Argentina para deslindar los espacios del dominio público (hidráulico) y del dominio privado en las márgenes de ríos. Se comparan los criterios y las normas de algunas Provincias y países americanos para definir las líneas de ribera. Se proponen el sistema de Rosgen para evaluar los aspectos hidro-geomorfológicos, y la zonificación por riesgo hídrico para valles y planicies de inundación adoptados por la Unión Europea. Se identifican regiones en Argentina donde existen tendencias significativas en los escurrimientos, atribuidos a cambios regionales. También se presenta una proyección para el año 2080 de la variación de los caudales máximos con recurrencias de 100 años en ríos de la Unión Europea, por efecto de los cambios climáticos, y un método implantado en Alemania para adaptar por cambio climático las crecidas de diseño en Baden-Württemberg. Los nuevos diseños e inspecciones de puentes se deberían elaborar basados en estudios sobre las líneas y zonas de ribera del tramo fluvial donde se encuentran las subestructuras. A tal fin se formulan nuevas bases y procedimientos para: a) calcular las crecidas para diseño (hidráulica) de puentes y/o b) verificar la vulnerabilidad de los mismos debido a los cambios regionales identificados.

ABSTRACT

The paper summarizes the current rules in Argentina for determining the limits between the public (hydraulic) domain and the private domain on the banks of rivers. It compares the criteria and standards defined by some Provinces and American states to set bank lines. It proposes the Rosgen system for evaluating the hydro-geomorphological and hydrological risk zoning for valleys and floodplains adopted by the European Union. It identifies areas in Argentina where there are significant trends in runoff, attributed to regional changes. It also presents a projection for the year 2080 of the variation in peak flows with recurrence of 100 years in rivers of the European Union, the effect of climate change, and a method introduced in Germany to adapt to climate change the values for peak flows in Baden-Württemberg. The new bridge design and inspections should be developed based on studies of the lines and riparian areas of the river section where you will find the substructures. To this end, it formulates new bases and procedures to: a) calculate the maximum design flood (hydraulic) for bridges and / or b) test the vulnerability of those due to identified regional changes.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los recientes colapsos de puentes han sido por erosiones o socavaciones de las subestructuras sobre tramos fluviales. Del diagnóstico efectuado sobre los riesgos y afectaciones en puentes (ambiental o hídrico, seguridad vial y estructural) de la Red Vial Nacional (R.V.N.) se destaca que *el mayor problema y desafío en la conservación de las obras de arte son los daños por afectaciones hídricas/ambientales y la gestión de su mitigación en el ámbito provincial y/o municipal.*

El Ordenamiento Territorial consiste en establecer y ejecutar “una política de estado y un proceso planificado de naturaleza política, técnica y administrativa, cuyo objeto central es el de organizar, armonizar y administrar la ocupación y uso del espacio, de modo que éstos contribuyan al desarrollo humano ecológicamente sostenible, espacialmente armónico y socialmente justo.” (ref. [1], 2007).

Por ello, las acciones y medidas para mitigar estas afectaciones estarán correcta- y estratégicamente encauzadas si estas se consideran dentro de los conceptos e instrumentos para lograr un Ordenamiento Territorial eficaz en cada jurisdicción (nacional, provincial y municipal).

La normativa vigente (nacional, provincial y municipal) establece las incumbencias para deslindar los espacios de dominio privado y de dominio público hidráulico, y su relación en las zonas ribereñas, y en las planicies de inundación que atraviesan las rutas de la R.V.N.

Objetivos

El trabajo presenta un análisis de la normativa vigente (nacional y provincial) conducentes al deslinde de los espacios vitales de dominio público hidráulico (líneas de ribera), que brindan el entorno técnico-legal, administrativo, e hidro-geomorfológico para mitigar afectaciones hídricas sobre las obras de arte, y para formular nuevas bases de diseño para puentes sobre cursos de agua en la Red Vial Nacional.

Materiales y Métodos

En el trabajo se resume y ordena las normativas vigentes (nacional y provincial) conducentes a deslindar los espacios del dominio público hidráulico y del dominio privado, que se encuentran ubicados en las márgenes de los cauces naturales (líneas y zonas de ribera). Asimismo se mencionan los criterios y/o normas definidas por algunas Provincias y en otros países para deslindar las líneas y zonas de riberas. Luego se proponen métodos modernos para sistematizar y tener en cuenta los aspectos hidro-geomorfológicos, y de zonificación por riesgo hídrico.

A continuación se identifican los ámbitos regionales en Argentina donde existirían tendencias significativas en los escurrimientos de los ríos debido a cambios regionales (del uso del suelo, climático y fenómeno ENSO), incrementando por ello la vulnerabilidad de subestructuras ubicadas en los cauces naturales y sus márgenes. Finalmente se presenta un método para adaptar los procedimientos de cálculo y/o verificación para las crecidas máximas del diseño hidráulico de puentes, debido a los cambios identificados.

NORMATIVA VIGENTE

A continuación se definen términos técnico-legales, se ordenan y resumen las normas vigentes (nacional y provincial) conducentes a deslindar el espacio del dominio público hidráulico y del dominio privado, que se encuentran ubicados en las márgenes de los cauces naturales (líneas y zonas de ribera).

Definición del Cauce Natural de Uso Público

Es la **porción de tierra** que las aguas bañan durante las **crecidas medias ordinarias** (Art. 2340, inc. 4° C.C.) y/o las **más altas aguas en su estado normal** (Art. 2577 C.C.), siendo la crecida media ordinaria el aumento de volúmenes de escurrimiento de agua que originaron el ascenso del nivel del agua registrado hasta un **máximo** durante un **período de tiempo mínimo de r años (Tr)**, debiéndose incluir para su cálculo un mínimo de **r/3** años de **registros recientes de niveles o escurrimientos** (basados en caudales y/o precipitaciones).

El límite lateral y superior del cauce natural es la **línea de ribera (LdR)**. Los terrenos del cauce natural son de **propiedad y dominio público**, y por ello de **exclusivo uso público**. La **Figura 1** integra las definiciones y términos técnico-legales anteriores de acuerdo lo establecido en el Código Civil Argentino (ref. [2], 1871).

Cauce natural = álveo + terreno de playa

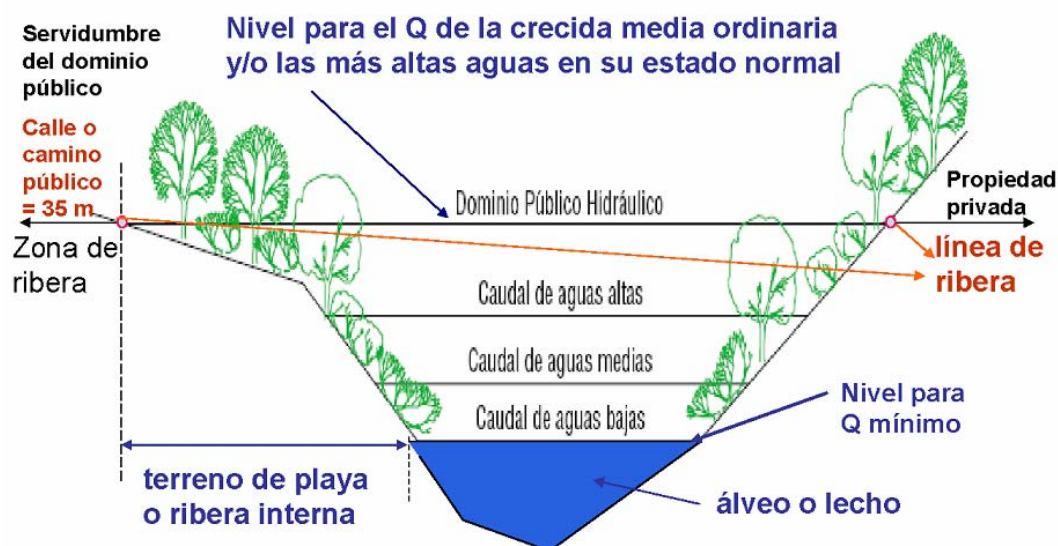


Figura 1.- Definición del cauce natural de uso público.

Cauce natural: abarca los **terrenos del lecho o álveo** del río ocupados permanentemente por agua y los **terrenos de playa**, y tiene sus límites en las líneas de ribera (una en cada margen).

Línea de ribera: es la línea de intersección entre la superficie del agua en su **nivel para la crecida media ordinaria** (y/o las más altas aguas en su estado normal) y la superficie de los terrenos adyacentes al cauce (topografía).

Márgenes: la **zona de ribera** contigua a partir de las líneas de ribera constituyen los márgenes del cauce natural (una franja de 35m).

