

El fenómeno de las inundaciones: La riada del Guadalquivir en el pasado invierno 2009-2010

The phenomenon of floods: The flooding of the river Guadalquivir
in the winter of 2009-2010

Juan Saura Martínez. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director Técnico de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. jsaura@chguadalquivir.es

Resumen: Las recientes inundaciones en la cuenca del Guadalquivir, ante las fuertes precipitaciones del invierno 2009-2010, han ocasionado desbordamientos de las cuencas con importantes daños materiales. El papel de los embalses ha sido positivo, a pesar de las críticas que sobre su gestión se ha hecho en algunos medios de opinión pública. Se justifica y analiza esta función de las infraestructuras de regulación, poniéndose de manifiesto la necesaria actuación en la Ordenación del Territorio para evitar la construcción en zonas inundables.

Palabras Clave: Inundaciones; Avenidas; Ordenación del territorio; Embalses

Abstract: The recent floods in the Guadalquivir basin, following heavy rainfall throughout the winter of 2009-2010, led to the bursting of the river banks and serious damage to property. The role of the reservoirs has been positive, in spite of the criticism regarding their management that has been made in certain quarters. This article examines and justifies the function of regulation infrastructure and underlines the need for necessary action in Regional Planning to prevent construction in flood zones.

Keywords: Floods; High water events; Regional spatial planning; Reservoirs

Introducción

Las inundaciones producidas por las avenidas son, a nivel mundial, el riesgo natural más importante, suponiendo el 30% de los desastres naturales en número y en daños económicos, y casi el 20% de las muertes producidas por la naturaleza. (1) Así en el periodo 1975-2001 ocurrieron 100 avenidas significativas por año, causando 11.000 muertes y afectando a 150 millones de personas (por año), con unas pérdidas económicas de 20 mil millones de dólares anuales. La mayor parte de las muertes ocurren en el continente asiático (India 1.500 y China 2.500) pero en USA y Japón (en el entorno de las 100 víctimas anuales), no son de despreciar.

En nuestro país existen más de 2.400 referencias de avenidas ocurridas en los últimos 500 años, lo que supone una media de unas 5 inundaciones de importancia al año (2). En los últimos 50 años ha habido mas de 10 inundaciones catastróficas, que han producido mas de

Introduction

Floods are the most important worldwide natural risk and make up 30% of natural disasters in terms of both number and economic damage, and cause nigh on 20% of all deaths caused by nature (1). Throughout the period from 1975-2001 there were 100 significant floods each year, causing 11,000 deaths and affecting 150 million people (each year), leading to economic losses of some 20,000 million dollars per annum. The majority of these deaths occurred in Asia (India 1,500 and China 2,500) but the figures concerning USA and Japan (of around 100 victims per year) are similarly noteworthy.

In Spain there are over 2,400 references to flooding over the last 500 years, which implies an average of around five serious floods each year (2). There have been more than ten catastrophic floods over the last fifty years which have caused over 1,600 victims, and here particular reference may be made to the flood of

1.600 víctimas, destacando la de septiembre de 1962 en la comarca del Vallés en Cataluña, con cerca de 1.000 muertos, debido fundamentalmente a la ocupación de las llanuras de inundación de los ríos y arroyos sin ningún tipo de acondicionamiento y protección. F. Ayala (3) fija una media de 20 víctimas mortales anuales y 210 Millones de euros/año, como consecuencia de estas catástrofes, indicando que estos daños económicos se cubren en su mayor parte por el Consorcio de Compensación de Seguros (4), los Seguros Agrarios y las declaraciones de Zona Catastrófica.

La cuenca del Guadalquivir no es ajena a esta terrible estadística y desde la Edad Media están datadas numerosas avenidas, que azotaron ciudades tan señaladas como Granada, Córdoba y Sevilla (5, 6), entremezcladas con prolongadas sequías que producían hambrunas y enfermedades entre la población de la época. Sin ir más lejos, tras la fuerte sequía de los años 1992-1995, se presentaron los años 1996-1997 de gran pluviosidad, que generaron desbordamientos en toda la cuenca del Guadalquivir. Precisamente a raíz de estos acontecimientos, que habían acaecido también en otras cuencas españolas, visitó el Guadalquivir una Comisión del Senado, que concluyó, tras la comparecencia de numerosos expertos, en un amplio Informe publicado en el Boletín Oficial del Senado, con fecha 9/12/1998 (7).

