

LA CRECIENTE OCUPACIÓN ANTRÓPICA DEL ESPACIO INUNDABLE Y EL AUMENTO DE LA VULNERABILIDAD EN LAS POBLACIONES DEL BAJO ARGA (NAVARRA)

A. Bescós¹ y A.M. Camarasa²

(1) Gestión Ambiental Viveros y Repoblaciones de Navarra

(2) Departamento de Geografía. Facultad de Geografía i Historia. Universitat de València

RESUMEN

Las inundaciones fluviales constituyen en los municipios de Falces, Peralta y Funes (Navarra) un problema histórico. Ubicados en el sector más meridional del amplio y fértil llano de inundación del río Arga, han sido los pueblos más afectados por los desbordamientos de este enérgico río. La lucha secular contra las inundaciones se concreta en múltiples actuaciones, especialmente agresivas a partir de 1960: corta artificial de meandros, canalización, motas longitudinales, escolleras, dragados... Las obras han suprimido por completo el activo sistema natural de meandros libres y divagantes del bajo Arga, que en la actualidad, circula por un cauce artificial cuasi-recto hasta la desembocadura en el río Aragón. Ante un Arga debilitado y al amparo de las motas, el caserío, los servicios y las actividades industriales y agrarias van ocupando la llanura inundable. No obstante, las precipitaciones extraordinarias y el deshielo persisten, y con ellos los caudales extremos, capaces de superar las obras de defensa. La abierta exposición al riesgo de estas poblaciones multiplica las pérdidas económicas y vuelve ineficaz cualquier sistema de previsión y alarma de avenida.

Palabras clave: Inundación, canalización, riesgo, vulnerabilidad, daños.

Fecha de recepción: febrero 2004.

Fecha de admisión: marzo 2004.

ABSTRACT

Flood are a historical problem for municipalities like Falces, Peralta y Funes (Navarra). These municipalities are situated at the southern part of the rich an wide floodplain of the Arga River. These villages were the most damaged when this engerical river flooded. Since 1960 the ancient struggle against the floods have been more powerfull: artificial cutoff, channelization, levée construction, breakwater, dredgings... Ingenerical works have abolited the meandering channel system of the lower Arga. Nowadays Arga River has an straigth artificial channel that flows into the Aragón River. Under the protection of the channelization, villages, services and industrial activities have taken up the floodplain. Nevertheless there is still the extraordinary rainfall and the meltwater, and with them the extreme floods. For these villages the increasing risk means bigger economical losses and turns inefficient all precaution systems and flood alarms.

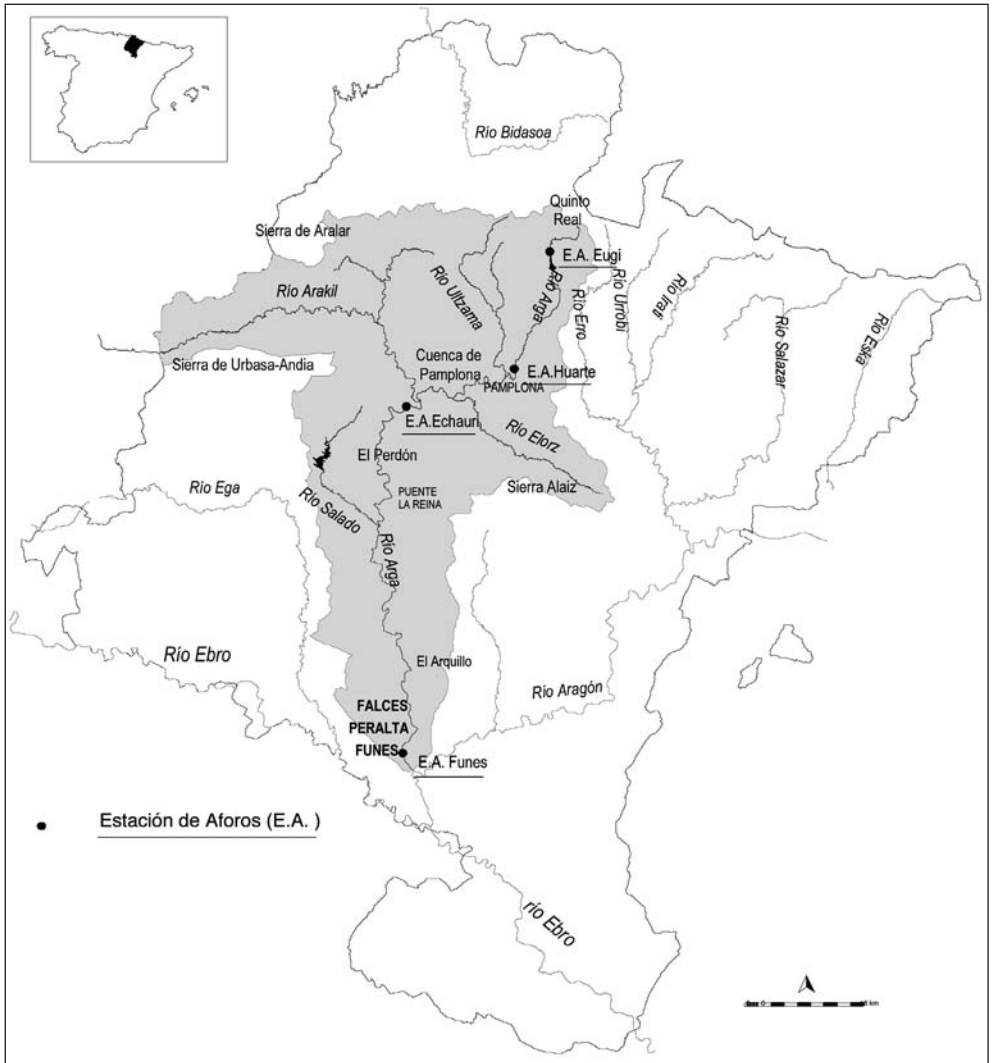
Key words: Flood, channelization, risk, vulnerability, damages.

I. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CRECIDAS E INUNDACIONES EN EL ARGÁ

El río Arga, afluente del Ebro por la margen izquierda, avena gran parte del sector central de Navarra. Junto con sus tributarios principales —Ultzama, Elorz y Arakil— conforma una cuenca hidrográfica alargada de aproximadamente 2.687 km². A lo largo de sus 149 km de longitud, el Arga marca claramente la transición hidrológica entre los Pirineos, los Montes Vasco-Cantábricos y la Depresión de Ebro (mapa 1).