Superposición y Jerarquía de las Normativas

El orden jerárquico legal que enmarca los conceptos anteriores es:

- Constitución Nacional y Tratados Internacionales
- Códigos
- Leyes
- Decretos con fuerza de Ley
- Resoluciones
- Instrucciones, disposiciones y normas.

Constitución Nacional

Art. 124. ...Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio.

Art. 125. Las provincias pueden celebrar tratados parciales para fines de... la construcción de ferrocarriles y canales navegables, la colonización de tierras de propiedad provincial,... y la exploración de sus ríos, por leyes protectoras de estos fines, y con sus recursos propios...

Derecho de Aguas – Código Civil

CONCEPTO

Son aquellas normas que perteneciendo al DERECHO PUBLICO O PRIVADO, tiene por *objeto regular todo lo concerniente al dominio sobre las aguas, a su USO y APROVECHAMIENTO*, así como a las *defensas contra sus consecuencias dañosas*.

A continuación se mencionan, ordenados por Temas, los Artículos del Código Civil que son relevantes al efecto del derecho de aguas.

NATURALEZA

Artículos 2311 (cosas), 2314 (inmuebles), 2315 (inmuebles por accesión) y 2319 (muebles).

Art. 2340. Quedan comprendidos entre los **bienes públicos**:

- 1° Los *mares territoriales* hasta la distancia que determine la legislación especial, independientemente del poder jurisdiccional sobre la zona contigua;
- 2° Los *mares interiores, bahías, ensenadas*, puertos y ancladeros;
- 3° *Los ríos, sus cauces, las demás aguas que corren por cauces naturales y toda otra agua que tenga o adquiera la aptitud de satisfacer usos de interés general*, comprendiéndose *las aguas subterráneas*, en la medida de su interés y con sujeción a la reglamentación;
- 4° Las *playas del mar y las riberas internas de los ríos*, entendiéndose por tales *la extensión de tierra que las aguas bañan* o desocupan *durante* las *altas mareas normales* o *las crecidas medias ordinarias*;
- 5° Los *lagos navegables y sus lechos*;
- 6° Las islas formadas o que se formen en el mar territorial o en toda clase de río, o en los lagos navegables, cuando ellas no pertenezcan a particulares;
- 7° *Las calles, plazas, caminos, canales, puentes* y cualquier otra obra pública construida para utilidad o comodidad común;...

Este Tema comprende asimismo los **Artículos 2341 (uso y goce de los bienes públicos), 2350, 2634, 2635, 2636, 2637 y 2638**.

RESTRICCIONES Y LÍMITES AL DOMINIO

Art. 2.611. Las restricciones impuestas al dominio privado sólo en el interés público, son regidas por el derecho administrativo.

CALLE O CAMINO PÚBLICO (Servidumbre Administrativa): Ancho 35m a 15m.

Art. 2.639. Los propietarios limítrofes con los ríos o con canales que sirven a la comunicación por agua están obligados a dejar una calle o **camino público de 35 metros** hasta la orilla del río, o del canal, sin ninguna indemnización. Los propietarios ribereños no pueden hacer en ese espacio ninguna construcción ni reparar la antiguas que existen, ni deteriorar el terreno en manera alguna.

Art. 2.640. Si el río o canal atraviesa alguna ciudad o población, **se podrá modificar por la respectiva municipalidad, el ancho de la calle pública**, no pudiendo dejarla de menos de quince metros.

Art. 2.641. Si los ríos fueren navegables, está prohibido el uso de sus aguas, que de cualquier modo estorbe o perjudique la navegación o el libre paso de cualquier objeto de transporte fluvial.

Art. 2.642. (Principio de la concesión administrativa) Es prohibido a los ribereños sin concesión especial de la autoridad competente, mudar el curso natural de las aguas, cavar el lecho de ellas, o sacarlas de cualquier modo y en cualquier volumen para sus terrenos.

Este Tema comprende asimismo los **Artículos 2.643, 2.644, 2.645, 2.646, 2.647, 2.648, 2.649, 2.650, 2.651, 2.652, 2.653,** y el

Art. 4.039. Se prescribe por seis meses, la acción de los propietarios ribereños para reivindicar los árboles y porciones de terrenos, arrancados por la corriente de los ríos.

DEL ALUVIÓN

Art. 2.572. Son accesorios de los terrenos confinantes con la ribera de los ríos, **los acrecentamientos de tierra** que reciban paulatina e insensiblemente por efecto de la corriente de las aguas, y pertenecen a los dueños de las heredades ribereñas. Siendo en las costas de mar o de ríos navegables, pertenecen al Estado.

Art. 2.573. Pertenecen también a los ribereños, los terrenos que el curso de las aguas dejare a descubierto, retirándose insensiblemente de una de las riberas hacia la otra.

Art. 2.574. El derecho de aluvión no corresponde sino a los propietarios de tierras que tienen por límite la corriente del agua de los ríos o arroyos; pero no corresponde a los ribereños de un río canalizado y cuyas márgenes son formadas por diques artificiales.

Art. 2.575. **Si lo que confina con el río fuere un camino público el terreno de aluvión corresponderá al Estado, o a la Municipalidad del lugar, según que el camino corresponda al municipio o al Estado.**

El Tema comprende asimismo los **Artículos 2.576, 2.577, 2.578, 2.579, 2.580, 2.581 y 2.582.**

SERVIDUMBRES

El Tema comprende los **Artículos 3082 (servidumbres forzosas), 3096 (pasiva), 3097 (descarga), 3100 (desaguar su terreno), 3104 (sacar agua de fuente, aljibe, o pozo).**

Caso de la Provincia de Chubut – Deslinde de Cauces Naturales

De acuerdo al Código de Aguas Ley N° 4148 de esta Provincia:

“La autoridad de aplicación fija la línea de ribera de los cursos de agua superficiales y cuerpos lacustres del dominio público.

Se entiende por ribera la extensión de tierra o de playa situada dentro del cauce o del cuerpo lacustre limitada supletoriamente por la línea horizontal que corresponde al nivel de las mayores crecidas ordinarias en los ríos de cauce encajonado y cuerpos lacustres y al nivel extremo de las aguas alcanzado por desborde en los ríos de cauces desbordables, sean éstos de cauce único o divagante.

*Para fijar la línea de ribera definitiva, en cualquier caso será necesario conocer el régimen hidrológico del curso de agua o cuerpo lacustre con un *mínimo de observaciones directas y continuas no inferior a los veinte (20) años*” (ref. [3], 1996).*

Resumen de otros Casos

La **Tabla 1** resume los criterios asumidos por algunas Provincias Argentinas y el Uruguay:

Tabla 1.- Ejemplos de criterios adoptados en algunas Provincias y en el Uruguay.

País – Provincia	Caudal máximo ordinario	Nivel máximo ordinario
Argentina – Buenos Aires	Tr = 5 años, media del Q _{máx} de los últimos 5 años	Lr para Tr = 5 años, Art. 18 Ley 12.257/98, Decreto 3.511/07.
Argentina – Chaco	Tr = 2, 5, 20 y 100 años según zonificación de riesgo hídrico	Lr para Tr > 60 años, marcas suelo-vegetación o edificios
Argentina - Córdoba	franjas fijas, 10 m, 15 m y 20 m desde eje del cauce de arroyos	Lr para Tr = 25 años, nivel de la crecida media ordinaria
Argentina - Santa Fe	Máximo Q de crecida máxima anual media	Lr para Tr = ó > de 5 años
Uruguay	Tr > 5 años (PP) Q _{max5} = F(PP5)	Lr > 12 años media aritmética de los máximos niveles medios del período analizado

La **Tabla 2** resume los criterios asumidos por otros países:

Tabla 2.- Ejemplos de los criterios en otros países Americanos.

