

GEOMORFOLOGÍA, INUNDACIONES Y ALTERACIÓN ANTRÓPICA DEL ESPACIO INUNDABLE: EL CASO DEL RIU GIRONA (ALACANT, OCTUBRE DE 2007)

Francesca Segura Beltrán
Dpt. de Geografia. Universitat de València

RESUMEN

Este artículo analiza las inundaciones acaecidas entre el 11 y el 12 de octubre de 2007 en la cuenca baja del Riu Girona. El objetivo del trabajo consiste en explicar la geometría del área inundada y los procesos de inundación, atendiendo a dos factores fundamentales: la topografía y los cambios recientes producidos en el espacio inundable. Para explicar la dinámica de las inundaciones, la morfología del terreno, se puede clasificar en formas cóncavas (donde se concentran las aguas desbordadas) y convexas (que quedan a salvo de la inundación). A la primera categoría pertenecen las depresiones tectónicas y los paleocauces, mientras que en el segundo grupo se encuentran las acumulaciones sedimentarias (abanicos aluviales) y cualquier relieve positivo de tipo estructural. Por lo que respecta a los cambios del área inundada, se pone especial atención en analizar los cambios recientes del espacio inundable y del cauce: urbanización, vías de comunicación, canalizaciones, vegetación del lecho, etc.

Palabras clave: inundaciones, abanico aluvial, modificaciones antrópicas, cuencas mediterráneas.

ABSTRACT

This paper discusses the floods occurred between 11 and 12 October, 2007 in the lower basin of the Riu Girona, Alacant. The aim of this work is to define the geometry of the flooded area and the processes of flooding, according to two fundamental factors: the topography and recent changes that have occurred on the floodplain. To explain the flood dynamics, the

Fecha de recepción: octubre 2008.

Fecha de aceptación: junio 2009.

morphology of the terrain was classified into concave shapes (where the waters converge) and convex (which are safe from flooding). In the first category are the tectonic depressions and paleochannels, while the second group includes sedimentary accumulations (alluvial fans) and positive structural relief elements. With respect to changes in the flooded area, special emphasis was placed on analyzing the recent changes in the floodplain and the river channel including urbanization, roads, pipelines and vegetation.

Key words: flooding, alluvial fan, human modification, Mediterranean basins.

I. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos complejos, fruto de la interrelación de diferentes factores. Las causas meteorológicas (precipitaciones extraordinarias), determinadas características físicas de la cuenca, junto con la topografía de la zona inundable y las condiciones de los cauces, son elementos cambiantes para cada episodio.

Las precipitaciones extraordinarias, responsables de las inundaciones, son frecuentes en el litoral mediterráneo. La intensidad y el volumen de lluvia caído, junto con las características físicas de la cuenca, se reflejan en el umbral de escorrentía y en la forma y características del hidrograma. La interrelación de todos estos factores suele producir avenidas súbitas, con volúmenes de caudal que superan la capacidad de los cauces y provocan graves inundaciones (Segura, 1990; Camarasa y Segura, 2001; López *et al.*, 2007).

El litoral mediterráneo, donde son frecuentes este tipo de inundaciones, se configura como un conjunto de cuencas de pequeñas dimensiones, drenadas por ramblas y barrancos, de circulación esporádica. Las cabeceras se asientan sobre los relieves litorales y prelitóricas, próximos al mar, mientras que las cuencas bajas se desarrollan al pie de las sierras. La pendiente, elevada en su tramo alto, disminuye progresivamente en las llanuras costeras, formadas por abanicos aluviales depositados por cursos fluviales efímeros. Aunque se trata de espacios intensamente ocupados por el hombre desde antiguo, el fuerte crecimiento económico experimentado por estas zonas a partir de los años 60 del siglo XX, ha provocado cambios en la agricultura tradicional y, sobre todo, una fuerte presión urbanística que ha llevado a la ocupación indiscriminada de las zonas inundables (Segura, 2004 y 2006). Este hecho ha conllevado la modificación de la geometría natural de los llanos de inundación, tanto de las zonas cóncavas (concentración de flujos) como de las convexas (dispersión de flujos).

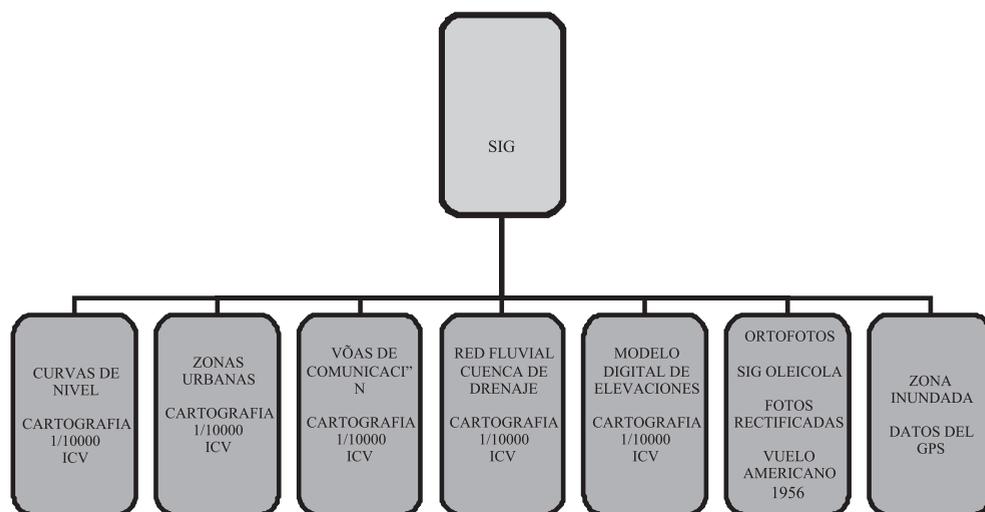
Al mismo tiempo, en aras de una mayor protección de las zonas urbanas, se han acometido una serie de obras en los cauces que, en muchos casos, no han hecho sino incrementar los daños producidos por las inundaciones. La construcción de infraestructuras dentro del mismo cauce, la fijación de márgenes o el estrechamiento de la sección transversal son prácticas que suelen tener repercusiones sobre la dinámica fluvial y producen alteraciones que se dejan sentir durante los episodios de inundaciones. Todo ello hace prever que en un futuro inmediato, aumentará la vulnerabilidad frente a las inundaciones fluviales en la cuenca mediterránea, habida cuenta de la ocupación incontrolada de la zona inundable.

II. METODOLOGÍA

El objetivo del presente trabajo es el análisis de la zona inundada en octubre de 2007 en la cuenca del Riu Girona (Marina Baixa, Alacant). A partir de la información cartográfica y del trabajo de campo, se realiza una interpretación en clave geomorfológica de la área inundada, poniendo especial énfasis en distinguir la dinámica fluvial natural de las alteraciones antrópicas recientes.

El análisis de todos estos elementos, que se superponen e interfieren entre sí, es complejo y requiere el manejo de numerosa información, tarea que en este trabajo se aborda mediante el uso de un SIG (ArcMap, v. 9.1) (fig. 1).

Figura 1
ESQUEMA DEL SIG UTILIZADO EN ESTE TRABAJO



Los mapas topográficos digitales a escala 1/10.000 de l'Institut Cartogràfic Valencià han servido para extraer la topografía (equidistancia de 10 m), las zonas urbanas, la red viaria y la hidrografía. Las ortofotografías del SIG Oleícola (1997) y la corrección de fotografías aéreas del vuelo americano de 1956 han permitido comprobar la evolución del espacio inundable entre ambas fechas.

El MDE, cedido por la Confederación Hidrográfica del Júcar, tiene una resolución de 20 m, suficiente a escala de cuenca, pero con escasa precisión para analizar la zona inundada. Se ha utilizado para analizar la configuración general del llano de inundación y para obtener cortes topográficos detallados con el fin de confirmar la existencia de diversos abanicos aluviales.