Este informe consideraba necesaria, a corto plazo, la elaboración de un Programa Nacional de Zonas Potencialmente Inundables y su Nivel de Riesgo Asociado, que debiera realizarse de forma coordinada con las Comunidades Autónomas, y que debiera aprobarse en la Comisión Nacional de Protección Civil, recomendándose un plazo de entre "tres y cinco años". Otras medidas no estructurales eran la extensión del SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) a todas las grandes cuencas españolas.

El Informe fijaba, como hito que finalizaba las medidas a corto plazo, la disponibilidad de la Cartografía Temática de Riesgo de Inundaciones, a partir de la cual los Parlamentos Autonómicos deberían adoptar las iniciativas legislativas necesarias para la Ordenación del Territorio.

Por otro lado las Administraciones Hidráulicas y las competentes en materia de Ordenación del Territorio, deberían revisar, reordenar y priorizar, coordinadamente con la Comisión Nacional de Protección Civil, sus programas de infraestructuras para prevenir el riesgo de inundaciones en áreas vulnerables. Asimismo las Admi-

September 1962, in the locality of Vallés in Catalonia, which caused close to 1,000 deaths, mainly due to the occupation of the floodplains adjacent to streams and rivers without any type of preparation or protection. F. Ayala (3) considers that an average of 20 deaths per year and losses of 210 million euros/year have resulted from these catastrophes, and indicates that these losses are generally covered by the Spanish Insurance Compensation Consortium (4), Agricultural Insurance and the declaration of Catastrophic Zones.

The Guadalquivir basin has been touched by this terrible statistic and ever since the Middle Ages there have been reports of numerous floods afflicting such renowned cities as Granada, Cordoba and Seville (5,6), interspersed with prolonged droughts that have led to periods of hunger and illness among the population of the day. Without going too far back in time, the severe drought occurring from 1992-1995 was followed by a period of heavy rainfall from 1996-1997 which led to flooding throughout the entire Guadalquivir basin. As a result of these events, which had similarly affected other river basins in Spain, a Senate Committee visited the Guadalquivir and, after receiving the testimony of numerous experts, brought out a wide-ranging report that was published in the Journal of the Senate on 09.12.1998 (7).

This report considered it necessary to prepare, in the short term, a National Programme of Potentially Floodable Areas and its Associated Risk Level, which had to be conducted in a coordinated manner with the Autonomous Communities (Regional Authorities) and approved by the National Civil Protection Commission within a recommended period of between "three and five years". Other measures of a non-structural nature included the extended employment of Automatic Hydrological Information Systems (AHIS) in all large Spanish basins.

The report requires that Thematic Maps of Flood Risks be prepared once measurements have been completed in the short term and that on the basis of these maps the Parliaments of the Autonomous Communities should pass the legislative measures necessary for Regional Spatial Planning.

Furthermore, the Water Authorities and the Regional Planning authorities should review, reorganize and prioritize their infrastructure programmes in coordination with the National Civil Protection Commission in order to prevent the risk of floods in vulnerable areas. The forestry authorities are also required to prepare programmes for



Inundaciones
en Sevilla a
finales de los
años cuarenta/
Flooding in
Seville.



nistraciones competentes en materia forestal deberían elaborar programas de restauración hidrológica-forestal para reducir y retardar el caudal previsible de las potenciales avenidas.

De estas ambiciosas propuestas, que afectaban a tantas Administraciones diferentes, se ha avanzado bastante en el desarrollo de los SAIH, herramienta clave para el conocimiento en tiempo real, de la evolución y previsión de las avenidas. También los Servicios de Protección Civil, nacionales, autonómicos y municipales, han mejorado su organización y coordinación para minorar los daños humanos de estas catástrofes, pero solo tímidamente se ha avanzado en las materias relacionadas con la Ordenación del Territorio y la Cartografía de Zonas Inundables, que se consideraban esenciales para el desarrollo de las medidas a medio y largo plazo.

La modificación de la Ley de Aguas de junio 2004, estableció la obligación de un informe previo de inundabilidad ante cualquier nuevo plan urbanístico, y esto se ha venido aplicando en los últimos 5 años, en la cuenca del Guadalquivir, con cierto rigor y buena coordinación entre la Administración Hidráulica y las CC.AA., competentes en materia urbanística, para poder autorizar futuras actuaciones en zonas potencialmente inundables.