La precipitación, factor fundamental de las crecidas del Arga, presenta en esta cuenca una merma gradual en sentido norte-sur, de la Montaña a la Ribera. Las masas de aire marinas que atraviesan la divisoria de aguas Cantábrico-Mediterráneo dejan en la cabecera abundantes y frecuentes precipitaciones (2.000-1.500 mm media anual y 0,53-0,55 de índice de irregularidad), siguen siendo importantes en la Cuenca de Pamplona (850 mm media anual y 0,56-0,60 índice de irregularidad), y pasan a ser escasas e irregulares una vez rebasadas las Sierras Exteriores (500-350 mm media anual y 0,61-0,65 índice de irregularidad).

Los análisis estadísticos aplicados a los datos máximos en 24 h de 17 observatorios meteorológicos de la cuenca muestran que las lluvias más copiosas se localizan también donde la influencia pirenaica (Quinto Real) y atlántica (Valles Meridionales y corredor del Arakil) es mayor (cuadro 1). Comúnmente, los registros más elevados se producen por lluvias de tipo frontal asociadas a borrascas atlánticas que dan lugar a situaciones de noroeste, oeste o norte, especialmente habituales en la estación invernal. Los vientos húmedos del Cantábrico originan precipitaciones que duran dos o más días y afectan a una extensa superficie (cabecera y cuenca media). El bajo Arga se encuentra más protegido de estas situaciones; sin embargo, las gotas frías y pantanos barométricos dan lugar a fuertes tormentas estivales de reducido alcance espacial y elevadas intensidades, siempre que en altura existan embolsamientos fríos que propicien el desarrollo de nubes convectivas (Bescós, 2003).



Mapa 1. Localización de la cuenca hidrográfica del Arga.

Ante lluvias extremas, la respuesta hidrológica de los ámbitos septentrional y meridional es muy diferente. A la disparidad en el origen, cuantía y características de la lluvia se une la correspondiente al soporte físico que la recibe. En las montañas y valles de cabecera, donde la cubierta boscosa es densa y los suelos tienen una espesa cubierta de materia orgánica, la retención hídrica es muy elevada; sin embargo, las copiosas y persistentes lluvias saturan los suelos y envían por vía superficial y subsuperficial gran cantidad de agua a los cauces. A las

Cuadro 1

PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO (T)

Periodo de retorno (años)	Probabilidad no excedencia	Eugi-Quinto Real (mm)	Olagüe (mm)	Alsasua (mm)	Pamplona (mm)	Falces (mm)
2	0.5	65	55	59	47	30
5	0.8	82	73	76	67	46
10	0.9	95	86	90	82	58
25	0.96	112	104	107	103	75
50	0.98	125	118	122	120	89
100	0.99	139	133	140	138	104
200	0.995	154	149	152	157	121
500	0.998	174	170	173	184	143

aguas de lluvia se unen, en ocasiones, las de deshielo, siendo este un factor intensificador clave en las crecidas del Arga (Bescós y Camarasa, 1998).

Aprovechando las pendientes, los bien nutridos caudales llegan a la Cuenca de Pamplona con rapidez. En ella recibe el Arga las aportaciones de sus principales afluentes: Ultzama, Elorz y Arakil, a las que se añade la escorrentía directa generada a expensas del substrato margoso y casi desnudo propio de la Cuenca cerealista. Las tierras llanas de esta depresión intramontana constituyen un área fundamental de acumulación de caudal y laminación por desbordamiento afectando, entre otras localidades, a la ciudad de Pamplona. El Arga atraviesa las Sierras Exteriores con la práctica totalidad del caudal de crecida.

En la Depresión del Ebro, las lluvias extraordinarias, son menos habituales que en la cabecera y poseen un marcado carácter torrencial. Las altas intensidades precipitadas superan la capacidad de infiltración de los suelos predominantemente arcillosos, que se compactan e impermeabilizan sin llegar a saturarse en profundidad. Como consecuencia se produce un flujo de tipo hortoniano que crece muy rápidamente y posee abundante aporte de sedimentos. Estas crecidas relámpago afectan a los barrancos tributarios del Arga, pero tienen escasa incidencia en las del colector principal. Cuando el campo de lluvias es amplio, los registros en la cuenca baja suelen ser moderados y se infiltran, en gran medida, en los resecos suelos, por lo que su aportación a las crecidas del Arga es muy inferior a la de las cuencas alta y media.

En los 59 km que distan entre Puente la Reina y la desembocadura, el bajo Arga traslada y lamina la crecida que se gesta aguas arriba y que tarda, aproximadamente, 24 horas en discurrir entre Pamplona y las localidades más meridionales del llano de inundación —Falces, Peralta y Funes—.

Dos componentes más inciden en la gravedad de la crecida: el estado antecedente de humedad en el suelo y la localización de las precipitaciones más cuantiosas. El primero condiciona el origen y la cuantía de las principales aportaciones hídricas, y el segundo, la confluencia o no del pico de crecida del Arga con el de los afluentes.

Los datos de las cuatro estaciones de aforos de C.H.E. en el Arga (Eugi, Huarte, Echaury y Funes) confirman que las crecidas son un fenómeno frecuente en este río y responde a que las situaciones meteorológicas que las provocan son muy habituales (Bescós, 2003). El invierno es la estación más propensa a grandes crecidas, seguida del otoño. Entre los meses destaca diciembre seguido de febrero, aunque el periodo de crecidas se prolonga entre

noviembre y abril. Las de invierno dependen, en gran medida, de las persistentes lluvias atlánticas; en primavera, la fusión de nieve suele jugar un papel más destacado como sucedió el 11 de abril de 1915, la máxima crecida registrada en el Arga con un caudal punta en Funes de 2.049 m³/seg. Aunque en cualquiera de estos meses, el deshielo puede ser un importante factor intensificador, como se ha comprobado en la crecida del 4 de febrero de 2003 con 933 m³/seg de caudal punta en Funes.

Además de numerosas, las crecidas del Arga pueden producir fácilmente desbordamientos. Según los informes y expedientes de crecida de C.H.E y Gobierno de Navarra y las notas de prensa local, en el siglo pasado y lo que llevamos del actual, el Arga ha experimentado un total de 142 crecidas, de las cuales 50 llevan algún daño asociado. Si tomamos como referencia los datos foronómicos de Funes (1913-1930 y 1949-2004), y establecemos el caudal de periodo de retorno de 5 años (737 m³/seg) (Bescós y Camarasa, 2000) como umbral discriminante entre crecida ordinaria y extraordinaria (Ollero, 1996), el resultado es que 13 de ellas son extraordinarias (cuadro 2) y 120 ordinarias; las 9 restantes corresponden a los periodos 1900-1913 o 1930-1948 de los cuales no existen registros de aforo. Entre las ordinarias, 39 poseen un periodo de retorno de entre 2 y 5 años (494 y 737 m³/seg) y 34 han provocado daños.