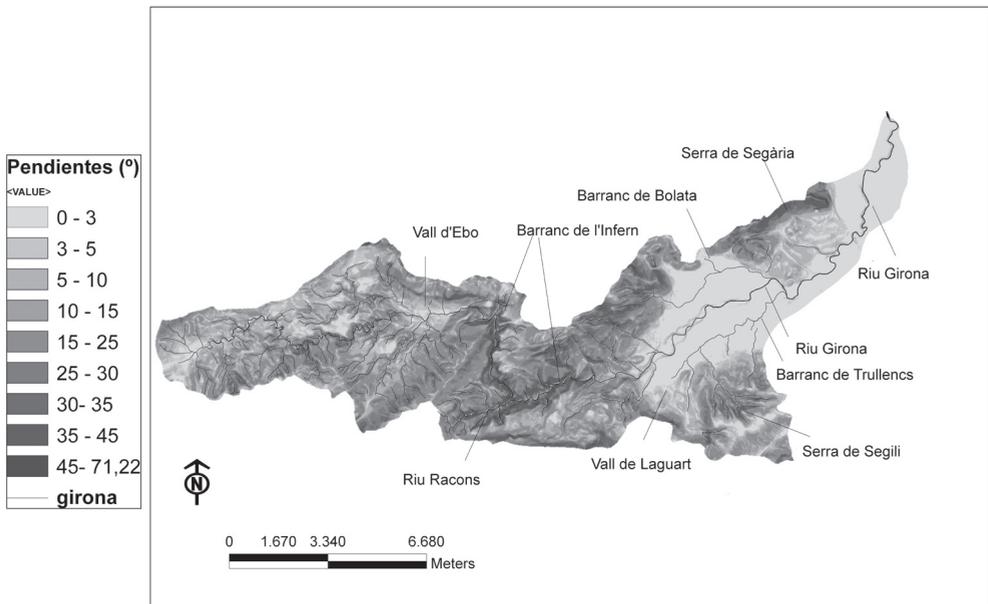
La cartografía del área inundada se ha realizado recorriendo la zona con un GPS. Con los datos se ha generado un fichero .dxf, introducido como una capa en el SIG. A partir de toda esta información se ha elaborado un mapa hidrogeomorfológico que ha servido para interpretar la inundación.

III. ÁREA DE ESTUDIO: LA CUENCA DEL RIU GIRONA

La cuenca de drenaje se configura sobre los contrafuertes del prebético externo, espacio de transición entre las últimas estribaciones ibéricas y el prebético interno. Las sierras, de naturaleza calcárea, se organizan como un sistema de dorsales de dirección SW-NE, separadas entre sí por un conjunto de corredores, rellenos de materiales miocenos, de facies margosas (Vegas *et al.*, 1975). A lo largo de 32 km y con una cuenca de 117'7 km², el Riu Girona, Riu Bolata o Barranc de El Verger, atraviesa estas estructuras de oeste a este. El río nace en el Barranc de la Fontblanca, cerca de Alcalà de la Jovada, a 1300 m.s.n.m. y atraviesa La Vall d'Ebo, depresión tectónica rellena de materiales miocenos. En la cuenca alta, el Riu Girona sigue un trazado marcado por la estructura isoclinal de los macizos cretácicos, a lo largo de las zonas de resistencia mínima, que son un frente de cabalgamiento o falla inversa de orientación SW-NE y la cuenca tectónica de Ebo (Costa, 1977).

Las aguas de numerosos manantiales alimentan el río, caudal que desaparece en la garganta del Barranc de l'Infern —término de La Vall de Laguart—, un profundo cañón cárstico que se ha labrado aprovechando la intensa fracturación de las sierras calcáreas. Dos factores coadyuvan al proceso de erosión fluvial: por una parte, la línea de escorrentía coincide con el buzamiento de las capas; de otro lado, existe una relación estrecha entre el congosto y un sistema de fallas secundarias de dirección NW-SE, que cuarteán el macizo calizo (Costa, 1977). El recipiente del cañón se utilizó en 1945, para construir el Embalse d'Isbert (1 hm³), actualmente colmatado y en desuso. Después de atravesar la Serra de la Carrasca, a mitad del cañón, recibe las aguas del Riu Racons, describiendo un ángulo de 90°, lo que sugiere una captura (fig. 2).

Figura 2
MAPA DE PENDIENTES Y PRINCIPALES ACCIDENTES DE LA CUENCA DEL RIU GIRONA



Las sierras de Segili y de Segària enmarcan la cuenca media del Girona que circula por un valle estrecho, ensanchado a partir de Orba. Las pronunciadas pendientes de la cuenca alta se reducen considerablemente en el sector intermedio, donde el Riu Girona tiene un trazado vacilante, con numerosos paleocauces y meandros abandonados, que demuestran la gran movilidad del río. A la altura de Sanet i Negrals, por su margen derecha, recibe las aguas del Barranc de Trullencs o de la Murta, y del Barranc de Bolata, por la izquierda (fig. 2). Desemboca en el Mediterráneo cerca de Els Poblets (Setla, Mirarosa i Mirafior), en la punta de L'Almadrava.

Cerca de la costa, la Serra de Segària, se eleva como una potente mole, en la que afloran las calizas senonenses, mezcladas con otras litologías. Numerosos barrancos descienden de esta sierra, para perderse de forma brusca al pie de los relieves (fig. 2). El Barranc de Segària, confluye con el Girona en Beniarbeig, localidad por la que discurre soterrado por unas obras recientes. Al término municipal de El Verger llega el Barranc de les Portelles, que se desvanece al llegar al llano. En la misma llanura litoral, nace el Barranc de l'Alberca, que discurre paralelo al Girona entre Ondara y el mar y que a su vez recibe las aguas del Barranc del Pont de Fusta y de algún otro de menor entidad (fig. 5).

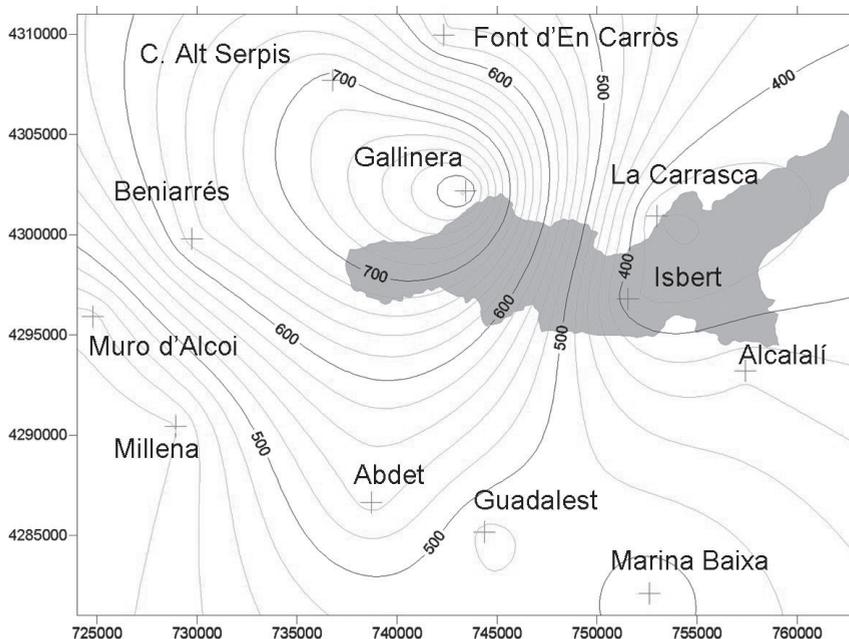
IV. LA CRECIDA DEL RIU GIRONA EN OCTUBRE DE 2007

Al igual que sucede con la mayoría de las ramblas y barrancos mediterráneos, el Riu Girona ha provocado numerosas inundaciones. Aunque no existen datos de aforo para la cuenca, Costa (1977) refiere la existencia de 9 avenidas entre 1896-99, anotadas por el personal técnico de Obras Públicas. El 30 de septiembre de 1919, las fuertes precipitaciones causaron el desbordamiento del río en Beniarbeig, donde socavaron los cimientos de algunas casas, al alcanzar 5 m de altura. En la misma avenida también sufrieron daños las localidades del El Verger y Els Poblets. Otros episodios importantes se produjeron también en noviembre de 1941 y 1985, con riesgo de caída de la presa de Isbert, en el último evento.