País	Caudal máximo ordinario	Nivel máximo ordinario
EEUU – Minnesota	N O	NIVEL de AGUA ALTO ORDINARIO (OHWL) punto donde la vegetación natural cambia de predominantemente acuático a predominantemente terrestre
Chile	Tr > 5 años	Lr > 10 años (promedio de máximos) marcas rocas y vegetación
Colombia	Tr > 5 años	Lr > 15 años (promedio de máximos de los últimos años)
México	Tr = 5 años	Tr > 10 años (hm = F (Q máx medio anual)) Lr = (últimos 10 años consecutivos)

Integración de los Conceptos de Línea y Zona de Ribera – Camino Público

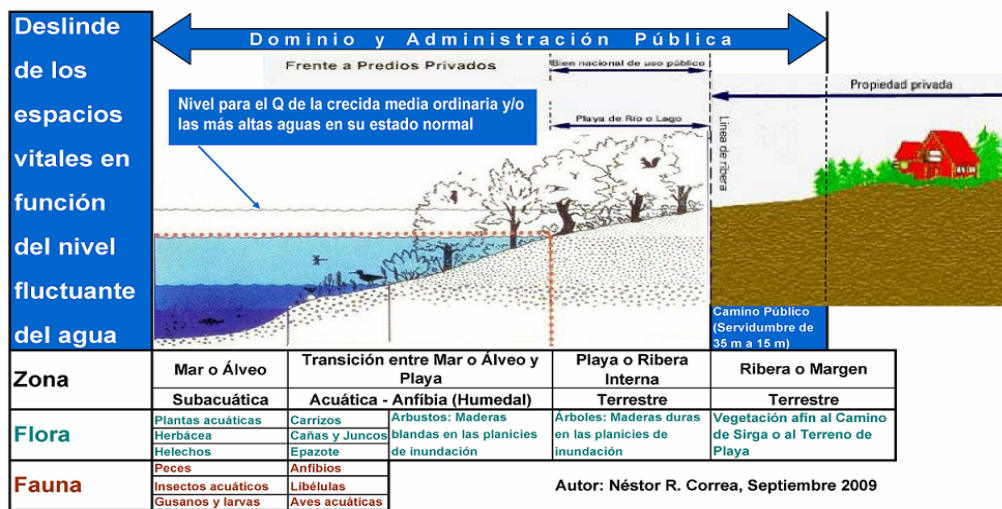


Figura 2.- Influencia del nivel de las crecidas sobre el Hábitat, la Biocenosis y la Línea de Ribera.

Basado en los conceptos de la normativa mencionada, la **Figura 2** resume y visualiza los términos técnico-legales, y el deslinde de jurisdicción entre la propiedad pública y privada en las márgenes de cursos de agua según establece el Código Civil (ref. [2], 1871).

De las **Figuras 1 y 2** puede comprenderse fácilmente que las líneas de ribera (LdR) quedan determinadas en función de los niveles/cotas de agua alcanzados durante crecidas en el curso de agua para un periodo de recurrencia predeterminado (T_r , la autoridad de aplicación es provincial).

Asimismo es función del respectivo Municipio (que es la autoridad de aplicación) establecer y/o instrumentar el camino público en las zonas de ribera, fijando su ancho a partir de las líneas de riberas en 35m o menos (aunque no menor de 15m). Esto último puede estar definido p.ej. en su código de edificación y/o en las directivas de su agencia que regule y fiscalice el uso del suelo.

Argentina: Resumen de Incumbencias en Zonas de Riberas

Delimitación de las Líneas de Rivera (Cauce Natural)

- *Normativa:* Por ejemplo a través del Código de Aguas, Ley de Gestión del Espacio Público, Ley de Gestión Ambiental.
- *Autoridad de Aplicación:* Provincial (y/o Inter-Jurisdiccional).
- *Instrumentación:* Por ejemplo mediante Direcciones y/o Entes/Agencias Provinciales (y/o Inter-Jurisdiccionales).

Delimitación del Ancho del Camino Público (35m a 15m)

- *Normativa:* Por ejemplo a través del Código de Planeamiento Urbano y Ordenamiento Territorial.
- *Autoridad de Aplicación:* Municipio o un Ente Municipal.
- *Instrumentación:* Por ejemplo mediante Direcciones y/o Agencias Municipales.

Unión Europea: Zonificación por Riesgo Hídrico

La Unión Europea tiene definidas, y en proceso de implementación en cada país, sus políticas y directivas comunes a fin de zonificar, regular y fiscalizar el uso del suelo en las márgenes de ríos (y/o planicies de inundación) con frecuentes riesgos hídricos, prohibiendo en las zonas de ribera la ubicación de industrias y/o edificaciones con carácter permanente (ver **Figura 3**).

ZONAS DE INUNDACIÓN PARA $T_r = T50, T100$ y $T500$

T50: Zona **F**, *Zona de Inundación Frecuente*, y donde no es recomendable la instalación de actividades económicas susceptibles de sufrir daños cuantiosos. Valor recomendado para definir los límites de los cauces naturales y las líneas de ribera (urbanas).

T100: Zona **O**, *Zona de Inundación Ocasional*, además de la frecuente. Restricciones (casi absolutas) para la edificación que constituya un obstáculo para el escurrimiento natural. Valor recomendado para el diseño hidráulico de la luz para los Puentes.

T500: Zona **E**, *Zona de Inundación Excepcional*, se establece como el límite de diseño técnico-económico en las obras.

La **Figura 3** muestra la zonificación por riesgo hídrico (**Frecuente**, **Ocasional** y **Excepcional**) y las restricciones de **NO EDIFICACIÓN** establecidas recientemente por normativa de la Unión Europea.

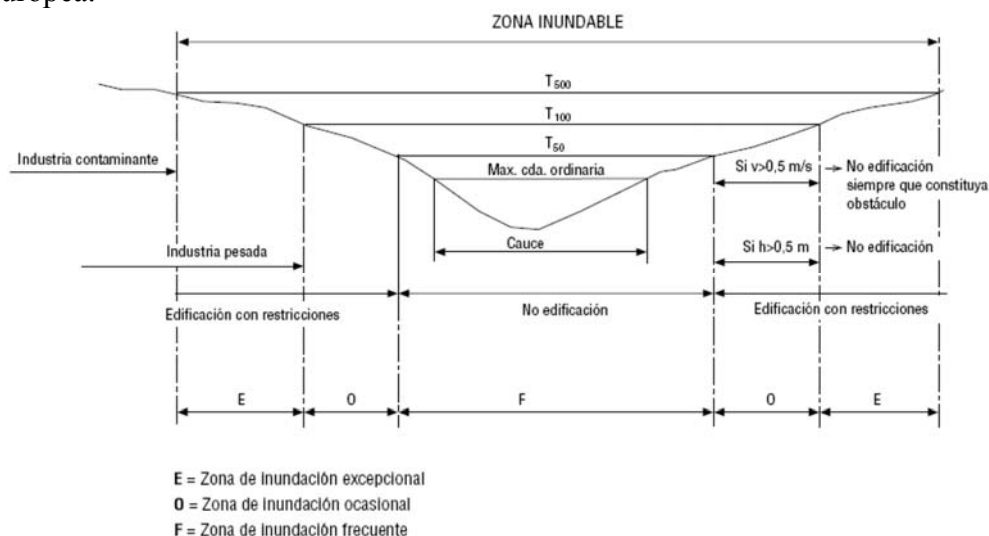


Figura 3.- Zonificación por riesgo hídrico (F, O y E) establecidas en la Unión Europea y restricción de No edificación para $T_r < T_{100}$.

EVOLUCIÓN EN LOS TRAMOS FLUVIALES Y EN LOS ESCURRIMIENTOS

Tipificación y Evolución de los Tramos Fluviales

Clasificar cursos fluviales implica simplificar un sistema muy complejo y, por tanto, perder mucha información. Sin embargo, nuestro interés por adoptar una clasificación surge de la necesidad de contar con una tipología de cursos fluviales que pueda emplearse en la evaluación y diagnóstico de la potencial vulnerabilidad de las subestructuras de rutas y puentes en la R.V.N., por causa de afectaciones ambientales y/o hídricas.

En este caso se habla de cursos fluviales, ya que el objetivo de lograr una clasificación es más descriptivo-comparativo que sistémico, es decir, nos interesa más tipificar tramos fluviales que explicar su funcionamiento integrado.

Los criterios de definición de los tipos de cursos fluviales son complejos, fundamentalmente topográfico-hidro-geomorfológicos (perfil longitudinal y transversal del cauce, el llano inundable y el valle, modelos del cauce, dinámica, etc.) asociados al funcionamiento hidrológico, diferente según nos encontremos en cursos altos, medios o bajos, y también en relación con los ecosistemas que se desarrollan en el sistema cauce-riberas, sin olvidar el criterio paisajístico basado en la unicidad visual del tramo o curso en cuestión.

A tal efecto entendemos que sería útil considerar e implementar partes del sistema propuesto por Rosgen (ref. [4], 1994 y [5], 1996), el que se encuentra resumido en el sitio http://www.epa.gov/watertrain/stream_class. Esta metodología propone una clasificación de los ríos basada en diferentes variables y niveles jerárquicos, que ha tenido una gran aceptación entre los servicios forestales de Estados Unidos, en el ámbito de la restauración fluvial.