Pero prácticamente no se ha hecho casi nada en relación con la ocupación ancestral de zonas inundables. Así por ejemplo, en las últimas riadas del pasado invierno en el Guadalquivir, una de las Zonas más afectadas han sido las urbanizaciones ilegales existentes en la periferia de la Córdoba capital. Afortunadamente el buen funcionamiento del SAIH y de los Servicios de Protección Civil ha evitado daños irreparables.

Directiva Europea 2007/60/CE

Del Simposio Europeo sobre Avenidas celebrado en febrero de 2007 en Dresde J. Fleitz (8) destaca los siguientes puntos, como conclusiones del mismo:

- Las inundaciones seguirán siendo un serio riesgo para Europa, que se puede reducir pero no eliminar. Incluso en zonas bien protegidas se mantiene el riesgo en caso de avenidas extremas o rotura de obras de defensa.
- Se insta a analizar los posibles efectos del cambio climático para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.

forest-water restoration to reduce and delay the flow of potential floods.

Of all these ambitious proposals, that affect so many different authorities, a fair degree of progress has been made in the development of the Automatic Hydrological Information Systems, this being a key instrument to gain real-time information for flood monitoring and forecasts.. The national, regional and municipal Civil Protection Services have also improved their organization and coordination to reduce the number of casualties caused by these catastrophes. However, very little progress has been made in questions related to Regional/Spatial Planning and the Mapping of Floodable Areas, these being essential aspects for the development of mid and long-term measures.

The modification of the Spanish Water Act in June 2004 made it obligatory to provide a preliminary flood risk assessment report prior to any new urban development, and this has been fairly strictly applied in the Guadalquivir basin over the last five years with correct coordination between the Water Authority and the Autonomous/Regional Authority, responsible for town planning, in order to authorize future development in potentially floodable areas.

However, practically nothing has been done in relation to the long-standing occupation of floodable areas. In this regard, during the recent flash floods that occurred last winter in the Guadalquivir, some of the most affected areas were the unauthorised housing developments located on the outskirts of the city of Cordoba. Fortunately, the correct operation of the AHIS system and the Civil Protection Services ensured that there was no irreparable damage.

European Directive 2007/60/EC

The European Symposium on Flood Risk Management Research, held in Dresden in February 2007, (8) agreed on the following concluding statement:

- *Flooding will remain a serious risk for Europe which can only be reduced, not eliminated. Even in well protected areas flood risks remain, from extreme events or the potential failures of flood defences.*
- *The symposium urges the inclusion of climate change assessment in the assessment and management of flood risks.*

- Se observa una creciente vulnerabilidad como consecuencia de la presión social y económica. Se han identificado medios para reducir esta vulnerabilidad y se debería abordar su aplicación.
- Se requiere la aproximación a la integración del rendimiento, la efectividad y la eficiencia de métodos e instrumentos de la gestión de riesgos, especialmente en el contexto de un escenario cambiante e incierto.

Ante este panorama, no es de extrañar, que se promulgara el 23/10/2007 la Directiva Europea 2007/60/CE que pretende "establecer un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, destinado a reducir las consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, asociadas a las inundaciones en la Comunidad."

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, está trabajando en un Proyecto de Real Decreto, que se encuentra pendiente del dictamen del Consejo de Estado, para la trasposición de la mencionada Directiva 2007/60/CE, que vuelve a incidir en la necesidad de la Cartografía de Zonas Inundables y en la coordinación de la Administración Hidráulica y la Administración competente en materia de Ordenación del Territorio. Esperemos que el paraguas europeo tenga mas éxito que los loables intentos del Senado de España para conseguir estos objetivos, no estructurales, fundamentales para la gestión de estos fenómenos naturales.