La necesidad de atajar el problema hizo que en 1921 se proyectaron unas obras de defensa para Beniarbeig, que no serían ejecutadas. Cuando en 1940 se reemprendió el proyecto las avenidas habían modificado el cauce: los perfiles transversales diferían de los consignados veinte años atrás. Fue entonces cuando se construyó en esta localidad un dique longitudinal a base de un encofrado de gaviones, destruido en 1947, por lo que en un plan posterior se ideó construir una escollera y un muro de hormigón. En Mirafior, a raíz de la inundación del pueblo en la riada de noviembre de 1941, se proyectó un muro de hormigón en masa que se comenzó en 1945, si bien, por las dificultades del suministro de cemento, éste sólo se aplicó en los cimientos y en el resto se sustituyó por mampostería hidráulica. Este material dio buen resultado, de modo que, a continuación, se aplicó al Barranc de l'Alberca y se incluyó en un proyecto de 1949 para la defensa de El Verger (un muro de mampostería hidráulica de 700 m de largo) (Costa, 1977).

El 12 de octubre de 2007, el fenómeno se repitió y, como consecuencia de una baja fría, cayeron fuertes precipitaciones sobre la cuenca. Los municipios afectados fueron los mismos que en los casos anteriores: Beniarbeig, El Verger y Els Poblets y sus términos municipales fueron invadidos por las aguas desbordadas. Cayó un puente en Beniarbeig y en El Verger murió una anciana y cayó una casa, llegando las aguas a los 3 m en algunas viviendas.

Figura 3
 PRECIPITACIÓN MEDIA (MM) EN LA CUENCA DEL GIRONA. DATOS SAIH, ELABORACIÓN PROPIA. LAS CRUCES
 INDICAN LA POSICIÓN DE LOS OBSERVATORIOS



Entre el 11 y el 12 de octubre sobre la cuenca alta del Girona cayeron entre 400 y 800 mm (cuadro 1, figura 3), la mayoría concentrados entre las 6 y las 18 horas del día 12. Las lluvias aumentaron progresivamente desde la costa hacia el interior. Las más abundantes (700-800 mm) descargaron sobre las sierras y valles altos (Gallinera, Alt Serpis, Beniarrés), mientras que en la cuenca baja (La Carrasca, Alcalalí e Isbert) las lluvias alcanzaron entre 300-400 mm. En los observatorios más meridionales la lluvia acumulada se mantuvo entre 400 y 500 mm. *Grosso modo*, estimando una precipitación media de 524 mm, sobre la cuenca cayeron unos 62 hm³, cantidad bastante difícil de vehicular por un río de dimensiones tan pequeñas (fig. 2).

Cuadro 1
 PRECIPITACIONES EN LA COMARCA DE LA MARINA DURANTE EL TEMPORAL DEL 11 Y 12 DE OCTUBRE DE 2007

OBSERVATORIO	PP mm	OBSERVATORIO	PP mm
GALLINERA	826,00	GUADALEST	475,20
C. ALTS SERPIS	708,26	ALCALALÍ	437,2
BENIARRRES	629,60	MURO DE ALCOI	433,20
FONT D'EN CARRÒS	563,20	MILLENA	418,80
ABDET	546,79	ISBERT	384,2
MARINA BAIXA	513,20	LA CARRASCA	359,6

Por otra parte, las intensidades fueron muy importantes en los observatorios de Isbert, Alt Serpis, Gallinera, Font d'En Carròs y Alcalalí donde se superaron los 150 mm/h. Hacia la costa y hacia el sur, la intensidad disminuyó progresivamente, (fig. 4), comportamiento bastante anómalo en situaciones de baja fría, ya que es más frecuente que las mayores intensidades se registren en las llanuras costeras, sobre todo cuando la inestabilidad del aire es muy elevada (Camarasa, 1995).

Figura 4
HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIÓN (INTENSIDAD EN MM/H) EN LA MARINA (11 Y 12 DE OCTUBRE DE 2007)

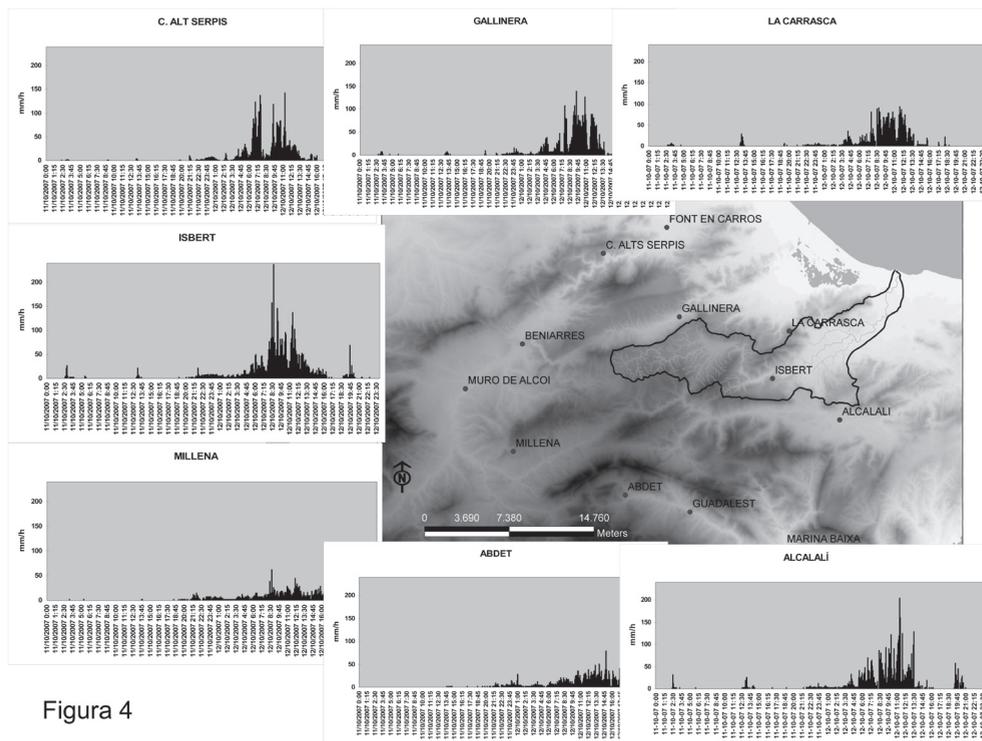
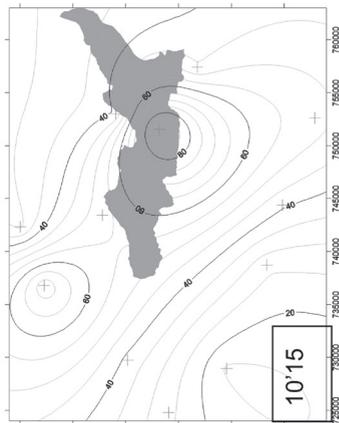
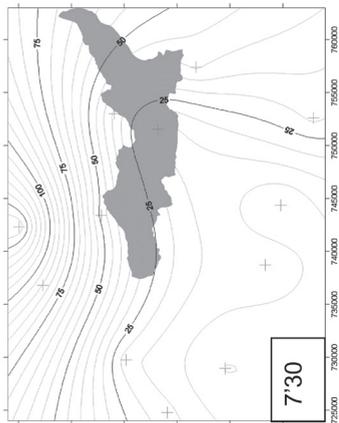
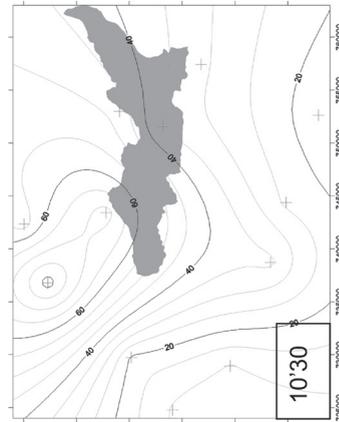
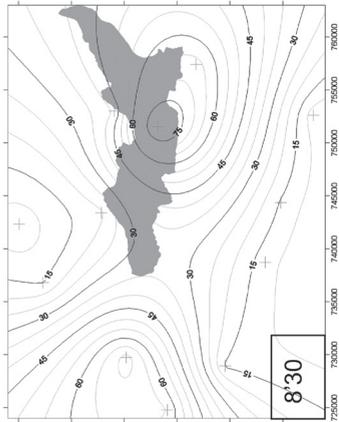
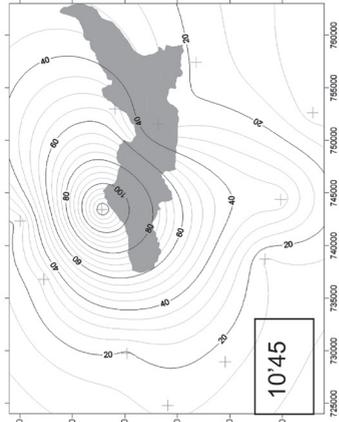
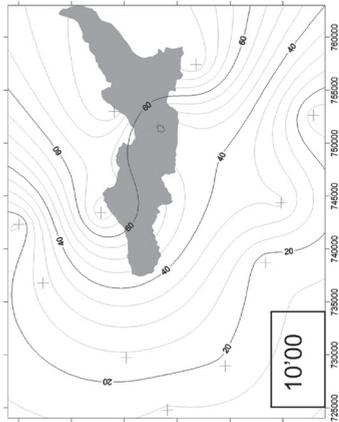
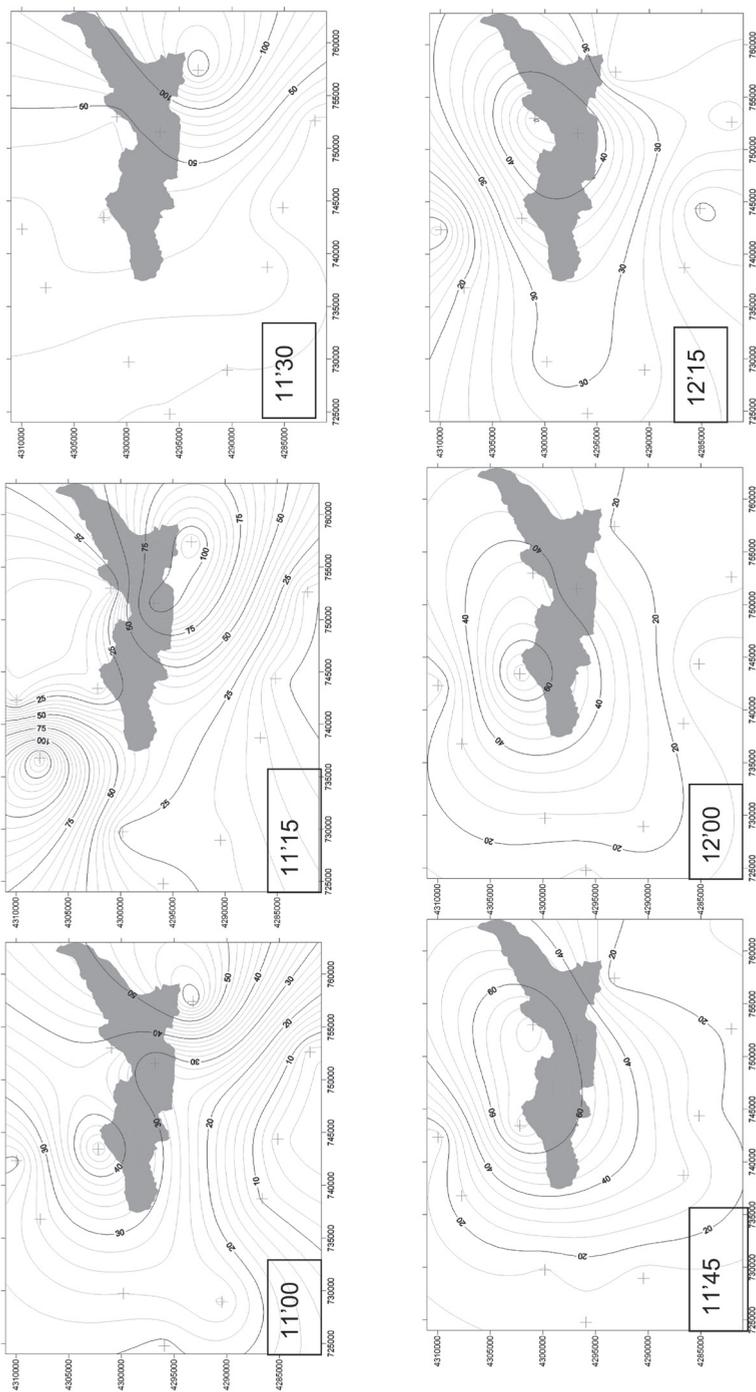