Cuadro 2

CRECIDAS EXTRAORDINARIAS. ESTACIÓN FORONÓMICA DE FUNES (1913-1930 Y 1949-2004)

Día	Mes	Año	Caudal Punta (m ³ /seg)	Periodo de Retorno en años
25	febrero	1914	996.6 (medio diario)	> T10
24	enero	1915	1357.9	>T25
11	abril	1915	2049	>T200
13	enero	1917	903.8	>T5 - T10
15	abril	1918	904	>T5 - T10
2	enero	1920	812	>T5
28	noviembre	1930	1340	>T25
3	febrero	1952	854	>T5
16	octubre	1953	912	>T5 - T10
22	febrero	1954	778	>T5
2	febrero	1978	812.3	>T5
26	diciembre	1993	906.5 (instantáneo)	>T5
4	febrero	2004	932.8	>T10

Sin duda, entre Falces y Funes se localiza uno de los tramos fluviales más frecuentemente castigados por los anegamientos. La información histórica permite establecer diferentes umbrales según el grado de afección: aproximadamente a partir de 350 m³/seg se detectan daños puntuales pero importantes, a partir de 450 m³/seg, las inundaciones son generalizadas y a partir de 500 m³/seg las afecciones en cascos urbanos son ya destacadas. Estos umbrales han variado con el tiempo y como consecuencia de las obras de defensa realizadas en el sector meridional. A partir de los años 80 del pasado siglo los frecuentes anegamientos con caudales ordinarios (300-500 m³/seg) desaparecen. El umbral de desbordamiento actual asciende a los 906,3 m³/seg (caudal instantáneo) de la crecida del 26 de diciembre de 1993, con importantes inundaciones a lo largo de todo el eje fluvial.

A su vez, se ha constatado que en un gran número de crecidas (43 de las 97 con datos de caudal para las estaciones de Echauri y Funes), los caudales punta son superiores en la estación situada aguas arriba. Este hecho es especialmente claro cuando en Echauri se superan los 500 m³/seg y pone de manifiesto la efectividad de la laminación en el llano de inundación (cuadro 3).

Cuadro 3
COMPARACIÓN DE CAUDAL PICO ENTRE E.A. ECHAURI Y E.A. FUNES

Día	Mes	Año	Caudal Punta	
			Echauri	Funes
30	diciembre	1960	940 (medio diario)	523 (medio diario)
7	diciembre	1969	902 "	520.8 "
16	enero	1981	1037.8 "	627.55 "
26	diciembre	1993	1118.8 (instantáneo)	906.5 (instantáneo)
4	febrero	2003	1051.4 "	932.8 "

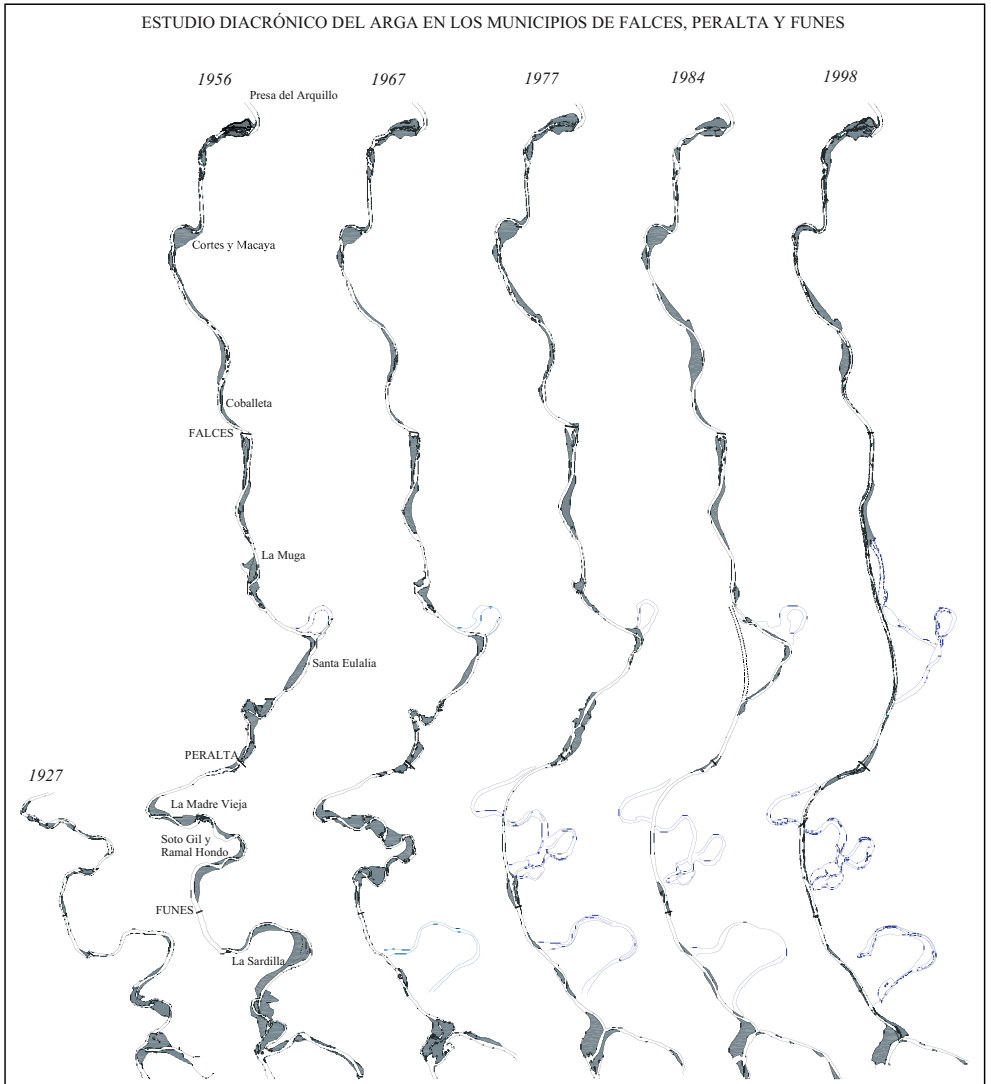
II. CONFIGURACIÓN GEOMORFOLÓGICA Y ACCIÓN ANTRÓPICA EN EL BAJO ARGA (MUNICIPIOS DE FALCES, PERALTA Y FUNES)

En su bajo valle, el Arga atraviesa la Depresión del Ebro cortando la sucesión de pliegues anticlinales y sinclinales que se suceden hasta el Ebro y en los que se ha instalado anaclicionalmente. Sobre los materiales terciarios ha formado una llanura de inundación de unos 100 Km² y tipología lisa o ligeramente cóncava, formada, principalmente, por acreción lateral en régimen meandrante. A un substrato compuesto por *point-bar* y depósitos de canal le sigue un sobre-substrato de depósitos más finos procedentes de los desbordamientos.