En un primer nivel de clasificación, Rosgen diferencia nueve tipos de ríos, de acuerdo con su pendiente longitudinal, sinuosidad y forma de la sección transversal (**Figuras 4 y 5**).

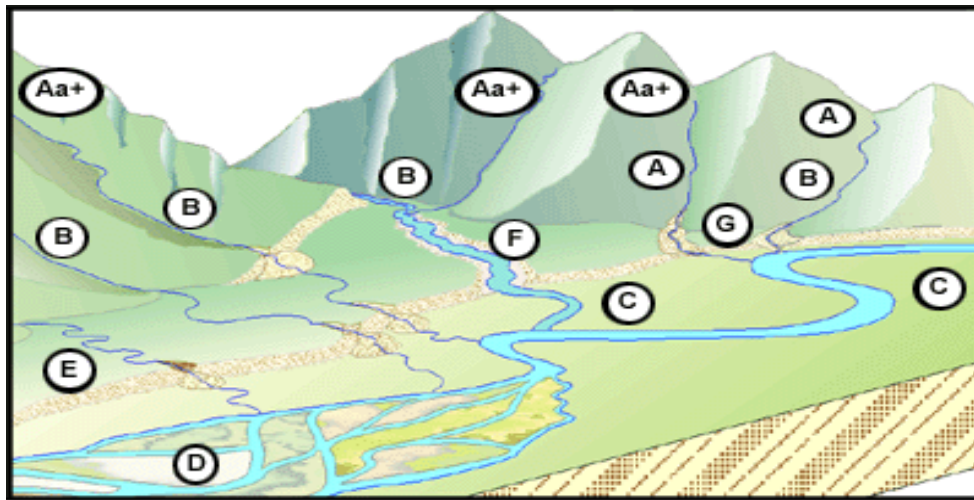


Figura 4.- Ubicación de tipos morfológicos de ríos clasificados al Nivel I del sistema Rosgen.

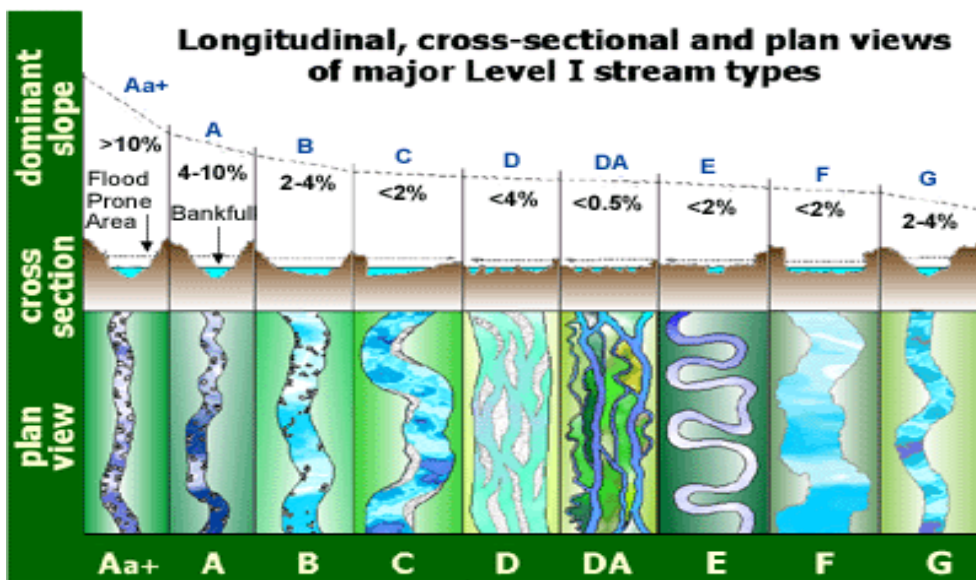


Figura 5.- Tipos morfológicos de ríos clasificados al Nivel I del sistema Rosgen.

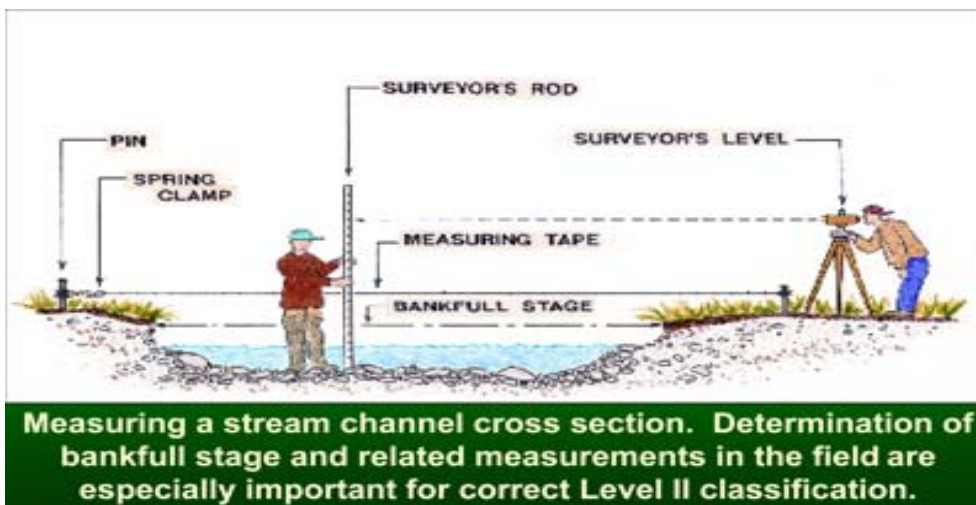


Figura 6.- Colecta de datos en campaña para lograr al Nivel II de clasificación.

En un segundo nivel de clasificación, cada uno de estos tipos de ríos, denominados con letras mayúsculas (Aa+, A, B, C, D, DA, E, F y G) se subdivide a su vez según su rango de pendiente y granulometría del sustrato, obteniendo numerosos subtipos, denominados con números y letras minúsculas (A1, A2, B1b, B2c, etc.).

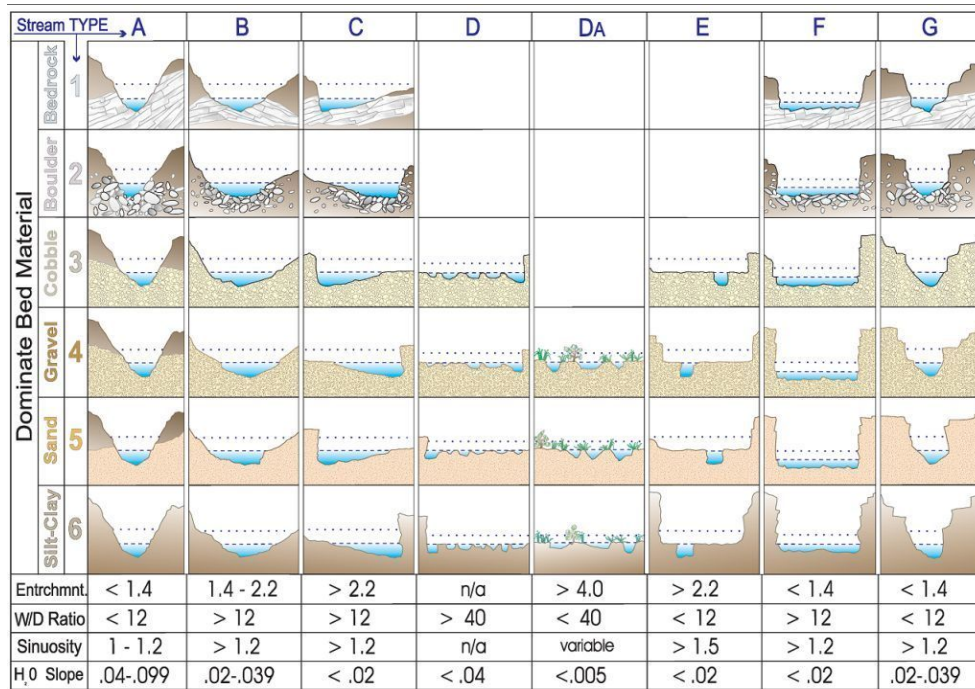


Figura 7.- Tipificación de ríos según el Nivel II de clasificación del sistema.

Un tercer nivel de clasificación alude al estado ecológico del río, descrito en base a su vegetación ribereña, fauna acuática, régimen de caudales, **estabilidad de sus orillas**, etc., existiendo un cuarto nivel para **verificar y predecir ciertas variables hidráulicas y de transporte de sedimentos**.