Se establecen en este Proyecto de Real Decreto diferentes etapas, que a continuación se señalan:

1. Necesidad de la evaluación preliminar del riesgo de inundación por Demarcaciones Hidrográficas (Art. 5).
2. Elaboración y contenido mínimo de la evaluación preliminar (Art. 6 y 7) que se someterá a Información Pública durante 3 meses, y tras el informe del Comité de Autoridades Competentes de la Demarcación se elevará al Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino, que oída la Comisión Nacional de Protección Civil, procederá a su aprobación, con fecha límite 22/12/2011.
3. Elaboración de los Mapas de Riesgo y/o Peligrosidad de Inundación, que deberán estar disponibles antes del 22/12/2013.
4. Finalmente los Planes de Gestión de Riesgo de Inundación, que serán sometidos al procedimiento de

- Vulnerability is generally increasing as a result of social and economic pressures. Means of reducing vulnerability have been identified and should be pursued.
- Approaches are needed to integrate the performance, effectiveness and efficiency of measures and instruments for risk management, especially under changing and more uncertain futures.

In view of this situation, it comes as no surprise that the European Directive 2007/60/EC issued on 23.10.2007 aims to "establish a framework for the assessment and management of flood risks, aiming at the reduction of the adverse consequences for human health, the environment, cultural heritage and economic activity associated with floods in the Community."

The Spanish Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs is working on a Draft Royal Decree that is pending the report of the State Council for the transposition of the said Directive 2007/60/EC, and which once again insists on the need for the Mapping of Floodable Areas and the coordination between the Water Authority and the competent authorities for Regional/Spatial Planning. We can only hope that the European umbrella will prove more successful than the praiseworthy attempts of the Spanish Senate in achieving these non-structural and essential objectives for the management of flood risks.

The Draft Royal Decree establishes a series of different stages, which are listed below:

1. *Need for preliminary assessments of flood risk in each Hydrographic Area (Art. 5).*
2. *Preparation and minimum content of the preliminary assessment (Arts. 6 and 7) which shall be made accessible to the public for three months and, following the Committee report of the Authorities with jurisdiction of the area, shall then be raised before the Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs who, on hearing the National Civil Protection Commission, shall then proceed to approve the same by no later than 22.12.2011.*
3. *Preparation of Maps of Flood Risk and/or Hazard, which should be available prior to 22.12.2013.*
4. *Flood Risk Management Plans, which shall be submitted to a procedure of strategic*

Jándula
vertiendo/
Jandula spilling.



evaluación ambiental estratégica, (Ley 9/2006), serán aprobados por el Gobierno de la Nación antes del 22/12/2015.

Las inundaciones de diciembre 2009-febrero 2010 en el Guadalquivir

Durante el pasado invierno, las precipitaciones en la cuenca del Guadalquivir han superado ampliamente los valores medios, con registros que han superado en muchos pluviómetros los 900 mm., triplicando el valor de la precipitación media invernal en esos puntos. Como consecuencia de estas precipitaciones se ha producido un aumento espectacular de las reservas embalsadas, que han pasado del 35% a primeros de diciembre al 90% al final del proceso, en Marzo. Al mismo tiempo estas intensas lluvias originaron que en el río Guadalquivir y en algunos de sus afluentes se alcancen caudales que han producido desbordamientos, ocupando zonas aledañas a las poblaciones y obligando a evacuarlas de esas zonas inundables.

Los puntos más críticos fueron los siguientes:

- **Jándula en Presa de Fresneda:** Esta presa, ubicada en Ciudad Real estuvo a punto de ser rebasada por la coronación, dadas las fuertes precipitaciones en esa provincia.
- **Guadalquivir en Mengibar:** Como consecuencia a las crecidas del río Guadalquivir y Guadalbullón, se han producido inundaciones en ambas márgenes de este último, entre Cambil y su desembocadura, que han afectado a urbanizaciones, fincas de labor y casas aisladas.
- **Guadalquivir en Andujar:** Durante la madrugada del día 24 de Febrero se alcanzó la cota máxima

environmental assessment (Law 9/2006), and be passed by Government before 22.12.2015.

The Floods from december 2009 - february 2010 in the Guadalquivir

The rainfall in the Guadalquivir basin last winter greatly exceeded the seasonal averages, with recordings on many rain gauges of over 900 mm, which tripled the average winter rainfall at these points. As a result of all this rainfall there was a spectacular increase in reservoir levels, which rose from 35% at the start of December to 90% in March. This heavy rainfall also led to the swelling of the River Guadalquivir and some of its tributaries which led to the flooding of outer lying areas of towns and required the evacuation of the affected population.