En los últimos 18,5 km, es decir, desde la presa del Arquillo hasta la desembocadura, el Arga cruza de norte a sur los municipios de Falces, Peralta y Funes. A ellos pertenece el sector más amplio del llano con una anchura predominante de 2 km, aunque llega a alcanzar los 10 en el área de confluencia con el río Aragón. Esta progresiva apertura de la llanura ha sido favorecida por la limitada resistencia de los yesos oligocenos del centro de la cubeta, primero, y por el gran surco sinclinal de Peralta, después.

La incisión lateral sobre los yesos a lo largo del Cuaternario ha propiciado que el cauce actual ocupe una posición disimétrica respecto a su llanura de inundación, desplazado hacia el oeste y jalonado por un escarpe de yesos. Este último presenta cortados de gran altura y fuerte pendiente en los que se producen fenómenos de inestabilidad con desprendimientos (*rock falls*), deslizamientos (*rock slides*) o vuelcos (*topples*) que afectan gravemente a las poblaciones localizadas al pie del escarpe —Falces, Peralta y Funes— (Ayala et al., 1985; Faci et al., 1988, 1992). A pesar de los buenos resultados obtenidos con las medidas correctoras aplicadas, queda mucha labor por realizar hasta poder afirmar la total seguridad de estas zonas (Leranoz, 1992). Al empuje ascendente de las capas de yeso por halocinesis se unen fenómenos de neotectónica ligada al diapirismo, al igual que múltiples formas y, sobre todo, microformas cársticas generadas por su disolución superficial y subsuperficial (Benito y Gutiérrez, 1988; Gutiérrez et al., 1985; Gutiérrez Santolalla, 1996).

Hasta hace escasamente treinta años, en que las obras de defensa alteraron por completo el trazado y dinámica natural del sector, al valle meridional del Arga correspondía el modelo meandriforme mejor desarrollado del sistema. Con una pendiente de 0,073% y un índice de sinuosidad de 1,63, los meandros divagaban libremente en la amplia llanura de inundación, donde tenían la posibilidad de erosionar las orillas cóncavas y depositar los aluviones transportados por las aguas de desbordamiento en las convexas. Las numerosas muestras



Mapa 2. Estudio diacrónico del Bajo Arga en los municipios de Falces, Peralta y Funes.

de lechos abandonados en el parcelario evidencian la elevada movilidad del cauce en todas direcciones, aunque la canalización constituye la prueba más clara de la activa dinámica precedente. En la actualidad, este sector se compone de un canal artificial de morfología rectilínea o ligeramente sinuosa, —con un índice de sinuosidad de 1,47—, dentro del cual, el río discurre confinado.

El análisis diacrónico de fotografías aéreas (1927, 1931, 1956-57, 1967, 1977, 1984-85 y 1998) pone de manifiesto la tendencia al cambio y la rápida evolución de las formas en los últimos 70 años. Las imágenes muestran un sector septentrional más estable, localizado entre la presa del Arquillo y la localidad de Falces; y otro mucho más dinámico, que abarca las tres villas meridionales del Arga y llega hasta la desembocadura (mapa 2).

La presa del Arquillo constituye la primera modificación antrópica importante del sector. La fuerte ruptura de pendiente (0,27%) ha dado lugar a un canal de morfología trenzada con dos kilómetros de desarrollo en planta y un canal que supera los 300 metros de anchura. Aguas abajo del área de influencia de la presa, una serie de estratos de caliza dura atraviesan transversalmente el cauce rectilíneo generando una sucesión de rápidos y pozas con continuos cambios de pendiente en aguas bajas, pero que quedan sumergidos con las aguas de crecida. Tras ellos se localizan los últimos meandros naturales del Arga: la curva de Cortes y la contracurva de Macaya. La anchura media del canal es de 45 metros y la profundidad de 3,4 metros. En las áreas cóncavas de ambas curvas se desarrollan *point-bar*; el de Macaya es más amplio y en él se distinguen varios canales de inundación (*swales*). Las aguas de crecida ocupan los lóbulos de meandro, pero hacen falta caudales muy elevados para ampliar más las áreas inundadas. Finalmente, y hasta la localidad de Falces, el Arga presenta un trazado suavemente sinuoso, de curvas amplias y bastante estables, cuyos depósitos laterales muestran una progresiva ampliación y consolidación mediante colonización vegetal.

Entre Falces y la desembocadura, la formación y destrucción de barras de grava, la migración de las mismas, los brazos ciegos, los acortamientos y estrangulamientos que provocan cambios en el trazado del cauce son rápidos y constantes. La imagen de 1956 evidencia la cercanía del núcleo urbano de Falces al río, que incide (meandro de Coballeta) en dirección a las construcciones ubicadas en la orilla derecha. El proceso erosivo y el paulatino acercamiento a la localidad se mantiene hasta la imagen de 1998 en que el Arga ha sido canalizado y desviado 200 m en dirección contraria a la villa. Aguas abajo de Falces, el Arga presenta en estos años una marcada tendencia a incidir en el escarpe de yesos (imagen 1).

El soto de la Muga y Santa Eulalia muestran una movilidad y tendencia al cambio muy elevada. Entre 1956 y 1977 se producen, en el primero de los meandros, dos acortamientos sucesivos con una colmatación muy rápida del antiguo cauce principal —inferior a diez años—, y en cuyo proceso de rellenado se originan brazos ciegos. En cuanto al de Santa Eulalia, la imagen de 1956 muestra un estrangulamiento reciente y su paulatina colmatación en los años posteriores. La principal modificación de este meandro deriva del proceso de traslación del mismo en sentido sur, que afecta al canal y a las barras de grava con constantes cambios de tamaño y forma. En 1984 la canalización ha comenzado y las marcas en el terreno indican el trazado del canal diseñado para el Arga. En la década siguiente la obra ha sido ejecutada y los dos meandros desgajados del canal principal.