Stream Type	General Description	Entrenchment Ratio	W/D Ratio	Sinuosity	Slope	Landform/ Soils/Features
D	Braided channel with longitudinal and transverse bars. Very wide channel with eroding banks.	n/a	>40	n/a	< .04	Broad valleys with alluvium, steeper fans. Glacial debris and depositional features. Active lateral adjustment, w/abundance of sediment supply. Convergence/divergence bed features, aggradational processes, high bedload and bank erosion.
DA	Anastomosing (multiple channels) narrow and deep with extensive, well vegetated floodplains and associated wetlands. Very gentle relief with highly variable sinuosities and width/depth ratios. Very stable streambanks.	>2.2	Highly variable	Highly variable	< .005	Broad, low-gradient valleys with fine alluvium and/or lacustrine soils. Anastomosed (multiple channel) geologic control creating fine deposition w/well-vegetated bars that are laterally stable with broad wetland floodplains. Very low bedload, high wash load sediment.
E	Low gradient, meandering riffle/pool stream with low width/depth ratio and little deposition. Very efficient and stable. High meander-width ratio.	>2.2	<12	>1.5	< .02	Broad valley/meadows. Alluvial materials with floodplains. Highly sinuous with stable, well-vegetated banks. Riffle/pool morphology with very low width/depth ratios.
F	Entrenched meandering riffle/pool channel on low gradients with high width/depth ratio.	<1.4	>12	>1.2	< .02	Entrenched in highly weathered material. Gentle gradients, with a high width/depth ratio. Meandering, laterally unstable with high bank erosion rates. Riffle/pool morphology.
G	Entrenched "gully" step/pool and low width/depth ratio on moderate gradients.	<1.4	<12	>1.2	.02 to .039	Gullies, step/pool morphology w/moderate slopes and low width/depth ratio. Narrow valleys, or deeply incised in alluvial or colluvial materials, i.e., fans or deltas. Unstable, with grade control problems and high bank erosion rates.

Figura 8.- Previsible evolución de los tramos fluviales de acuerdo a su tipificación.

Visto y atentos a la sistemática descrita para tipificar los tramos fluviales, y dado un caso particular bajo observación se hace factible evaluar y/o diagnosticar la **previsible evolución, y la estabilidad o inestabilidad del cauce natural y sus márgenes**, debido al previsible acrecentamiento o la socavación del lecho y/o márgenes por causas hidro-geomorfológicas.



Figura 9.- Posible evolución de las líneas de ribera por efecto de causas naturales.

La **Figura 9** indica esquemáticamente el hecho que por causas naturales las líneas y zonas de ribera pueden modificar su posición técnico-legal, y en consecuencia volver obsoletas las premisas o fundamentos para el diseño (hidráulico) de las subestructuras de los puentes.

Cambios en la Argentina

Los registros hidrometeorológicos en la Argentina (últimas décadas) indican para una gran parte del territorio la presencia de cambios y tendencias significativas, tanto en la magnitud como en la frecuencia de las precipitaciones, de los escurrimientos y de caudales y/o eventos extremos.

Una fracción importante del territorio y de la infraestructura del país está sujeta a los efectos y afectaciones por los cambios regionales antes mencionados. La **Figura 10** fue extraída del trabajo de Depetris y Pasquini (ref. [6], 2008), e identifica dos regiones A y B de la Argentina donde se constatan tendencias positivas en los escurrimientos anuales, los que indican una tendencia al incremento de los escurrimientos en los ríos.

Esto conlleva a un aumento de la vulnerabilidad de subestructuras ubicadas en márgenes de los cauces naturales de las **regiones A y B**. Se asume que los cambios regionales observados devienen del efecto combinado de varias componentes plurianuales (cambios en el uso de suelo, climático y en el fenómeno ENSO).

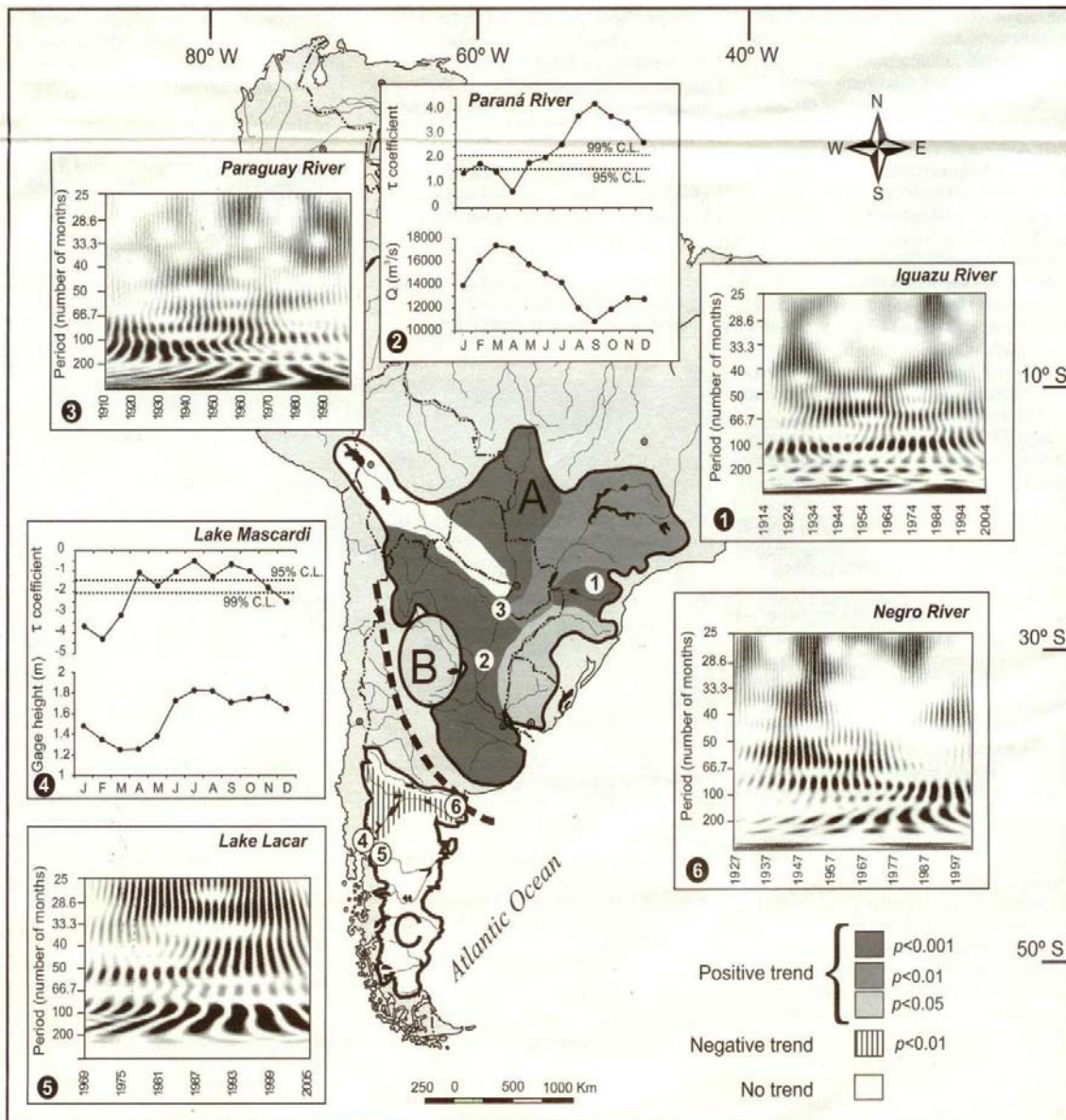


Fig. 1. Map of South America showing the Río de la Plata drainage basin (region A), the area of central Argentina (region B), and Patagonian rivers and proglacial Andean lakes (region C). The shading (see legend) corresponds to different levels of statistical significance, as measured by the Mann-Kendall (M-K) test. Positive M-K coefficients correspond to increasing annual discharges, and negative coefficients correspond to decreasing ones. Insets 2 and 4 correspond to seasonal-Kendall results, averaged over 99 and 50 years, respectively (C.L. is the confidence level, τ stands for the test's statistical coefficients, and Q represents river discharge rates; x axis shows months); insets 1, 3, 5, and 6 are continuous wavelet transform (CWT) plots, showing high power or high variance (dark areas) and low power or low variance (white areas). The dashed line shows the approximate location of the "arid diagonal." The figure shows that although the signal of the ENSO at different frequencies is discernible in most hydrological systems in southern South America, recent increased atmospheric precipitation is restricted to most of the Río de la Plata drainage basin, with Patagonia exhibiting a trendless or negative behavior.

Figura 10.- Efectos del ENSO y del cambio climático sobre los escurrimientos anuales (ref. [6], 2008).