The most critical points were as follows:

- **River Jándula at the Fresneda Dam:** The Fresneda dam, located in Ciudad Real, was almost over topped as result of the heavy rainfall in the province.
- **River Guadalquivir at Mengibar:** The swelling of the Guadalquivir and Guadalbullón rivers led to floods on both sides of Guadalbullón, between Cambil and the mouth of the river, affecting housing estates, farms and isolated houses.
- **River Guadalquivir at Andujar:** The river reached its maximum level (198.81 MASL) in the early morning of 24 February with a discharge of almost 2,000 m³/sec, which had not been reached in this area since February 1963. This event led to flooding in the area of Las Lagunillas, the Puerta de Córdoba Industrial Estate, sports complexes, farmlands and isolated houses, particularly in the municipality of Andujar, and outer lying rural areas (La Ropera, Los Villares, Llanos del Sotillo, etc.).
- **River Guadalquivir at Peñaflo:** Discharges of over 2,700 m³/sec were recorded in this area which led to the flooding of the lower lying areas of municipalities set downstream of the Peñaflo Dam: Lora del Rio, Brenes, Tocina and Alcolea del Rio.
- **River Guadalquivir at Seville:** Maximum water flows of around 3,100 m³/sec were recorded, as a result of the discharge from the upper and middle basin



Melonares desembalsando. A la derecha el embalse del Pintado lleno/Melonares spillway and The Pintado Reservoir when full.



(198,81 m.s.n.m.) con un caudal próximo a los 2.000 m³/seg., que no se alcanzaba en esta zona desde Febrero de 1963. Como consecuencia de estos caudales se produjeron inundaciones en la zona de Las Lagunillas, Polígono Industrial Puerta de Córdoba, instalaciones deportivas, cultivos y casas aisladas, todo ello en el municipio de Andujar, así como en zonas rurales de su término municipal (La Ropera, Los Villares, Llanos del Sotillo, etc.).

- **Guadalquivir en Peñaflo:** En esta Zona se han superado los 2.700 m³/seg., produciéndose inundaciones en las zonas bajas de los municipios ribereños situados aguas debajo de la Presa de Peñaflo: Lora del Río, Brenes, Tocina y Alcolea del Río.
- **Guadalquivir en Sevilla:** El caudal punta registrado estuvo en el entorno de los 3.100 m³/seg., como consecuencia de los caudales procedentes de la cuenca alta y media del Guadalquivir. Se han producido desbordamientos en las zonas inundables del Charco de la Pava y en puntos localizados de San Juan de Aznalfarache.
- **Genil en Écija:** El nivel del río alcanzó un máximo de 6,20 m. de lámina de agua, equivalente a un caudal aproximado de 650 m³/seg. Se han producido inundaciones localizadas en zonas bajas de los municipios de Écija y Palma del Río.

Las obras realizadas por la Dirección General del Agua y la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

of the Guadalquivir. The river overflowed at floodable areas at Charco de la Pava and at certain points in San Juan de Aznalfarache.

- **River Genil at Écija:** The upper river levels reached a maximum of 6.20 m, equivalent to a discharge of approximately 650 m³/sec. Localised floods occurred in lower lying areas of the Écija and Palma del Río municipalities.

The works carried out in recent years on the River Genil at Écija by the Water Department and the Guadalquivir Water Board, have allowed an increase in the admissible flow passing through this area and have prevented the flooding of the town centre, as occurred in 1996 and 1997.

If we compare these events with the flooding in 1996 and 1997, they generally show a strong resemblance, as while there are specific areas which have exceeded the recordings of those earlier years, there are others where the discharges were lower. By way of example we may make the following comparisons:

Place	Discharge 1996-1997 m ³ /seg	Discharge 2010 m ³ /seg
Genil at Écija	1.000	650
Guadalquivir at Córdoba	1.500	2.500
Guadalquivir at Andujar	1.000	2.000
Guadalquivir at Sevilla	3.500-4.000	3.100

El Guadalquivir
en Alcalá del
Río/
The
Guadalquivir at
Alcala del Rio.



vir, en los últimos años, en el río Genil a su paso por Ecija, han permitido aumentar el caudal circulante admisible por dicha zona, evitando se produzcan inundaciones en el casco urbano, como las ocurridas en los años 1996 y 1997.