Entre los meandros de Santa Eulalia y la Madre Vieja de Peralta las modificaciones son constantes. Se distingue un pequeño meandro afectado primero por un acortamiento (1954),

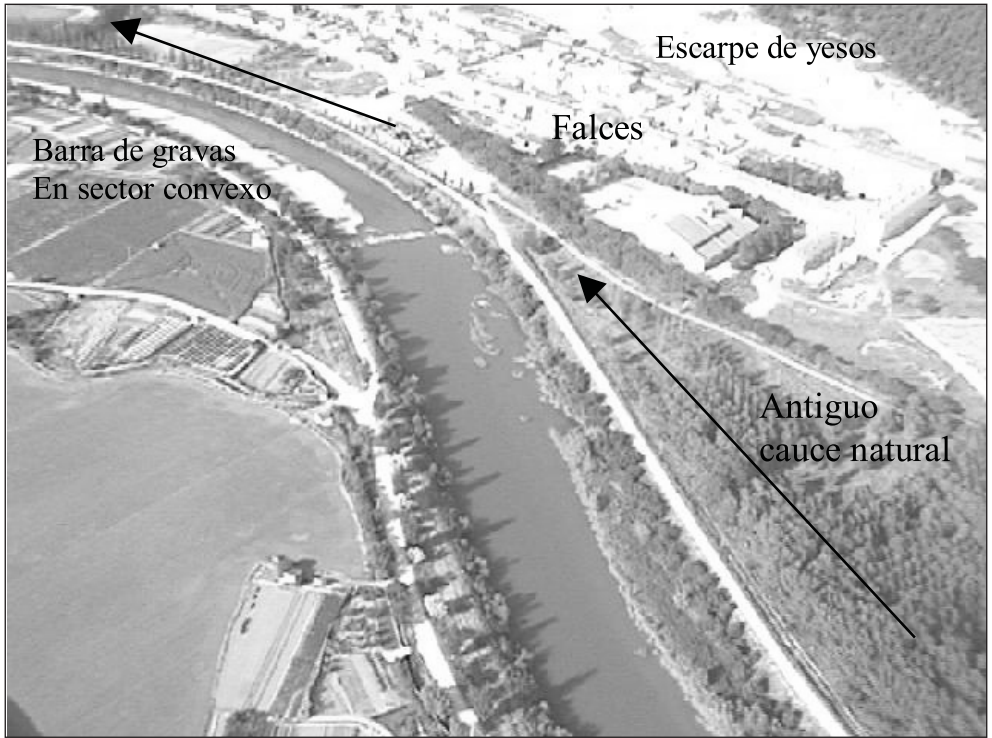


Imagen 1. Localidad de Falces. Desvío y canalización del río.

Fuente: Gobierno de Navarra

posteriormente por un estrangulamiento (1977) y por los procesos de reajuste siguientes con múltiples brazos ciegos ubicados entre los cuantiosos depósitos de grava. En 1984 el tramo ha sido canalizado y los depósitos dragados. En 1992 aparecen ya las barras laterales alternantes que se forman a lo largo de todo el tramo canalizado.

De los meandros de la margen derecha, la Madre Vieja de Peralta es el que consigue mayor desarrollo, y su formación está propiciada por la entrada del barranco del Raso que interrumpe el escarpe de yeso y amplía la llanura aluvial en ese punto. La sucesión de imágenes (1927-1967) permite detectar la rapidez de los procesos que afectan a los meandros de Peralta y Soto Gil. En primer lugar, todos los meandros mencionados están compuestos por una serie de curvas y contracurvas que van exagerando su sinuosidad hasta dar lugar a un trazado tortuoso; a partir de esta situación se desarrollan multitud de acortamientos que modifican la morfología del canal y sus depósitos asociados. Los acortamientos a menudo acaban en una fase de brazo ciego temporalmente corta hasta que quedan definitivamente colmatados. Finalmente, el meandro o alguna de sus sinuosidades llega al abandono por estrangulamiento. A partir del nuevo trazado, relativamente rectilíneo y de pendiente más pronunciada, el proceso se inicia de nuevo. Es probable que el fuerte desarrollo de la sinuo-

sidad que se aprecia entre las imágenes de 1956 y 1967 se encuentre vinculado a la primera corta artificial realizada (1960) y que afecta al meandro de la Sardilla. El aumento de la pendiente provocado por la corta se vería compensado mediante un canal más largo, lento y tortuosos aguas arriba. A partir de 1977, y una vez realizada la canalización, la dinámica del Arga se altera por completo quedando en gran medida desvirtuada.

La desembocadura en el Aragón presenta el mismo carácter móvil y cambiante que el resto del sector, pudiéndose destacar, incluso, una mayor rapidez en la evolución de los procesos. Entre 1927 y 1956 la modificación del canal y las gravas es completa. La aparición y desaparición de los depósitos, su migración, los acortamientos y más puntualmente los estrangulamientos, se suceden constantemente dando lugar a un canal complejo, a menudo dividido en brazos que divagan entre grandes depósitos de grava. A partir de 1977 las imágenes muestran una desembocadura artificial y estable, construida según la tipología «pico de ave».

Más que los episodios extraordinarios, las frecuentes crecidas ordinarias han sido el principal motor de la actividad geomórfica del sistema. Entre la imagen de 1927 y la de 1954, y teniendo en cuenta que carecemos de registros entre los años 1930 y 1949, se han producido 19 crecidas con caudal superior a 2 años de periodo de retorno (494 m³/seg), de las cuales cinco, —noviembre 1930 (1340 m³/seg); febrero 1952 (854 m³/seg); octubre 1953 (912 m³/seg) y febrero 1954 (778 m³/seg)— superan los 5 años de periodo de recurrencia (737 m³/seg). En la década 1956-1967, se registran siete crecidas con caudales entre 2 y 5 años de periodo de retorno, a las que se añaden dos más entre 1967 y 1977, ninguna de ellas es extraordinaria; sin embargo, las modificaciones en el trazado del canal son muy significativas. Entre 1977 y 1984, el número de crecidas con caudal superior a 2 años de periodo de retorno son cinco, y una, —febrero 1978 (812,3 m³/seg)—, supera los 5 años. Finalmente, entre las imágenes de 1984 y 1998 se producen cuatro crecidas cuyos caudales están entre 2 y 5 años de periodo de recurrencia y una, —diciembre 1993 (746 m³/seg) supera el segundo umbral.

El desvío, la canalización y la corta artificial de los cinco meandros, cuyas fases de acometida (1960-1999) se aprecian claramente en el estudio evolutivo, ha supuesto la total desaparición de la activa dinámica natural del río Arga. Incapaz de migrar lateralmente, su funcionamiento se ha vuelto simple y homogéneo, con una estructura sedimentaria repetitiva, compuesta por barras laterales de grava que alternan en ambas orillas y poseen una morfología estrecha y alargada. En la actualidad, este canal, inicialmente recto (1,1 índice de sinuosidad), presenta una marcada tendencia a generar, entre los muros que lo constriñen, un nuevo trazado meandriforme (Knighton, 1998). El talweg se ha sido desplazado hacia las orillas cóncavas donde el ahondamiento en el lecho de gravas es máximo. El canal, capaz de contener caudales de unos 900 m³/seg, posee una anchura y profundidad medias de 76,5 y 4,8 m, respectivamente, y la pendiente, superior a la natural, ha ascendido a 0,095%.