Figura 4

Fuente: SAIH. Elaboración propia.

La secuencia temporal de la tormenta indica que las mayores intensidades se registraron entre las 10 y las 12 de la mañana (fig. 5), especialmente en la cuenca media y alta. A las 7'30 los valores máximos se registraban en las sierras del interior y las lluvias sólo afectaban ligeramente a la parte occidental. A las 8'30 se dibuja una célula muy intensa centrada sobre la cuenca (80 mm/h sobre Isbert), bordeándola otra de menor intensidad. A las 10 h varios núcleos descargan sobre la cuenca baja, aunque los valores no son significativos. Quince minutos más tarde se refuerza la célula sobre Isbert, aunque un cuarto de hora más tarde las máximas se han alejado por la parte septentrional. A las 10'45 llueve con una intensidad de más de 120 mm/h en el observatorio de Gallinera, en el límite septentrional, pero 15 minutos





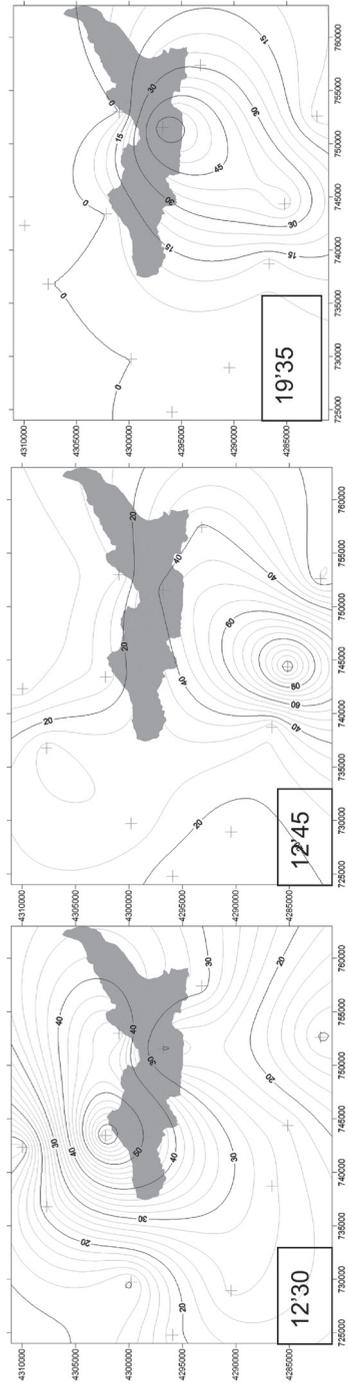


Figura 5
EVOLUCIÓN DE LA TORMENTA EL DÍA 12 DE OCTUBRE (INTENSIDAD EN MM/H)

más tarde la célula se ha debilitado, entrando otra desde la costa, que afecta a la cuenca baja. A las 11'15, esta célula se ha ampliado con otro núcleo y ambas avanzan hacia el centro de la cuenca, al mismo tiempo que se ha reactivado otra en los relieves adyacentes, probablemente por ascenso orográfico. Quince minutos más tarde, una nueva célula penetra por la cuenca baja, alcanzándose intensidades superiores a 120 mm/h; el núcleo se va debilitando y se desplaza hacia el noroeste en la media hora siguiente. En la misma posición, se vuelve a reactivar hacia las 12'15 h y un cuarto de hora más tarde se refuerza de nuevo una célula sobre Gallinera, aunque, la intensidad no supera los 60 mm/h. A partir de este momento llueve de forma intermitente, registrándose ligeras reactivaciones de células de baja intensidad (12'45 h y 19'35 h).

La secuencia de la tormenta, sugiere que células bastante inestables penetran por el SE desde el Mediterráneo, descargando sobre la cuenca baja y cuando llegan a los relieves de la cabecera, forzadas a ascender por la topografía, descargan nuevamente y con mayor intensidad sobre este sector.

Por este motivo, la avenida se generó en la cuenca alta y fue avanzando hacia la llanura litoral, alimentada por los afluentes de cabecera, mientras que los barrancos de la parte baja, especialmente los de la Serra de Segària, apenas registraron caudal.