Si comparamos esta avenida del pasado invierno con las mas recientes de los años 1996 y 1997, podemos decir que en términos globales son muy parecidas, pues si bien puntualmente hay zonas donde se ha superado la situación de avenida alcanzada en aquellos años, en otras sin embargo los caudales han sido inferiores. A título de ejemplo podemos señalar:

Lugar	Caudal 1996-1997 m ³ /seg	CAUDAL 2010 m ³ /seg
Genil en Écija	1.000	650
Guadalquivir en Córdoba	1.500	2.500
Guadalquivir en Andujar	1.000	2.000
Guadalquivir en Sevilla	3.500-4.000	3.100

As may be seen, the peak flows were higher in the Upper Section (Andajur) and the Middle Section (Cordoba), but lower in the Lower Section (Seville), partly due to the lower discharge from the River Genil (Écija) and the presence of the new Melonares reservoir that stopped almost 100% of the peak flows of the River Vlar (1,000 m³/sec), a tributary of the Guadalquivir on its right bank.

The events have been extraordinary but not exceptional, but the fact is that 13 years had passed without serious flood risk and people's memories tend to be short, particularly when there are intervening years of drought and summer temperatures in excess of 40°C in this part of Spain. We may also recall the amusing words of a person held in very high esteem by the farming sector in Andalucía, Manuel Roca de Togores, who is sadly no longer with us, who wrote in a newspaper article at the end of the heavy rains in 96 and 97 that followed the 92-95 drought, that: "Today, is one day nearer to the next drought". As a result of our climate, episodes such as those just passed, which left the reservoirs at almost 90%



Inundaciones de la vega del Guadalquivir en el invierno de 2010/Flooding of the plain of Guadalquivir Winter 2010.

Puede observarse que los caudales punta han sido superiores en el Tramo Alto (Andujar) y Medio (Córdoba), pero mas bajos en el Tramo Bajo (Sevilla), en parte por la menor aportación del Genil (Ecija) y la existencia de un embalse nuevo, Melonares, que ha frenado casi al 100% los caudales punta del río Viar (1.000 m³/seg.) afluente del Guadalquivir por su margen derecha.

El fenómeno ocurrido es extraordinario, pero no excepcional, lo que pasa es que habían transcurrido 13 años sin grandes riadas y la memoria es flaca, sobre todo cuando aparecen los años intermedios de sequía y las temperaturas de verano superan los 40° en esta parte de España. Podemos recordar la frase genial de una persona muy querida en el mundo del riego andaluz, Manuel Roca de Togores, que ya no está entre nosotros, cuando al final de los episodios lluviosos del 96 y 97 que siguió a la sequía del 92-95, escribió en un artículo perio-

capacity and theoretically full, then give way to future droughts and where the water stored will continue to create wealth in the basin (there being guaranteed water supplies and irrigation water for almost four years). While the material damages caused by these floods are indeed important, it is also the case, and as referred to in the introduction to this article, that the 92-95 drought caused losses in Andalucía of over 5 million (9), and therefore and on account that there was no loss of life during the flood, the riches stored in our reservoirs far outweigh the damage caused by these floods in the basin. However we have to respect the feeling of helplessness that those affected by the floods must have felt over this time. The rivers returned to claim what was rightfully theirs and which those occupying the floodplains had not respected.



Inundaciones de la vega del Guadalquivir en el invierno de 2010/
Flooding of the plain of Guadalquivir Winter 2010.

dístico: “Hoy, queda un día menos para la próxima sequía”. Y es que nuestro clima nos hace pasar de episodios como los que acabamos de atravesar, que han dejado los embalses a una media próxima al 90%, técnicamente llenos, a futuras sequías, en las cuales el agua ahora embalsada permitirá seguir creando riqueza en la cuenca (hay casi 4 años asegurados de abastecimiento y riego). Si importante son los daños materiales producidos por las riadas, y a ellos nos hemos referido en la Introducción de este Artículo, la sequía del 92-95 produjo daños en Andalucía que superaron los 5.000 Millones de Euros (9), por lo que, si no hay víctimas humanas, como ha sido el caso, es mucho mas la riqueza almacenada en nuestros embalses que los daños que estas inundaciones han producido en la cuenca, respetando el sentimiento de impotencia que los afectados por los desbordamientos han podido padecer en esos días. Los ríos han sacado a relucir “sus escrituras de propiedad” y han reclamado lo que es suyo,