III. VALORACIÓN DE LAS OBRAS DE DEFENSA ESTRUCTURALES DEL BAJO ARGÁ

En sus orígenes, las poblaciones de Falces, Peralta y Funes, fueron fundadas sobre la peña de yeso, en una posición defensiva contra las invasiones medievales y protegidas de las inundaciones. El caserío, como en tantas villas ribereñas, fue descendiendo pendiente abajo

hasta alcanzar la baja llanura aluvial. Estos tres municipios, tradicionalmente agrícolas y ganaderos, experimentaron, a partir de la segunda mitad del siglo XX, grandes cambios: la concentración parcelaria, la expansión del regadío, la mecanización, la difusión de grandes granjas de vacuno, porcino y avícola, sustentadas en la agricultura intensiva y, sobre todo, el desarrollo industrial, especialmente importante en la localidad de Peralta (Ugalde, 2002).

Todas estas transformaciones económicas y sociales generaron la imperiosa necesidad de nuevo suelo urbano e industrial. A este respecto, las tres localidades presentan problemáticas similares derivadas de su peculiar emplazamiento: hacia el escarpe de yesos, la expansión se encuentra limitada por los desprendimientos del inestable farallón rocoso, y hacia el llano de inundación por las inundaciones. Tras varios accidentes producidos por desprendimientos locales, la tendencia general fue alejarse del escarpe, deshabitando algunas viviendas e incluso paralizando las obras de nuevas urbanizaciones (Faci et al., 1988). A partir de los años 50 del siglo pasado y siguiendo el ejemplo de la Ingeniería hidráulica europea, Confederación Hidrográfica del Ebro (C.H.E.) empezó a aplicar nuevas técnicas y métodos de protección contra inundaciones. En 1959, el Plan de Regulación del Arga de C.H.E. contemplaba ya el encauzamiento entre los puentes de Peralta y Funes. El proyecto inicial, ampliado y realizado en varias fases (1960-1999) ha supuesto la construcción de 11.570 m de muro y escollera (6.550 con mota longitudinal) en la margen izquierda, y 11.300 m en la derecha (2.900 m con mota). A lo largo de los 13,4 km que separan el Soto de Coballeta (Falces) de la desembocadura, el Arga ha perdido totalmente su fisonomía natural.

Los objetivos que dirigieron la obra de ingeniería pueden resumirse en dos: protección contra la erosión y defensa frente a las inundaciones. El primero de ellos engloba dos fines diferenciados; por un lado, suprimir el rápido avance del cauce fluvial hacia las poblaciones, ya que en las localidades de Falces —meandro de Coballeta por el este— y de Peralta —Madre Vieja por el sur—, empezaba a comportar serios riesgos; y por otro lado, poner freno a la movilidad del río impidiendo la destrucción de tierras de regadío de alto valor económico. En cuanto a las inundaciones, la meta era acabar definitivamente con las pérdidas económicas ligadas a los frecuentes anegamientos tanto de las poblaciones como del regadío.

A pesar de su impacto sobre el sistema natural, la obra ha logrado gran parte de sus objetivos más inmediatos. En primer lugar ha eliminado la migración lateral del río y con ello las posibilidades de cambio. Con el desvío de Falces y la corta de Peralta se ha distanciado el cauce de las poblaciones. La frecuencia de las inundaciones ha disminuido al elevarse el umbral de desbordamiento y, finalmente, el aumento de la velocidad de la corriente ha facilitado una evacuación de las aguas de crecida más rápida.

Las grandes expectativas generadas por la obra favorecieron que una vez canalizado el río Arga la población en expansión empezase a ocupar la vega. Animados por la optimista sensación de haber vencido las inundaciones, los edificios invadieron primero la margen derecha, para extenderse después, al otro lado del río. Pronto se demostró que las obras de defensa no son infalibles ni definitivas, más cuando el caudal de proyecto que se empleó para dimensionar esta obra de ingeniería hidráulica no corresponde a un periodo de retorno de 100 años, como se creía, sino de aproximadamente 25 años. En los análisis estadísticos de caudales extremos se suprimió el valor más elevado de la serie —2049 m³/seg del año 1915— que, a pesar de ser un dato oficial de C.H.E., fue considerado erróneo. Como con-

secuencia, el riesgo actual es más alto de lo que en principio se suponía. La ampliación del cauce impide el desbordamiento de crecidas de alta y media frecuencia pero resulta insuficiente cuando los caudales superan los 900 m³/seg. Así lo han demostrado las dos últimas crecidas extraordinarias, —la de diciembre de 1993 con un caudal pico instantáneo de 1118 m³/seg en Echauri y 906 en Funes o la de febrero de 2003, con 1051 y 932 m³/seg de caudal pico instantáneo, respectivamente—. Ambas crecidas provocaron extensos anegamientos en el llano de inundación. Sin embargo, y a pesar de la evidencia, la creencia en las obras de defensa sigue siendo firme. A cada inundación le sigue una fase de nuevas actuaciones sobre el cauce: ampliación de la anchura del mismo, motas más altas, dragados...que vuelven a alimentar la sensación de seguridad de la población que cree, una vez más, haber controlado el proceso. La ausencia de las habituales inundaciones ordinarias unida a la distancia temporal con que se producen las crecidas más fuertes, potencia que se sigan invadiendo los espacios inundables. A medida que la invasión del llano de inundación se intensifica, la dependencia de las obras de defensa se acentúa. Este problema es más notorio en Peralta y Funes, donde la ocupación de espacios de alto riesgo continúa.

Las crecidas del Arga, tanto por las situaciones meteorológicas que las provocan como por el modelo de propagación de las mismas, son fácilmente previsibles, lo que implica que no entrañan peligro para la vida humana, aunque por el volumen de agua que transportan,

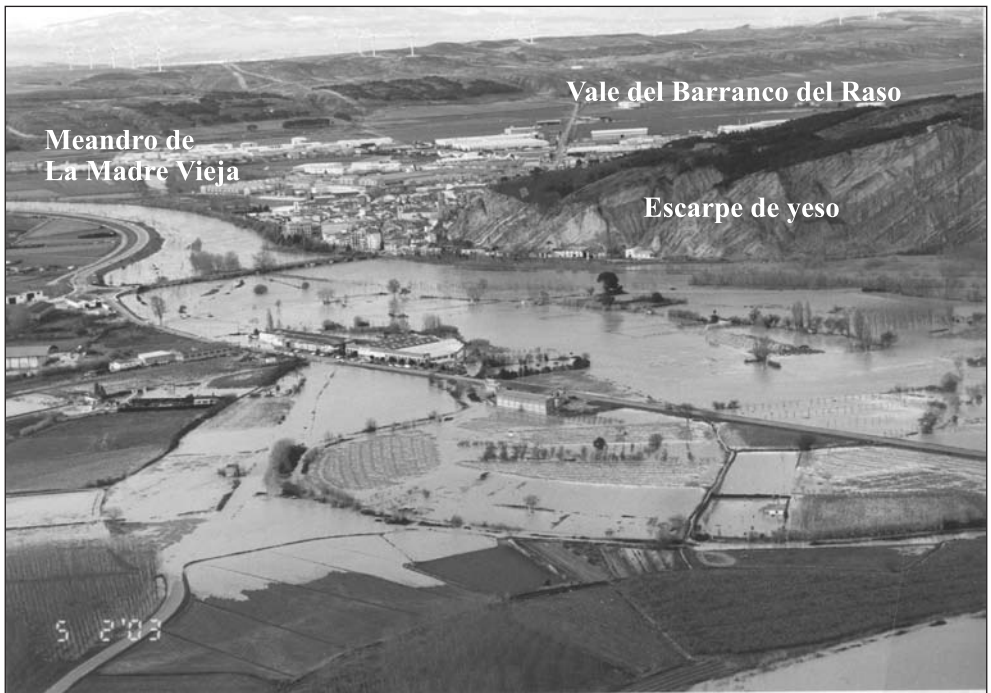


Imagen 2. Localidad de Peralta. Crecida de febrero de 2003.