V. GEOMORFOLOGIA DE LA LLANURA COSTERA

A la salida de las últimas estribaciones béticas, el Riu Girona deposita una secuencia de abanicos aluviales, que integran una amplia acera entre Orba y el mar, en sentido longitudinal y, entre El Verger y Dénia, en sentido latitudinal. A la altura de Orba se forma el primer abanico del Riu Girona, que discurre por el centro de la depresión. Se trata de un abanico del Pleistoceno inferior, con una topografía bien marcada a la altura de Ràfol d'Almúnia. Las depresiones laterales típicas de estas construcciones aluviales (Segura, 2004) están ocupadas por dos barrancos intercuenca, el de Trullencs y el de Bolata. La confluencia de los tres obliga al Girona a girar 90° (fig. 6). El giro se debe a que el río está constreñido por un abanico de pequeñas dimensiones (ubicado cerca de Benidoleig) que ha desviado el Barranc de Trullencs, empujándolo hacia el oeste.

Al pie de la Serra de Segili, cerca de Pedreguer, se forman otros abanicos de menor entidad que no consiguen rellenar la depresión comprendida entre esta localidad y Ondara. El drenaje del sector, realizado por el Barranc de l'Alberca (fig. 6), es dificultoso, tal y como lo atestigua el topónimo Marjals que se repite por toda la zona.

Las pequeñas elevaciones de Els Picatxos y de la Penya Roja, constriñen al Girona, que una vez atravesado el sector, llega a la llanura costera, donde los materiales miocenos de la Serra de Segària reaparecen formando pequeños cerros con dos facies bien diferenciadas: conglomerados en la base y margas por encima. Se extienden entre Els Poblets y Dénia, quedando realzados respecto a los depósitos cuaternarios (Vegas *et al.*, 1975) (fig. 6).

El Riu Girona vuelve a construir un nuevo abanico, asignado por Vegas *et al.* (1975) al Pleistoceno medio. Se extiende entre Beniarbeig y el mar con una geometría bastante atípica: bien desarrollado por el margen derecho, por el lado izquierdo las curvas de nivel de 20 y 10 m, retroceden de forma muy marcada a la altura de esta localidad. El trazado de las isohipsas muestra una depresión rectangular (Clot del Francès), probablemente de origen neotectónico,

que deja en resalte un bloque realzado sobre el que se asienta El Verger. La conjunción de dos bloques uno hundido y otro sobreelevado podría explicar esta geometría. El primero estaría delimitado por una falla que cercena las últimas estribaciones de la Serra de Segària. El bloque elevado, probablemente se asienta sobre un basamento mioceno, similar a los afloramientos de todo el sector, sobre el que se habrían depositado los materiales del cono pleistoceno (fig. 6).

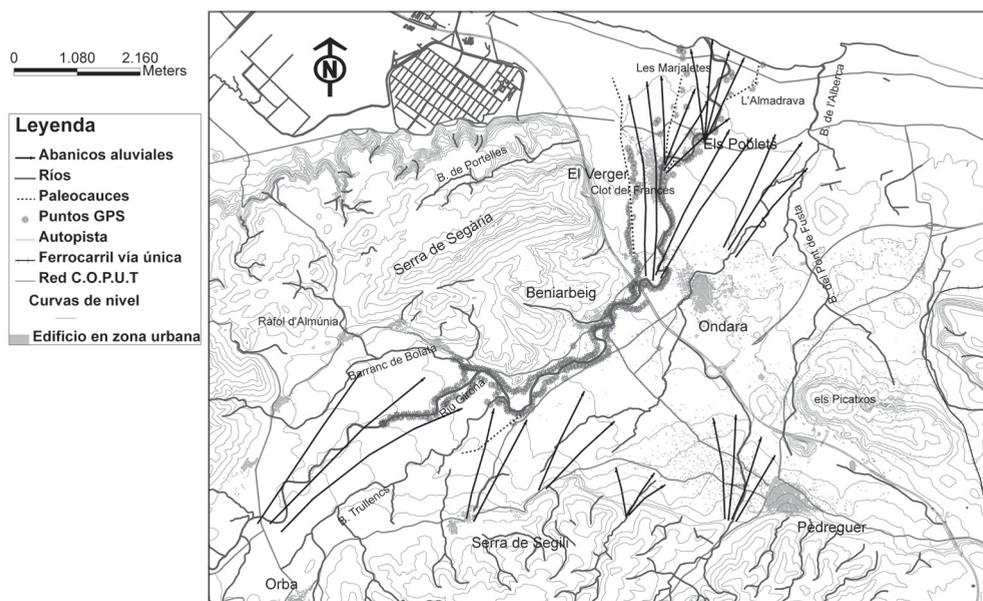


Figura 6
MAPA HIDROGEOMORFOLÓGICO

A la salida de El Verger, superpuesto al anterior, se localiza el ápice de otro abanico del Girona, atribuido por Vegas *et al.* (1975) al Pleistoceno superior. Fue depositado por un paleocauce, apenas representado por una depresión ancha que discurre en línea recta hasta el mar, atravesando la partida que lleva el topónimo bien significativo de Les Marjaletes. Probablemente en el Holoceno, el cauce dio un giro de 90°, desplazándose hacia el sur y formando un abanico cuyo ápice se localiza en Els Poblets y su extremo distal se corresponde con la protuberancia de l'Almadrava, donde desemboca actualmente el río, habiendo dejado algún paleocauce menor más hacia el sur.

VI. LA ZONA INUNDADA: FACTORES CONDICIONANTES

El área inundada es bastante irregular: estrecha en la cuenca media, se va ensanchando a medida que nos acercamos al mar. El río comienza a desbordarse cerca de Ràfol d'Almúnia,

donde el caudal superó la capacidad del cauce. Aguas abajo, el área anegada se ensancha y los desbordamientos se suceden, respondiendo a diversas causas (fig. 7):

- a) Ocupación de barras laterales y *point bars*. Estas formas son ocupadas con gran facilidad durante las avenidas, ya que han sido creadas por la propia dinámica fluvial.
- b) El trazado de las vías de comunicación, que interfiere en los flujos canalizados o desbordados, alterando el espacio inundado.
- c) Canalizaciones. Las obras de corrección de los cauces pueden provocar efectos negativos al desviar la corriente o al interferir en la dinámica de funcionamiento del río.
- d) Depresiones, tanto de origen natural como artificial. Desde el punto de vista dinámico son concavidades donde se concentran los flujos desbordados, con grave riesgo de estancamiento de las aguas.
- e) Ápices de los abanicos aluviales. Suelen corresponder con puntos de ruptura de los márgenes, facilitando el desbordamiento del río por incapacidad del cauce.
- f) Paleocauces. La migración de los cauces deja brazos muertos que quedan como espacios deprimidos donde se concentran las aguas desbordadas. Son uno de los espacios de mayor riesgo de inundación en las llanuras litorales mediterráneas (Segura, 2004 y 2006).
- g) Vegetación. La gran cantidad de vegetación que crece en los cauces, obstruye los puentes y puede provocar desbordamientos ocasionales, al actuar de barrera al flujo.

En la cuenca del Riu Girona estos elementos se combinan y explican la irregularidad del área inundada, con ensanchamientos y estrechamientos sucesivos a lo largo de la llanura inundada. En función de la magnitud y de las causas que han provocado la inundación se distinguen cuatro sectores.