The role of reservoirs and defence works in flood mitigation

While the non-structural measures to which we have referred to above are essential to mitigate flood damage, we cannot ignore the essential role of structures (reservoirs and channelling works) in the control of floods. Various significant cases, at an international level, have been indicated by L. Berga (1), where the role of these infrastructures have been essential and have managed to reduce flooding by between 25% and 82%. This is particularly the case of the Danjiangkou dam in China set on the River Han, a tributary of the Yangtze, which in 1935 during a flash flood of some 50,000 m³/sec, caused 8,400 deaths and produced material damages of 800 million dollars. The dam, built in 1968, has a 20,900 Hm³ capacity, and 40% of which is allocated to flood control. Over the time it has been



que el hombre, ocupando las zonas inundables, no ha respetado.

El papel de los embalses y obras de defensa en la mitigación del daño

Si bien las medidas no estructurales, a las que nos hemos referido con anterioridad, son esenciales para minorar el daño de las avenidas, no se puede ignorar el papel fundamental que las acciones estructurales (embalses y encauzamientos) desempeñan en la lucha contra las avenidas. Varios casos significativos, a nivel mundial, son señalados por L. Berga (1), en donde el papel de estas infraestructuras ha sido esencial, con reducción de la punta de avenidas entre el 25% y el 82%. Significativo es el caso de la presa de Danjiangkou en China, en el río Han, afluente del Yangtze, que en 1935, con una punta de riada de 50.000 m³/seg. causó 8.400 muertos y pro-

operating, the dam has reduced flood points by some 64%, with a maximum of 96% and a minimum of 15%. The dam has subsequently given total protection downstream in 90% of the cases and protected the city of Wuhan with its nine million inhabitants.

The role of reservoirs in the Guadalquivir basin has been analysed on various occasions (10, 11, 12) and these have shown the efficiency of the same. Figure 1 shows the maximum flows generated in the main river for a 50 year return period flood, from the source of the river to the mouth, without reservoirs and with "empty" reservoirs (at 20% or less of their storage capacity), together with operational freeboards of up to 20% the total reservoir capacity (80% full). The reduction in peak flows may be seen to vary for "empty" reservoirs from 50% in the middle-upper sections to 40% in the lower section. For operational freeboards, such as those that tend to

dujo 800 millones de dólares en pérdidas materiales. La presa, construida en 1968 tiene 20.900 Hm³ de capacidad, de los que el 40% se destina a control de avenidas. Durante sus años de explotación ha reducido las puntas de avenida en un 64%, con un máximo del 96% y un mínimo del 15%. Gracias a ello, en el 90% de los casos ha producido una protección total aguas abajo, protegiendo la ciudad de Wuhan, con 9 millones de habitantes.

El papel de los embalses en la cuenca del Guadalquivir ha sido analizado en varias ocasiones (10, 11, 12), demostrando su eficacia. En la fig. 1 se ve, para la Avenida de periodo de recurrencia 50 años los caudales que se generan en el río principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura, sin embalses y con situación de embalses “vacíos” (20% o menos embalsado), así como con resguardos de explotación en torno al 20% de la capacidad de embalse (80% embalsado). Puede verse que la reducción de los caudales punta oscila, para embalses “vacíos”, desde el 50% en los tramos medio-alto al 40% en el tramo bajo. Para resguardos de explotación, que son los que suelen presentarse al final de un proceso de lluvias muy intensas, la disminución de la punta está en torno a los 1.000 m³/seg, que viene a ser un 20% del caudal natural. Esto último puede apreciarse en la fig. n.º2, correspondiente a un caso real, en Sevilla, en Diciembre de 1996.

En el pasado invierno, el comportamiento se ha movido dentro de estos parámetros, y así, al principio de la riada, en Diciembre, puede verse en la Tabla 1 caudales entrantes en una serie de embalses, que absorbieron totalmente los caudales de riada, con lo que los caudales punta en el Guadalquivir no superaron los 2.000 m³/seg., cuando de forma natural hubieran superado ampliamente los 3.500 m³/seg. (reducción del 40%), y al final de la riada se alcanzaron los 3.000 m³/seg, en lugar de los 4.000 m³/seg., que hubiera sido el valor que se hubiera alcanzado sin el papel protector de los embalses.