Fuente: Protección Civil. Gobierno de Navarra

conlleven extensas inundaciones y producen pérdidas económicas muy cuantiosas (imagen 2). En los últimos decenios, y en relación con el reciente desarrollo socio-económico de estas poblaciones, el valor de las inversiones en el llano de inundación se ha incrementado: sofisticados sistemas de riego, viveros e invernaderos, bien equipadas casetas de campo, bienes de uso agrícola, granjas de ganado, vías de comunicación e infraestructuras, centrales hidroeléctricas, depuradoras de aguas residuales, tendidos eléctricos y de gas, almacenes, polígonos industriales, servicios públicos (colegios, polideportivos, consultorio médico...), urbanizaciones... por este motivo, las poblaciones del bajo Arga son hoy día más vulnerables que hace treinta años cuando la exposición al riesgo era menor pero, sobre todo, los bienes arriesgados eran económicamente menos costosos.

Contrariamente a lo que se pretendía, la canalización no ha conseguido alejar el riesgo de estos municipios, sino que ha potenciado que la población se exponga confiadamente y en exceso al peligro de la inundación.

Además de las consideraciones de tipo socioeconómico señaladas, es obligado destacar varios efectos negativos que de forma directa o indirecta acompañan a esta actuación. Dichos efectos tienen consecuencias claves en las inundaciones actuales, y explican por qué el anegamiento del llano se inicia antes de que el caudal del Arga supere las motas que lo costrñen.

1.— En momentos de crecida, los diques de protección impiden la entrada de agua en el llano de inundación pero provocan una sobreelevación del nivel del agua con respecto a las áreas defendidas. Esto implica que durante la avenida se crea un gradiente hidráulico invertido respecto al normal en un acuífero aluvial (similar al de los cauces colgados), de forma que el terreno protegido se inunda por filtración del agua, incluso pueden llegar a producirse roturas y surgencias cuando el terreno es impermeable. En las últimas crecidas se han detectado procesos de filtración tanto en Peralta como en Funes. Este fenómeno afecta también a los tributarios del Arga que ven imposibilitado el desagüe en el colector principal. Como ejemplo, el del río Molinar en Peralta, cuyas inundaciones son, a veces, mayores que las del Arga.

2.— Al disminuir el desbordamiento se reduce la laminación de las avenidas por almacenamiento temporal en el llano de inundación. Como consecuencia el pico de crecida se traslada en toda su cuantía agravando las inundaciones aguas abajo. Por este motivo solicitó el Ayuntamiento de Funes la ampliación de la obra hasta pasado su casco urbano, pues una vez realizadas las obras en los municipios de aguas arriba, las inundaciones se habían agravado en esta localidad. Una vez canalizado Funes, el efecto se ha trasladado a la desembocadura donde la coalescencia de los caudales crecidos del Arga y el Aragón dificulta el desagüe, se produce reflujo y los anegamientos alcanzan una amplia extensión.

3.— En los cauces naturales, las formas del terreno señalan los lugares que emplean los flujos desbordados para entrar y salir del llano de inundación. Con la canalización, la dinámica natural se altera por completo y resulta imposible reconocer estas vías preferentes. Por un lado, aumenta la incertidumbre sobre las zonas expuestas a riesgo; y por otro, una vez producido el desbordamiento, las aguas de inundación permanecen más tiempo en el llano porque las vías de retorno naturales han desaparecido y los espacios defendidos se convierten en espacios cerrados. Como consecuencia las pérdidas, principalmente agrícolas, son mucho mayores.

4.— Los cinco meandros cortados artificialmente están conectados al Arga mediante tubos regulados por tajaderas y continúan siendo funcionales en momentos de aguas altas. Estos antiguos cauces desempeñan un papel laminador muy importante al almacenar parte de las aguas de crecida, siendo además, las áreas que primero se inundan por desbordamiento.

Además de estos cuatro aspectos relacionados con la inundación, la canalización implica la adaptación y reajuste del río a los nuevos parámetros geomorfológicos, que puede comportar el desarrollo de procesos indeseados (Knighton, 1998). Así, la rectificación lleva aparejada una reducción de la longitud y aumento de la pendiente que favorece la erosión lineal del cauce. Esta incisión progresa de aguas abajo hacia aguas arriba llegando a provocar erosión también en los tramos superiores como consecuencia del descenso del tramo inferior (Martín Vide, 1997, 2002). Probablemente debido a que es una obra muy reciente y realizada en fases sucesivas, aún no se perciben signos de erosión lineal acusada en el Arga. No obstante, cabe esperar que cuando el sistema alcance mayor madurez, la incisión se incremente llegando a ser importante ya que el Arga en crecida transporta caudales muy abundantes y de elevada energía.

La tendencia a desarrollar nuevos meandros es otro de los fenómenos comunes en cauces canalizados. Los encauzamientos de planta recta o pequeña curvatura en canales de fondo móvil no son capaces de conducir las aguas en línea recta sino que desarrollan una inestabilidad lateral, cuyas consecuencias son la formación de barras alternantes y el ataque a las márgenes cóncavas del encauzamiento. Este proceso, común a cauces artificiales o naturales, es claro en el Arga en cuyo cauce aparecen largos depósitos de grava que alternan en ambas orilla.

IV. CONCLUSIONES

A lo largo de la historia, el Arga ha demostrado ser un río de frecuentes crecidas y reiteradas inundaciones. A pesar de la lucha tenaz por dominar las inundaciones estas se siguen produciendo y van acompañadas de graves pérdidas económicas. Según los datos del Gobierno de Navarra, la última de las crecidas del Arga —febrero de 2003— ha supuesto, tan sólo en el llano de inundación de este río, una inversión posterior de 3.015.163 €. El planteamiento inmediato a la catástrofe sigue siendo la construcción o reconstrucción de las obras de defensa. Así lo prueba el suceso citado para cuya restauración de las mismas, Confederación Hidrográfica del Ebro ha destinado 2.110.000 €.