Cambios en la Unión Europea

La Unión Europea, a través de su Agencia Europea de Ambiente (EEA), ha observado y proyectado los posibles efectos del cambio climático sobre las frecuencias de los caudales máximos esperados en cuencas hídricas de la Unión Europea.

La **Figura 11**, extraída del trabajo de Heribert Nacken (ref. [7], 2008) presenta estadísticas de la EEA sobre eventos de crecidas en las cuencas hídricas europeas durante el período de 1998 a 2005.

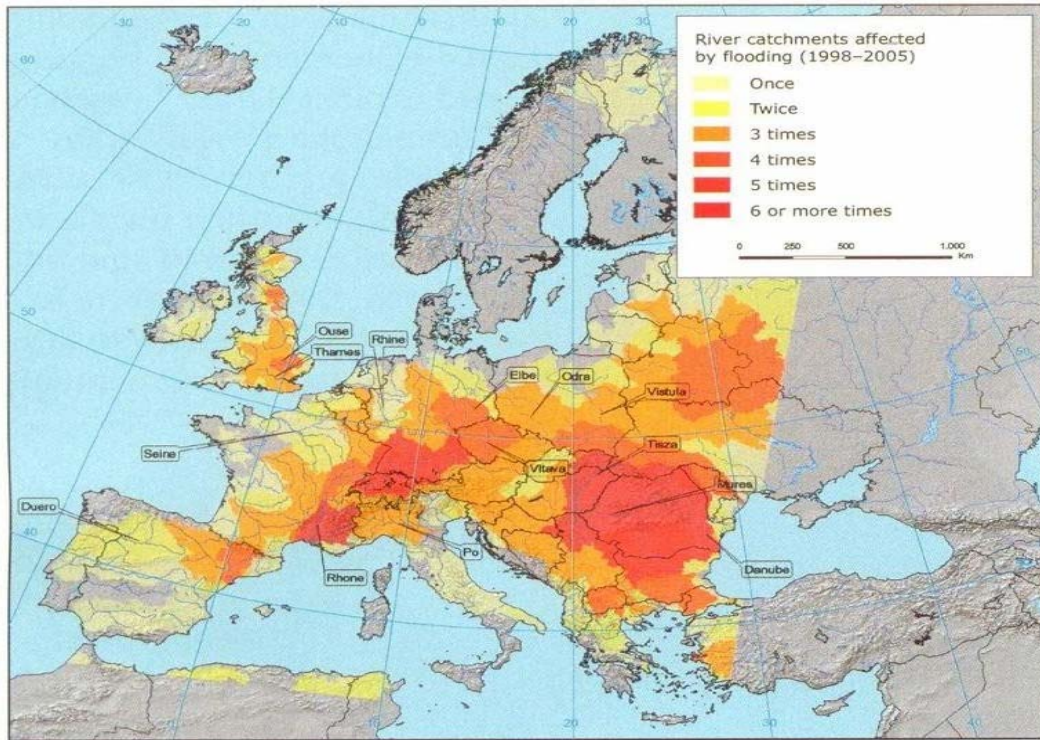


Figura 11.- Eventos de crecidas en las cuencas hídricas europeas para el periodo 1998 a 2005 (EEA, 2007).

Asimismo, la **Figura 12** da - para el escenario año 2080 - el pronóstico sobre la variación en % de los caudales de crecidas máximas con un periodo de recurrencia de 100 años en Europa, respecto a los valores actuales determinados para estas crecidas. La Figura está en el Anexo al libro verde de la Comisión Europea para la adaptación al cambio climático (Figura: EU 2007b).

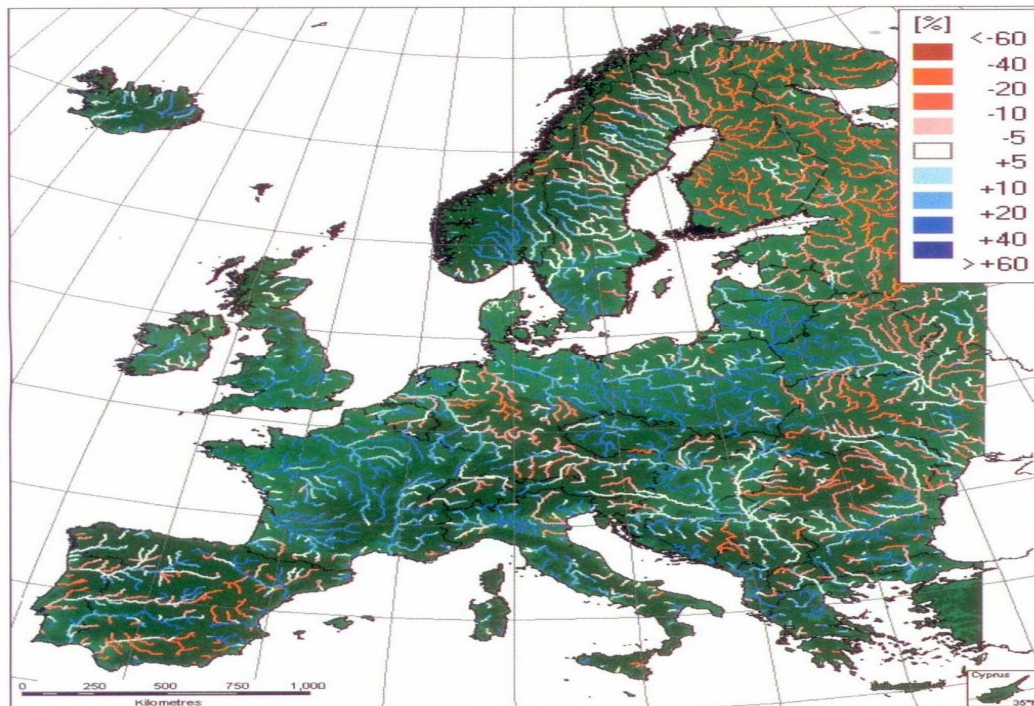
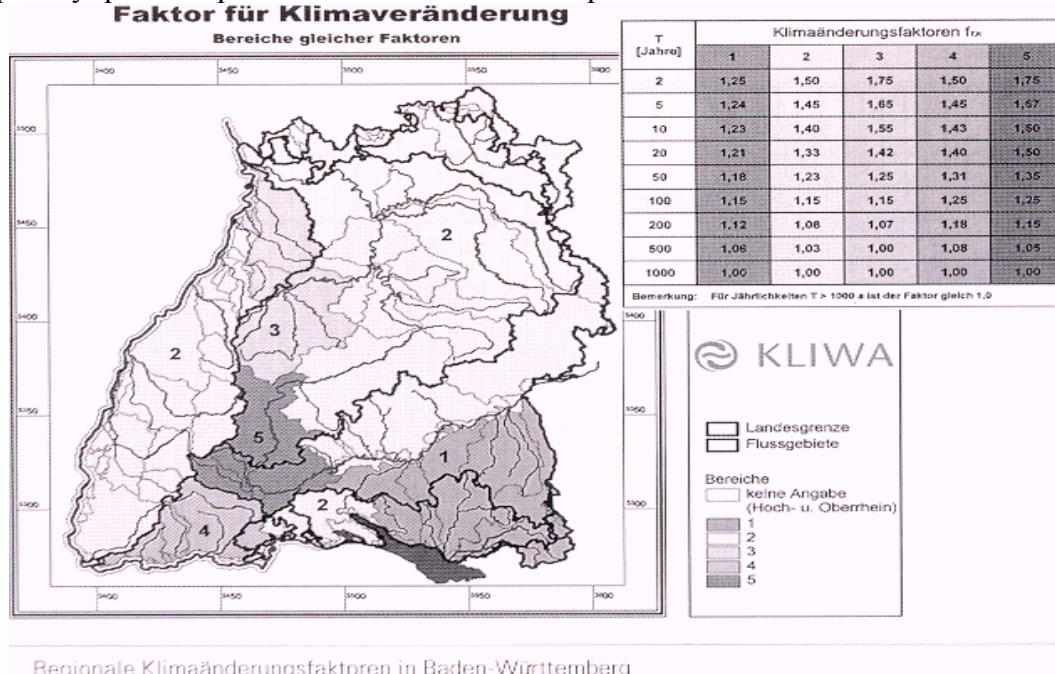


Figura 12.- Pronóstico de variación en los caudales de las crecidas con recurrencia T100 en ríos de la Unión Europea para el escenario año 2080.

Alemania: Adaptación al Cambio Climático en Baden-Württemberg

La **Figura 13**, extraída del trabajo de Wolfgang Hennegriff & Vassilis Kolokotronis (ref. [8], 2007) presenta a) la regionalización por riesgo hídrico establecida en el Land Baden-Württemberg para contemplar el efecto del cambio climático, y b) los factores de adaptación con que hay que multiplicar los caudales máximos pronosticados sin considerar estos efectos.