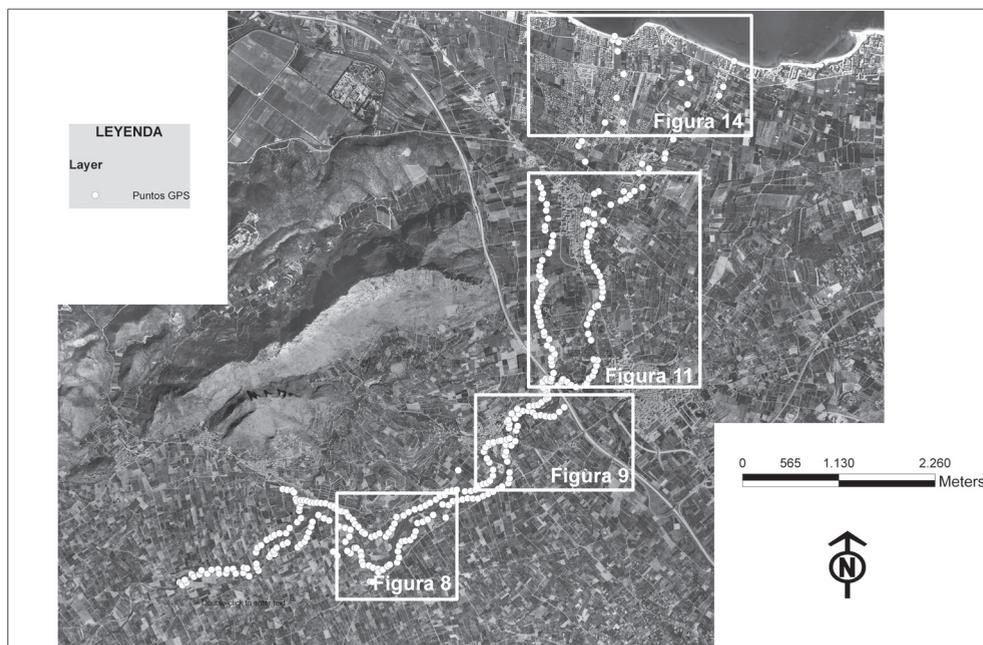
1. Sector comprendido entre Orba i Sanet i Negrals

El río penetran en la llanura bien encajado, lo que impide el desbordamiento, pero después de recibir los aportes de los barrancos de Bolata y de Trullencs, el caudal incrementa de tal modo que las aguas ocupan un antiguo *point bar* y alguna barra lateral.

Son dos espacios que se pueden reconocer perfectamente el año 1956, aunque en 1997, las transformaciones agrícolas has desdibujado los trazos fluviales. Es por tanto, un proceso de recuperación del espacio inundable que había sido cauce hasta hace poco. Este fenómeno es muy frecuente en los ríos *braided*, en los que la propia dinámica fluvial conlleva la migración y la acreción lateral de los cauces y del llano de inundación (Thomas *et al.*, 2007) (fig. 8).

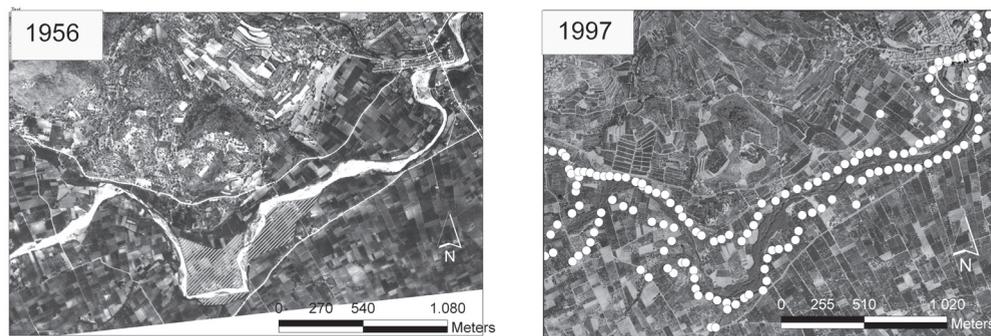
En la imagen de 1997 se puede observar la gran cantidad de vegetación que cubre el cauce que dificulta su visibilidad, a diferencia de lo que ocurría en 1956, donde se aprecia con nitidez el límite del lecho recubierto de cantos y bloques (fig. 8). Este fenómeno se repite en todas las imágenes que se han analizado de los diferentes sectores.

Figura 7
ÁREA INUNDADA CARTOGRAFIADA A PARTIR DE LOS PUNTOS OBTENIDOS CON UN GPS Y LOCALIZACIÓN DE LAS FIGURAS DEL TEXTO



Fuente: ortofotografía del Sig Oleícola, 1997.

Figura 8
EN LA FOTOGRAFÍA AÉREA DE 1956 SE SEÑALAN LAS BARRAS Y LOS POINT BARS, INUNDADOS EN 2007; SOBRE LA ORTOFOTOGRAFÍA DE 1997 SE HA SUPERPUESTO LA ZONA INUNDADA

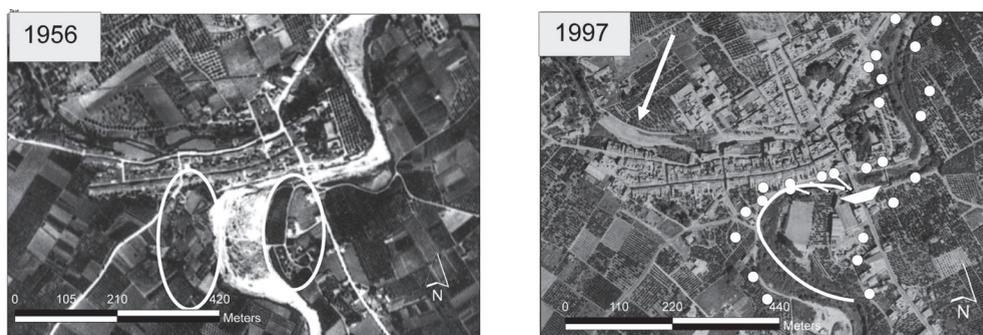


2. Sector entre Sanet i Negrals y Beniarbeig

Más problemática fue la inundación del núcleo urbano de Beniarbeig, ubicado entre dos ríos. En esta localidad, el Riu Girona recibe por su margen izquierdo el Barranc de Segària, cauce que actualmente está siendo soterrado debajo de un paseo, por iniciativa de la administración autonómica, en una actuación desafortunada, anticuada y temeraria. Por suerte para la localidad, la cuenca de este barranco resultó poco afectada por las lluvias, porque en caso contrario, las consecuencias podrían haber sido desastrosas. Por lo que respecta al Riu Girona, produjo importantes destrozos en el pueblo, con la caída de un puente de la carretera a Pedreguer y la destrucción de algunas plantas bajas y diversas infraestructuras.

Figura 9

EN LA FOTOGRAFÍA DE 1956 SE HAN SEÑALADO EL LÓBULO DE MEANDRO O POINT BAR Y LAS BARRAS INUNDADAS EN 2007. EN LA ORTOFOTOGRAFÍA DE 1997 SE HA MARCADO LA LÍNEA DE MÁXIMA VELOCIDAD EN EL MEANDRO Y LA REFLEXIÓN DEL AGUA PROVOCADA POR LA FIJACIÓN DEL MARGEN IZQUIERDO, LO QUE HA PRODUCIDO UNA FUERTE EROSIÓN EN EL MARGEN DERECHO Y LA CAÍDA DEL PUENTE. EN EL MARGEN IZQUIERDO LA FLECHA INDICA EL BARRANC DE SEGÀRIA SOTERRADO



La comparación de las fotografías de 1956 y 1997 muestra como la construcción de casas y de un polideportivo sobre el *point bar* del meandro había reducido y obstruido la sección transversal de forma considerable. El flujo circuló en línea recta, enderezando el meandro, tal y como sucede con un flujo rápido y acelerado, ocupando el campo de fútbol y las pistas de tenis (fig. 9).

La caída del puente requiere una explicación más compleja que combina la dinámica fluvial y la acción antrópica. En un meandro, la línea de máxima velocidad se desplaza hacia la cara externa, alcanzando la orilla aguas abajo del eje del mismo. En este caso, esta margen estaba fijada con hormigón para proteger de la erosión una carretera y las casas próximas. Desde esta orilla, la línea de máxima energía se desplaza hacia la cara externa del meandro siguiente, en este caso el margen derecho, donde descansaba el puente, sin ninguna protección. La imposibilidad de disipar la energía en el primer meandro mediante la erosión, incrementó la energía que llegó al segundo meandro, facilitando la erosión lateral y basal del puente. La consecuencia fue la destrucción de los bajos de las casas, situadas dentro del *point bar*, y una fuerte erosión lateral en la margen derecha del segundo meandro (figs. 9 y 10).

Las imágenes de los vídeos caseros que se encuentran en Internet, muestran como el puente se destruyó en varias fases. En un primer momento fue el segundo pilar más cercano a la margen derecha el que se erosionó aguas arriba, cayendo poco después y dejando los cimientos como un obstáculo para las aguas. La causa de esta erosión, es difícil de establecer, pero podría deberse al deterioro del propio puente por la zapa basal o incluso a los golpes propinados por algunos objetos voluminosos que colisionaron con los pilares, tal y como se ve en algunos vídeos (coches, contenedores, etc.). Después cayó el primer pilar junto a la margen derecha, que no tenía vano, ya que estaba pegado al margen, dejando el tablero del puente sin apoyo. En esta fase, las aguas habían erosionado fuertemente dicha margen, lo que seguramente contribuyó a la caída del pilar. Por último, cayó el tablero, arrastrando parte de la orilla. (fig. 10 b).