La génesis de las crecidas en el Arga está vinculada, principalmente, a precipitaciones procedentes del Cantábrico cuyo campo de influencia es amplio y afecta a la cabecera y la cuenca media. La gravedad de las mismas depende del aporte de humedad de la masa de aire, de la persistencia de la lluvia, de la humedad antecedente del suelo, de la contribución o no del deshielo y de la posible confluencia de picos de crecida. Tanto las causas como las consecuencias pueden calificarse de comunes, reiterativas y previsibles. Por la extensión del área que contribuye a la producción de escorrentía, los volúmenes de caudal que transporta el Arga en la Ribera son considerables. En los 71 años de registros de aforo de Funes se han identificado 13 crecidas extraordinarias, es decir, con un caudal superior a 737 m³/seg o 5 años de periodo de retorno, y 120 ordinarias. Un total de 50 crecidas tienen asociado algún tipo de daño por desbordamiento.

Esta situación ha cambiado sustancialmente a partir del encauzamiento del Bajo Arga en los municipios de Falces, Peralta y Funes. De sufrir afecciones continuadas con caudales de 350-450 m³/seg ha pasado a tener un umbral de desbordamiento de unos 900 m³/seg. No obstante, la inundación se produce con caudales inferiores (700 m³/seg) como consecuencia de las infiltraciones, el desbordamiento de los meandros cortados y dificultad de desagüe y refluo en la desembocadura.

El coste del desvío, corta de cinco meandros, modificación de la confluencia con el río Aragón y construcción de mota continua en la práctica totalidad del sector, ha dado lugar al deterioro del sistema geomorfológico y ambiental del Bajo Arga. De un dinámico sistema de meandros libres se ha pasado a otro simplificado y homogéneo con barras laterales de grava que alternan en ambas orillas y entre las cuales el flujo tiende a divagar nuevamente.

Sin duda, el efecto negativo más preocupante de esta obra de ingeniería es la progresiva ocupación de zonas inundables. Indirectamente asociado a ella, ha potenciado que el desarrollo de Falces, Peralta y Funes se realice en espacios de alto riesgo. La excesiva confianza en las infraestructuras correctivas ha favorecido el incremento de bienes e inversiones en el llano de inundación.

La solución a los problemas de inundabilidad no son sencillos, pero se impone un cambio en los planteamientos. Cada vez es más evidente la necesidad de interdisciplinaridad para



Imagen 3. Localidad de Funes. Crecida de febrero 2003.

Fuente: Protección Civil. Gobierno de Navarra

llegar a soluciones adecuadas. Hay que aceptar que la protección definitiva y completa no existe, y que los valores ambientales y el funcionamiento geomorfológico son compatibles con un grado de protección razonable. Las estructuras de defensa pueden ser inevitables en lugares con problemática arraigada pero son eludibles en muchos sectores hoy canalizados. Estrategias preventivas, gestión eficaz y, sobre todo, una ordenación racional del espacio inundable deberían constituir las claves de futuras actuaciones sobre el sistema fluvial (imagen 3).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA, F.; APARICIO, V. y CONCONI, G.O. (1985). *Estudio de inestabilidades en los acantilados yesíferos de la Ribera Navarra*. Instituto Geológico y Minero de España. I.G.M.E. pp. 657-668.
- BENITO, G.; GUTIÉRREZ, M. (1988). «Karst in gypsum and its environmental impact on the Middle Ebro Basin, Spain». *Environ Geol Water Sci.* vol. 12, nº 2 pp. 107-111.
- BESCÓS, A. (2003). *Las inundaciones en el Río Arga. Estudio Hidrogeomorfológico*. Universidad de Alcalá. Tesis doctoral inédita. 407 pp.
- BESCÓS, A. y CAMARASA, A.M. (1998). «Caracterización hidrológica del río Arga (Navarra): el agua como recurso y como riesgo». *Estudios Geográficos*. Tomo LIX, nº 232, pp. 389-422.
- BESCÓS, A. y CAMARASA, A.M. (2000). «Elaboración de cartografía de zonas inundables. Aplicación al llano de inundación del río Arga (Navarra)». Departamento de Geografía y Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá. *Serie Geográfica*. pp. 219-236.
- FACI, E.; RODRÍGUEZ AVIAL, J.I. y JUGO, J. (1998). «Estabilización y medidas correctoras del talud rocoso «Las Tres Marías» en Falces (Navarra)». *II Simposio Taludes y Laderas Inestables*. pp. 497-511.
- FACI, E. y RODRÍGUEZ AVIAL, J.I. (1992). «Protección contra desprendimientos en varias poblaciones de Navarra». *III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. La Coruña. pp. 743-758.
- GUTIÉRREZ, M.; IBÁÑEZ, M.J.; PEÑA, J.L.; RODRÍGUEZ, J.; SORIANO, M.A. (1985). «Quelques exemples de karst sur gypse dans la dépression de l'Ebre». *Karstologia* 6, pp. 29-35.
- GUTIÉRREZ, F. (1996). «Gypsum karstification induced subsidence: effects on alluvial systems and derived geohazards (Calatayud Graben, Iberin Range, Spain)». *Geomorphology*, 16, pp. 277-293.
- FLORISTÁN, A. (1995-2002). *Geografía de Navarra*. C.A.N. y Diario de Navarra. 6 Vol.
- KNIGHTON, D. (1998). *Fluvial Form and Processes: A new perspective*. Arnold. 383 pp.
- LERANOZ, B. (1993). *Geología y geomorfología ambiental de la Ribera de Navarra*. Tesis doctoral. Inédita. Universidad de Zaragoza.
- LEWIN, J. (1978). «Floodplain Geomorphology». *Progress in Physical Geography*, 2-3, pp. 408-437.
- MARTÍN VIDE, J.P. (1977). *Ingeniería fluvial*. Edición de la Universitat Politècnica de Catalunya. p. 209.

- MARTÍN VIDE, J.P. (2002). *Ingeniería de ríos*. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya. pp. 331.
- MATEU, J.F. (1989). «Crecidas e inundaciones». *Guía de la Naturaleza de la Comunidad Valenciana*, 565-608.
- OLLERO, A. (1996). *El Curso Medio del Ebro*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, Zaragoza, pp. 311.
- ROSSELLÓ, V. (1989). «Los llanos de inundación». En Gil Olcina, A. y Morales A. (eds.): *Avenidas e inundaciones en el Mediterráneo*. Universidad de Alicante. C.A.M., Alicante, 243-285.
- UGALDE, A. (2002). «Bajo Aragón. Confluencias fluviales». (En) *Geografía de Navarra*. Tomo VI. C.A.N. y Diario de Navarra. pp. 561-576.