Regionale Klimaänderungsfaktoren in Baden-Württemberg

Figura 13.- Regionalización por riesgo hídrico para incluir el efecto del cambio climático en las crecidas máximas para las regiones 1 al 5, y factores de adaptación para los caudales máximos con recurrencia de T años (Klimaänderungsfaktoren $f_{T,K}$).

El Land Baden-Württemberg define los factores de adaptación (multiplicación, $f_{T,K}$) diferenciados por periodo de recurrencia (T) y región. Los caudales máximos esperados con inclusión del cambio climático se derivan de ya determinados por los métodos hidrológicos o de simulación tradicionales, y aumentados por los factores de adaptación al cambio climático:
 $HQ_{Tr,K} = f_{T,K} \cdot HQ_{Tr}$

Tabla 3.- Aplicación del método para caudales máximos registrados en la estación hidrométrica Forbach / Murg en la Selva Negra.

Tabelle: Lastfall Klimaänderung am Beispiel des Pegels Forbach/Murg im Schwarzwald

T [Jahre]	HQ_T [m³/s]	Klimaänderungsfaktor	$HQ_{T,K}$ [m³/s]
2	140	1,50	210
5	205	1,45	298
10	250	1,40	350
20	292	1,33	388
50	346	1,23	425
100	388	1,15	446
200	434	1,08	468
500	504	1,03	519
1 000	543	1,00	543

El trabajo mencionado como ref. [8] (2007) da asimismo un ejemplo (**Tabla 3**) con el resultado de aplicar el método para los caudales máximos registrados en una estación hidrométrica en Baden-Württemberg, Alemania. En esta **Tabla 3** son de destacar los efectos del cambio climático sobre los periodos de recurrencia (T) de los caudales máximos (HQ) esperados:

- **las líneas en color rojo** indican como el Tr de un caudal de 388 m³/s, pronosticado originariamente en 100 años, queda reducido a solo 20 años, siendo el nuevo Q_{máx} para T100 = 446 m³/s (incremento del 15%), y
- **las líneas en color azul** indican como el Tr de un caudal de 346 m³/s, pronosticado originariamente en 50 años, queda reducido a solo 10 años, siendo el nuevo Q_{máx} para T50 = 425 m³/s (incremento del 23%).

CORRECCIÓN DE AFECTACIONES SOBRE LAS RUTAS Y LOS PUENTES EN LA R.V.N.

Herramientas y Objetivos de la Conservación y/o Mitigación

El Sistema de Gestión de Puentes (SGP) de la D.N.V. consiste en procedimientos e instrumentos que denominamos Método SIGMA-Puentes, y en una herramienta informática que denominamos SIGMA-P (Base de Datos con acceso desde Internet). En el SGP se consideran Estructuras Mayores a las obras de paso con una luz de más de 7 m, o compuestas de varias luces menores de 7m que suman en conjunto más de 20 m.

El Método y la herramienta SIGMA-P se está implementando para la conservación de las Estructuras Mayores en la R.V.N. Quedan excluidos de este sistema los grandes puentes atirantados y de características especiales que se encuentran sobre grandes ríos en la Argentina.

El objetivo final es lograr un cambio hacia una cultura de conservación (mantenimiento preventivo) para las obras de arte. Bajo esta premisa debemos evolucionar desde las presentes acciones correctivas para reparar lo dañado (estrategia reactiva) hacia futuras acciones preventivas para evitar que se dañen las estructuras (mantenimiento preventivo).

Detectar a tiempo los defectos y amenazas al patrimonio vial, a través del relevamiento y diagnóstico, permitirá el mantenimiento pro-activo (conservación), un rápido tratamiento y ahorros importantes.

Evaluación de los Aspectos Técnico - Legales

Las líneas y zonas de ribera definen los límites del dominio público en un curso de agua a partir del cual deberían encontrarse ubicados:

- a) las subestructuras de las rutas,
- b) los estribos de los puentes, y/o
- c) las medidas actuales o planeadas para mitigar las afectaciones hídricas sobre las subestructuras de puentes,

y sirven por ello asimismo de base para el diseño de las rutas y nuevos puentes sobre cursos de agua en la R.V.N.

No obstante la relevancia de los conceptos de las líneas y zonas de riberas para la planificación y conservación de las subestructuras ubicadas en las márgenes de los ríos, en algunos casos estas pueden encontrarse indeterminadas (p.ej. por indefiniciones de las autoridades de aplicación local) y/o determinadas aunque en situación inestable por estar sujetas a cambios significativos debido a los complejos cambios regionales en marcha (en el uso del suelo, climático, fenómeno ENSO).

Una eventual indeterminación de la LdR en el lugar, y/o impulsados por un escenario de cambios regionales en las recurrencias de los caudales máximos en las cuencas hídricas, implican que las líneas y zonas de ribera pueden modificar su posición técnico-legal, y en consecuencia volver obsoletos los fundamentos en que se basó el diseño (hidráulico) de las subestructuras de los puentes.

De lo anterior deviene que, en caso de existir afectaciones hídricas actuales y/o potenciales sobre las subestructuras de las obras de arte de la R.V.N., entonces, entre las tareas de mantenimiento y/o conservación de rutas y obras de arte, es necesario verificar en la zona de camino sobre el tramo fluvial si:

- a) están delimitadas y materializadas las líneas y zonas de ribera, y
- b) si existe estabilidad en las relaciones cauce natural – líneas/zonas de ribera - subestructura del puente.

Longitudes a Verificar para prevenir Efectos en Proyectos Carreteros

De acuerdo a lo antes mencionado es necesario verificar si un caso en cuestión bajo observación, y/o con potenciales afectaciones, satisface las siguientes condiciones técnico-legales:

Longitud legal (Lpl). Los puentes ubicados sobre ríos o canales que sirven a la comunicación por agua deben respetar una luz mínima “legal” que resulta de: $Lpl = \text{Ancho del cauce natural (Dominio Público Hidráulico (DPH))} + \text{el ancho de 2 caminos públicos [2 x (35 ó 15) m]}$. *En caso de que por cualquier causa local no se encuentren las líneas de ribera determinadas, se recomienda determinarlas como si correspondiera una recurrencia $Tr = 50$ años (valor envolvente).*

Longitud hidráulica (Lph). Asimismo, las subestructuras de los puentes en la RVN sobre tramos fluviales no deberán constituir un obstáculo para los escurrimientos en las zonas de inundación ocasional del río (DPH para $Tr = 100$ años), definiendo este parámetro una luz mínima “hidráulica” para el puente (Lph), que resulta $Lph = DPH (T100)$.

La luz mínima (horizontal) admisible para el puente (Lp), y sujeta a posterior verificación desde otras perspectivas, sería el valor entre Lph y Lpl que resulte mayor.

Ejemplo de aplicación:

- Se dan los siguientes datos hipotéticos: LdR indeterminada $\rightarrow DPH(T50) = 60\text{m}$, y $DPH(T100) = 95\text{m}$.
- Se asume que se trata de una ruta nacional en zona urbana, y por ello se fija el ancho del camino público = 15m. Por ello los resultados son: $Lpl = 60\text{m} + 2 \times 15\text{m} = 90\text{m}$, y $Lph = 95\text{m}$.
- *En consecuencia la luz mínima del puente Lp sería: $Lp = Lph = 95\text{m} > 90\text{m} = Lpl$.*

Verificación del Riesgo o Vulnerabilidad de los Puentes

Visto ello deviene que la cuantificación del riesgo hídrico de puentes de la R.V.N. debe hacerse con conocimiento mínimo de las condiciones locales sobre:

- a) las características geométricas, físicas y evolutivas del cauce natural (llanura de inundación) en el tramo fluvial donde se encuentra la infraestructura,
- b) el régimen del flujo,
- c) la particular ubicación de los estribos del puente en relación a las líneas y zonas de ribera,
- d) si en caso de crecidas las subestructuras constituyen un obstáculo para los escurrimientos, y
- e) de observaciones sobre si existe estabilidad en la relación cauce natural - líneas de ribera - subestructura del puente.