Los desbordamientos del río y el hundimiento del puente provocaron una fuerte polémica entre la población, que responsabilizó a las cañas arrastradas, de la obstrucción del puente y el cauce. Las imágenes de la riada muestran como el río arrastró gran cantidad de vegetación, aunque cuando cayó el puente, el vano no estaba taponado. El problema se agudizó en los puentes más frágiles de El Verger y de Els Poblets, donde sin embargo no se produjo ningún derrumbe.

Figura 10

A) CIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL MEANDRO. LAS FLECHAS CON TRAZADO DISCONTINUO MARCAN LA TRAYECTORIA DEL AGUA SOBRE EL POINT BAR Y EL ARRASAMIENTO DEL CAMPO DE DEPORTES. B) EROSIÓN EN EL PUENTE DE BENIARBEIG, VISTO DESDE AGUAS ARRIBA. LAS FLECHAS INDICAN LA TRAYECTORIA DE LAS LÍNEAS DE MÁXIMA VELOCIDAD EN EL MEANDRO. EL DESPLAZAMIENTO DE ESAS LÍNEAS HACIA LA MARGEN DERECHA —NORMAL A LA SALIDA DE UN MEANDRO— PUDO SER EXACERBADO POR LA FIJACIÓN ARTIFICIAL DEL MARGEN IZQUIERDO, LO QUE PROVOCÓ LA EROSIÓN DE LOS BAJOS DE LOS EDIFICIOS SITUADOS EN EL POINT BAR. C) VISTA DEL PUENTE DESDE AGUAS ABAJO. SE PUEDE OBSERVAR LA EROSIÓN DE LAS CASAS Y LA ZAPA DE LOS CIMIENTOS DEL PUENTE EN EL MARGEN DERECHO



Aunque, a nuestro entender, la polémica no estaba bien planteada, sí que es cierto que la comparación de la fotografía aérea de 1956 y la del SIG Oleícola en todas las figuras del presente trabajo, muestra una progresiva colonización del cauce por la vegetación, hasta el punto de que en 1997 apenas se distingue el lecho. Explicar este fenómeno no es fácil y requiere una investigación más profunda. Por un lado, la construcción de la presa d'Isbert podría haber disminuido el número y la magnitud de pequeñas avenidas capaces de destruir la vegetación, como así lo atestiguan numerosos trabajos en otros ámbitos (Petts y Gurnell, 2005; Maguilligan y Nislow, 2005; Butler y Malanson, 2005). También se sumarían los cambios de costumbres de la población, que en otros tiempos utilizaba las cañas para aprovechamientos agrícolas y domésticos, práctica abandonada hoy en día. Tampoco debería olvidarse la existencia de depuradoras en los diferentes municipios que vierten el agua a los ríos alimentando un caudal casi inexistente en el pasado, lo que favorece el crecimiento de la vegetación. En cualquier caso, no hay duda de que la vegetación frenó la velocidad del agua al incrementar la rugosidad del cauce.

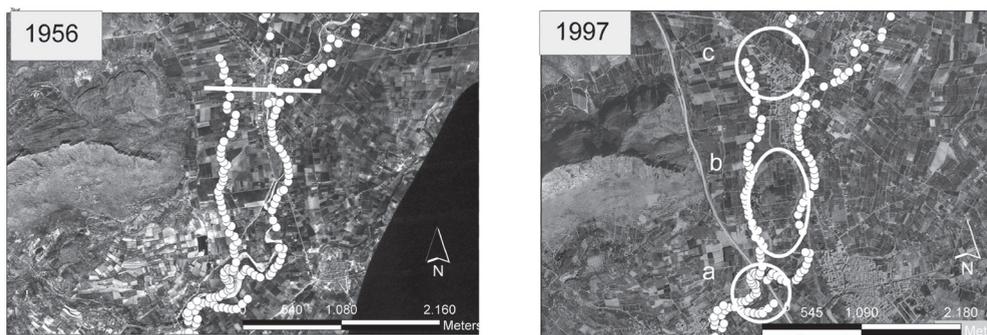
3. Afecciones en El Verger

A la salida de Beniarbeig las aguas invadieron los *point bars* de dos meandros sucesivos, al seguir un trazado rectilíneo propio de un régimen rápido. Las parcelas afectadas ocupan un espacio que debería ser catalogado como dominio público hidráulico. El puente de la autopista, provocó una cierta retención aguas arriba, expandiéndose de nuevo aguas abajo (fig. 11a).

Aguas abajo, el área inundada alcanzó su máxima extensión, coincidiendo por el margen izquierdo con la depresión de El Verger y por el derecho con una derivación del flujo hacia el sur (fig. 11 b y c)

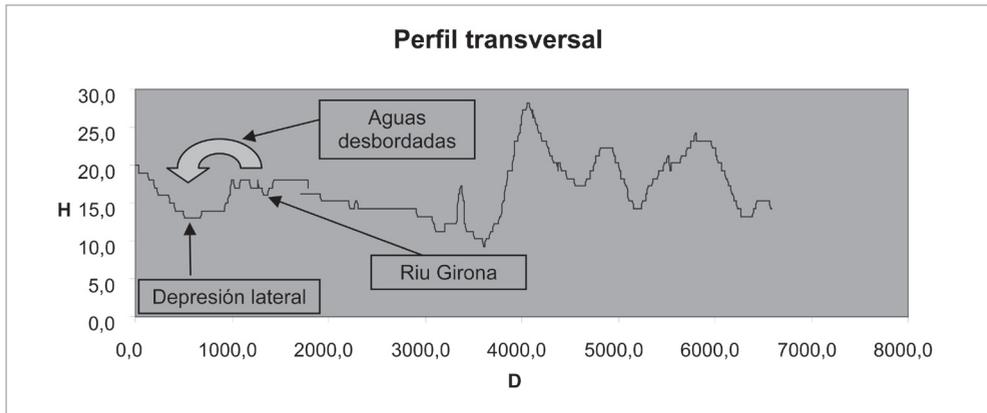
Figura 11

ZONA INUNDADA EN EL VERGER (FOTO DE 1956). EN LA ORTOFOTO DE 1997 SE HA SEÑALADO: A) EN LA BASE DE LA FOTOGRAFÍA EL EFECTO BARRERA DE LA AUTOPISTA, B) UN PALEOCAUCE Y UNA BARRA EN LA DEPRESIÓN DE EL VERGER, C) LA LOCALIZACIÓN DE EL VERGER SOBRE UNA MOTA SOBREELEVADA. EN LA FOTO DE 1956, LA LÍNEA INDICA LA UBICACIÓN DEL PERFIL TRANSVERSAL (FIG. 12); EN LA ORTOFOTO DE 1997, LA FLECHA SEÑALA LA UBICACIÓN DE LA CASA DERRUMBADA, QUE COINCIDE CON LA DESVIACIÓN DEL FLUJO HACIA EL SUR Y MARCA EL ÁPICE DEL ABANICO DEL PLEISTOCENO SUPERIOR.



En la figura 12 se muestra un corte transversal realizado a la altura de El Verger, donde se aprecia la topografía hundida de la depresión de la margen izquierda. En las dos fotografías aéreas se observa una gran barra y un paleocauce que se adaptan perfectamente a la zona inundada. Los datos no permiten aclarar la génesis de este espacio, que a falta de más datos, se considera de origen tectónico (fig. 11 b).

Figura 12
CORTE TRANSVERSAL DEL LLANO DE INUNDACIÓN A LA ALTURA DE EL VERGER



Por otra parte, la localización de El Verger en el margen izquierdo del río, es bien significativa: fue edificado sobre una mota sobreelevada que lo deja a resguardo de las inundaciones, que sólo afectan a las casas próximas al río. El análisis de las fotografías aéreas demuestra que la sección se reduce notablemente en este sector a causa de la existencia de una protuberancia (probablemente una barra) en el margen derecho que dirige las aguas hacia la parte izquierda (Costa, 1977). La canalización actual, realizada en fecha imprecisa entre 1949 y 1956, fosiliza esta forma, contribuyendo al anegamiento del Carrer del Riu, donde las aguas alcanzaron varios metros de altura.