Para acotar los riesgos hídricos los nuevos diseños, y/o las inspecciones de puentes, deberían incluir un estudio sobre el entorno del tramo fluvial donde se encuentran las subestructuras de la ruta nacional. Esto a fin de determinar para el mismo:

- 1) las cotas y ubicación de las líneas de ribera y el ancho del camino público a partir de estas;
- 2) La ubicación de las cotas del nivel de aguas para los caudales máximos con recurrencias de 50 y 100 años;
- 3) La previsible evolución del tramo fluvial y los escurrimientos en los próximos 20 a 30 años (p.ej. estabilidad, acrecentamiento o socavación de cauce y/o márgenes) por causas hidro-geomorfológicas del tramo fluvial (ver punto 3.1);
- 4) La tendencia para los escurrimientos máximos en los próximos 20 a 30 años por efectos de los cambios antropogénicos (no incluye ENSO, cambio climático) en la cuenca hídrica; y de corresponder,
- 5) El factor de adaptación para los caudales máximos por efecto de cambio climático a aplicar en la región, a fin de aumentar los valores establecidos en el punto 2) anterior (ver punto 3.4).

Perspectiva y Proyección

Los métodos y herramientas descriptas, u otras similares que se adopten, constituyen una plataforma tecnológica e interpretativa fundamental, tanto para el correcto diseño de las luces y revanchas de los nuevos puentes sobre tramos fluviales, como para el correcto seguimiento, evaluación y diagnóstico de sus afectaciones hídricas/ambientales debido a los cambios regionales.

Al evaluar las condiciones en los Distritos de la DNV con afectaciones hídricas, en los que se desarrollan las acciones para mitigación y/o conservación, observamos que:

- Está definido y divulgado el “deber ser” y asimismo están acotadas las posibles afectaciones a las obras de arte por los cambios regionales;
- Los procesos de cambios regionales (del uso del suelo y climático) marcan el ritmo de los acontecimientos, y no brindan mucho margen de tiempo para acciones preventivas;
- En algunas regiones (zonas en pie de monte del NOA y Cuyo) existen problemas de afectaciones hídricas en rutas y puentes de la R.V.N., que no pueden resolverse solo con un cambio de diseño;
- En regiones de las llanuras pampeanas existen otras afectaciones hídricas a rutas y

- puentes de la DNV, que no pueden resolverse solo con medidas constructivas y/o lineales;
- Los Distritos afectados mostraron un avance significativo en la evaluación y el diagnóstico de los inconvenientes en rutas y puentes de la RVN. Asimismo se están fortaleciendo en su capacidad operativa y constructiva para actuar en emergencias, y ya han implementado varias soluciones eficaces a los inconvenientes durante las recientes épocas estivales;
 - Las medidas de mitigación comprenden aspectos técnico-legales, hidro-geomorfológicos y espacios fuera de la zona de camino, y requieren de la activa colaboración de las autoridades provinciales;
 - Los nuevos diseños deben satisfacer las normativas provinciales respecto a las líneas/zonas de ribera y el camino público, y ser aprobados y/o asistidos por autoridades de aplicación en la Provincia y/o Municipio.

En los casos de estructuras que presenten vulnerabilidad (real o potencial) esto permitirá planificar e implementar medidas constructivas y no-constructivas eficaces y eficientes, a fin de proteger y/o conservar las subestructuras de los puentes existentes hasta su eventual rehabilitación o remplazo.

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Por una parte es difícil conocer el estado de las cimentaciones de las subestructuras de los puentes sobre cursos de agua ya que suelen ser inaccesibles o, cuando menos, difícilmente visibles. Además no es fácil conocer el riesgo de colapso porque puede acontecer que hasta el momento de la inspección no se hayan manifestado todavía eventos y/o deterioros en el tramo fluvial de los que puedan deducirse que existe una situación de vulnerabilidad para la subestructura del puente.

Los nuevos diseños hidráulicos para puentes en la R.V.N. deben satisfacer las normativas provinciales respecto a las líneas/zonas de ribera y el camino público, y ser aprobados y/o asistidos por autoridades de aplicación en la Provincia y/o Municipio.

Las medidas de adaptación y/o mitigación por los cambios regionales comprenden aspectos técnico-legales, hidro-geomorfológicos y espacios fuera de la zona de camino y del cauce natural, y requieren de la activa colaboración de las autoridades provinciales. Esto a fin de satisfacer las necesidades de verificación y/o adaptación de las subestructuras existente (o en planificación) ubicadas en márgenes de los cauces naturales, y la mitigación y prevención de las afectaciones hídricas.

Asimismo emerge que para precisar la evolución de las líneas de ribera todavía falta adoptar en la Argentina:

- a) una metodología para la tipificación y clasificación de los cauces naturales, y
- b) una normativa unificada para zonificar los márgenes de los ríos por riesgo hídrico.

Visto y establecido lo anterior se podrán evaluar y acotar los efectos de los cambios regionales al nivel de cuenca (incluyendo el cambio climático), y esto basado en una cuantificación de sus efectos sobre la recurrencia de los caudales máximos y sobre el estado de la relación cauce natural – líneas/zonas de ribera - subestructura del puente.

CONCLUSIONES

A fin de acotar los riesgos existentes o potenciales de socavación de las subestructuras ubicadas en tramos fluviales resulta, por tanto, imprescindible que las inspecciones y los nuevos diseños de puentes sobre cauces se completen con un estudio de éstos tendientes a conocer su actual situación técnico-legal, hidro-geomorfológica y el riesgo existente o potencial de acrecentamiento o socavación en el cauce natural.

Estos estudios deben verificar y/o acotar la ubicación y previsible evolución de las líneas de ribera (autoridad de aplicación provincial), los antecedentes o previsiones municipales para materializar caminos o sendas públicas en las márgenes de los cauces naturales (autoridad de aplicación municipal), el conocimiento de los caudales máximos y nivel de inundación para recurrencias de 50 y 100 años, y de su previsible evolución en los próximos 20 a 30 años por efectos naturales y/o de los cambios regionales en marcha.

Lo anterior a fin de satisfacer necesidades prácticas para verificar la vulnerabilidad de las subestructuras existentes (o en planificación) en las márgenes de los cauces naturales bajo un criterio unificado, y/o para implementar medidas de corrección, mitigación y/o prevención de las afectaciones hídricas a las subestructuras de puentes.

En algunas Provincias falta todavía instrumentar algunos aspectos técnico-legales y/o conocimientos/datos para determinar la ubicación y/o evolución de las LdR, la tipificación de los cauces naturales y/o una zonificación por riesgo hídrico. Esta situación dificulta la sistematización de las tareas de prevención y conservación de los puentes sobre cursos de agua de la R.V.N.

LISTA DE SÍMBOLOS

DNV:	Dirección Nacional de Vialidad de Argentina
DPH:	Dominio Público Hidráulico
ENSO:	El Niño – Oscilación del Sur
HQ:	Caudal para crecidas de diseño con una recurrencia determinada (en Alemania)
LdR:	Línea de Ribera
Lr:	Cota o nivel del agua alcanzado para un caudal con recurrencia de r años
Q _{máx} :	Caudal máximo de crecidas para una recurrencia determinado
RVN:	Red Vial Nacional
SGP:	Sistema de Gestión de Puentes
SIGMA:	Sistema Integral de Gerenciamiento y MAntenimiento
Tr:	Tiempo de recurrencia de un evento hídrico de r años

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios** (2007). “*Plan Estratégico Territorial, Argentina del Bicentenario 1816-2016, Avance I 2007*”, 284 pág. + 1 CD, Ciudad de Buenos Aires, Argentina.
- [2] **Congreso de la Nación** (1871). “*Código Civil*”, Ley nacional 340 del 25-sept.1869 y complementarias según texto actualizado en <http://www.Infoleg.gov.ar>, Argentina.

- [3] **Código de Aguas** (1996). "*Ley N° 4148*", Art. 6, Provincia de Chubut, Argentina.
- [4] **Rosgen, D.L.** (1994). "*A classification of natural rivers*". *Catena*, 22(3): pp. 169-199.
- [5] **Rosgen, D.L.** (1996). "*Applied River Morphology*". Wildland Hydrology, Pagosa Springs, Colorado, U.S.A.
- [6] **Depetris, P.J. & Pasquini, A.I.** (2008). "*Riverine Flow and Lake Level Variability in Southern South America*", *EOS*, Vol. 89, Number 28, 8 July 2008, pp. 253-256, AGU, U.S.A.
- [7] **Heribert Nacken** (2008). "*Die neue Europäische Hochwasserrichtlinie*". *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 2008(1) – Nr. 5, pág. 248-251, Alemania.
- [8] **Wolfgang Hennegriff & Vassilis Kolokotronis** (2007). "*Methodik zur Ableitung von Klimaänderungsfaktoren für Hochwasserkennwerte in Baden-Württemberg*". *Wasserwirtschaft* 9/2007 – pág. 31-35, Alemania.