Figura 13
A) CASA DE EL VERGER DERRUMBADA POR LAS AGUAS Y SITUADA EN EL MARGEN DERECHO, B) AGUJERO ABIERTO POR EL AGUA EN EL INTERIOR DE UNA VIVIENDA EN LA MISMA ORILLA



En el margen derecho la virulencia de la inundación provocó la caída de una vivienda (fig. 11 c y fig. 13). En este punto, en las fotografías aéreas se observa una desviación del flujo hacia el sur, coincidiendo con el ápice del abanico aluvial atribuido al Pleistoceno superior.

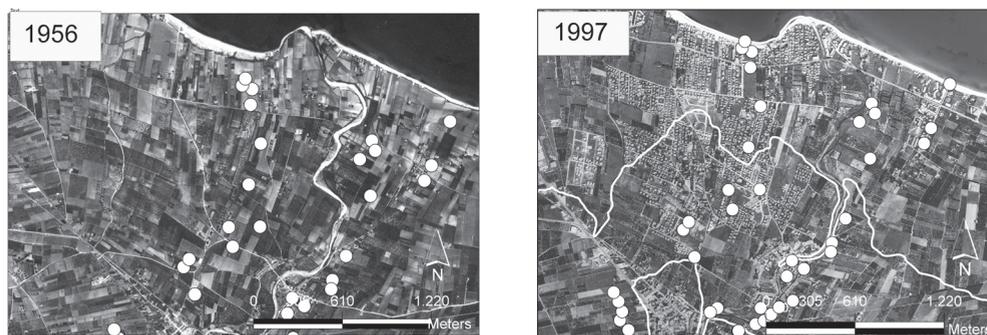
4. Els Poblets

En este sector la zona inundada se ensancha de nuevo, coincidiendo con el abanico pleistoceno superior que arranca en El Verger y sobre el que se asientan Els Poblets y numerosas urbanizaciones. En la fotografía aérea de 1997, la isohipsa de 10 m marca un paleocauce perfectamente definido, responsable de la inundación de las urbanizaciones de Els Poblets, que no estaban construidas en 1956. La ocupación masiva de las zonas de riesgo de inundación es una constante en todo el litoral mediterráneo, especialmente en el valenciano (Segura, 2004, 2006).

El límite septentrional del área inundada coincide con el paleocauce anteriormente mencionado, mientras que por el margen derecho, las aguas desbordadas enderezan los meandros sin extenderse demasiado. Por debajo de la isohipsa de 10 m, la superficie anegada se ensancha de nuevo, coincidiendo con el ápice del abanico holoceno y marcando también un paleocauce al sur de la desembocadura actual (fig. 14).

Figura 14

FOTOGRAFÍA DE 1956, CON LA ZONA INUNDADA. A LA ORTOFOTOGRAFÍA DE 1997 SE LE HAN SUPERPUESTO LAS CURVAS DE NIVEL DE 10 Y 20 M. LA FLECHA SEÑALA UN PEQUEÑO BARRANCO QUE NACE EN LA DEPRESIÓN DE EL VERGER, BIEN MARCADO POR LA CURVA DE 10 M. LA CURVA DE 20 M MARCA LA MOTA SOBRE LA QUE SE ASIENTA EL VERGER Y LOS TRES CONOS QUE FORMA EL RÍO EN ESTE SECTOR: DOS RELICTOS, CON UN PALEOCAUCE Y EL ACTUAL, COINCIDENTE CON LA PUNTA DE L'ALMADRAVA, DONDE DESEMBOCA HOY EN DÍA



VII. CONCLUSIONES

El análisis de la zona inundada ha permitido contrastar el funcionamiento de los procesos de desbordamiento e inundación en la cuenca baja del Riu Girona. La zona inundada, con una geometría muy irregular, está condicionada por las propias formas fluviales y por la acción antrópica. Entre los elementos más importantes que contribuyen a caracterizar el área inundada, podemos destacar los siguientes:

- Los diversos abanicos aluviales pertenecientes al Pleistoceno y al Holoceno, y especialmente, sus ápices, suelen marcar el ensanchamiento del área inundada. La topografía convexa de estas formas hace que las aguas se dispersen sobre una superficie muy amplia.
- Las depresiones, por su morfología cóncava son zonas de convergencia del flujo, que además suele estancarse y permanecer durante bastante tiempo.
- Los paleocauces permiten explicar el ímpetu de la avenida en algunos sectores, al concentrar las aguas desbordadas.
- La urbanización del espacio inundable es una constante en las cuencas medias y bajas de los ríos mediterráneos. La ocupación de *point bars* (Sanet i Negrals, Beniarbeig) y de las orillas del río se han realizado sin tener en cuenta su elevado índice de inundabilidad (El Verger, Els Poblets).
- Obras antrópicas mal planificadas. El efecto barrera producido por la autopista, la fijación de un meandro en Beniarbeig y la canalización de un tramo de río en El Verger son actuaciones poco afortunadas, especialmente las dos últimas, que han dado una excesiva seguridad a la población que se ha acercado demasiado al río.

Por último, hay que señalar que aunque la predicción de los episodios de inundación no es una ciencia exacta, los espacios inundables sí se pueden definir con bastante exactitud. Instrumentos para la ordenación del territorio, como el PATRICOVA (2000), pionero en su momento y muy útil para la planificación regional, han de complementarse con trabajos a escalas más detalladas. Mientras la administración no tenga voluntad de invertir y no se comprometa a una ordenación racional del territorio, aplicando las leyes existentes y otras que están por hacer, continuaremos asistiendo a episodios similares. Y la sociedad seguirá demandando una seguridad imposible de conseguir cuando la ocupación del territorio ha sido tan salvaje y es tan irreversible.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- BUTLER, D.R., MALANSON, G.P. (2005): «The geomorphic influences of beaver dams and failures of beaver dams», *Geomorphology*, 71 (1), pp. 48-60.
- CAMARASA, A. M. (1995): *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc del Carraixet y Rambla de Poyo*. MOPT-Confederación Hidrográfica del Júcar, 252 pp.
- CAMARASA, A.M. y SEGURA, F. (2001): «Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain», *Catena*, nº 45, pp. 229-249.
- COPUT, (2000): *Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA)*. Direcció General d'Urbanisme i Ordenació Territorial. València.
- COSTA MAS, J. (1977): «El marquesat de Dénia. Estudio geográfico». Universitat de València, Valencia, 595 pp.
- LÓPEZ, M. J.; CAMARASA, A. M.; MATEU, J. F. (2007): Cambios en los usos del suelo y producción de escorrentía en ramblas mediterráneas: Carraixet y Poyo (1956-1998), *Boletín de la A.G.E.*, nº 44, pp. 69-94.

- MAGILLIGAN, F.J.; NISLOW, K.H. (2005): «Changes in hydrologic regime by dams», *Geomorphology*, 71 (1), pp. 61-78
- PETTS, G.E.; GURNELL, A.M. (2005): «Dams and geomorphology: Research progress and future directions», *Geomorphology*, 71 (1), pp. 27-47.
- SEGURA, F. (1990): *Las ramblas valencianas*, Valencia, Universitat de València, 229 pp.
- SEGURA BELTRAN, F. (2004): «Els ventalls al·luvials i els processos d'inundació: el cas de les planes costaneres valencianes». *Cuadernos de Geografía*, vol. 73/74, 207-232
- SEGURA BELTRAN, F. S. (2006): «Las inundaciones de la Plana de Castelló». *Cuadernos de Geografía*, vol. 79, pp. 75-100.
- THOMAS, R.; NICHOLAS, A. P. and QUINE, T.A. (2007): «Cellular modelling as a tool for interpreting historic braided river evolution», *Geomorphology*, Volume 90, Issues 3-4, pp. 302-317 .
- VEGAS, R.; PEDRAZA, J; ZAZO, C; GOY, J. L.; CABAÑAS, y URALDE, M. A. (1975): «Mapa Geológico de Gandia. Hoja 796. Memoria y cartografía». Instituto Geológico y Minero, Madrid, 28 pp.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación CGL2006-11242-C03-02, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y por los fondos FEDER. Queremos agradecer también al SAIH de la Confederación Hidrográfica del Júcar, el habernos facilitado los datos de precipitación.