Tabla 1/ Table 1		
EMBALSE RESERVOIR	CAUDAL ENTRANTE INLET FLOW m ³ /seg	CAUDAL SALIENTE OUTLET FLOW m ³ /seg
Jándula	1.700	0
Yeguas	1.000	0
Guadalén	870	0
Bembazar	700	0
Guadalmellato	900	180
Rumblar	700	0
Melonares	1.000	200



Fig. 1. Caudal en el tronco del Guadalquivir. Avenida T50 años/ Discharge throughout the River Guadalquivir. Flood T50 years.

appear at the end of a period of very heavy rainfall, the reduction of the peak is around 1,000 m³/sec, which is about 20% the natural flow. This latter factor appears in Fig. No. 2, which corresponds to a real case occurring in Seville in December 1996.

Last winter the river acted within these parameters, and at the beginning of the flood in December, the reservoirs totally absorbed the flood flows (the entry flows into a series of reservoirs can be seen in Table 1) and the peak discharge in the Guadalquivir did not exceed 2,000 m³/sec., when in their natural form they would readily have exceeded 3,500 m³/sec (40% reduction), and at the end of the flood they reached 3,000 m³/sec, instead of the 4,000 m³/sec they would have reached without the protecting role of the reservoirs.

The protective action of dams has been further supplemented by the defence and/or channelling works conducted over recent years. The city of Seville, which has been liable to flooding ever since the city was founded on account that it sits on the bank of a “large river”, has not been at all affected on account of the 100 km or so of dams and 70 km of cuttings and channels built in the last century. Photos 1 and 2, taken at the end of the 1940’s, speak for themselves. More recently the city of Écija, another millenary city, had to be partly evacuated in December 1997 as a result of the discharges of 1,000 m³/sec reached by the River Genil at the time. The flood control works conducted by the Guadalquivir Water Board on the River Genil from 2000-2008, ensured that the city was no longer flooded following the recent heavy rains. It is

A esta labor de protección de las presas, se ha sumado el de las defensas y/o encauzamientos realizados en los pasados años. Así, la ciudad de Sevilla, inundable desde su creación, por asentarse a la orilla del "río grande", no se ha visto afectada lo mas mínimo, gracias a los mas de 100 km. de diques y 70 km. de cortas y encauzamientos ejecutados en el pasado siglo. Las fotos nº1 y nº2, tomadas a final de los años 40 del pasado siglo, hablan por si solas. Más reciente es el caso de Écija, ciudad también milenaria, que en Diciembre de 1997, tuvo que ser evacuada en parte, ante el caudal de 1.000 m³/seg. que circuló por el río Genil en esas fecha. Las actuaciones de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG), en el encauzamiento del río Genil, en los años, 2000-2008, ha permitido que la ciudad no se inunde en las pasadas riadas. Es necesario completar estas actuaciones con el encauzamiento del arroyo Argamasilla, en ejecución por la Junta de Andalucía, y con la presa de San Calixto, proyecto ya redactado por la CHG, situado aguas arriba de Écija, cuya misión es la de completar esta protección hasta un caudal de 2.000 m³/seg., avenida de 500 años para este tramo del río.

Conclusiones

Los embalses y las infraestructuras de defensa han evitado, en algunos casos, o minorado en otros, los daños de la riada en el Guadalquivir, unidos a la gestión del SAIH, que en tiempo real, ha permitido transmitir a los Servicios de Protección Civil la información adecuada para evitar daños humanos. Evitar los daños materiales al 100% es imposible, máxime cuando se han ocupado indebidamente las llanuras de inundación de nuestros ríos, que han reclamado sus escrituras de propiedad.

El futuro debe estar basado en la combinación de las medidas estructurales (presas, encauzamientos), gestionadas por la Administración Hidráulica, con medidas no estructurales como son la gestión del SAIH y la coordinación con los Servicios de Protección Civil. La transposición de la Directiva 2007/60/CE debe mejorar sustancialmente una de las asignaturas pendientes, cual es la actuación decidida de las Administraciones competentes en Ordenación del Territorio, en coordinación con las Administraciones Hidráulicas, para evitar que se sigan ocupando zonas inundables, al tiempo que la disponibilidad de Mapas de Riesgo, y de los Planes de Gestión de Riego exigidos por la Directiva, mejorarán la labor que los Servicios de Protección Civil Estatal, Autonómica y Lo-

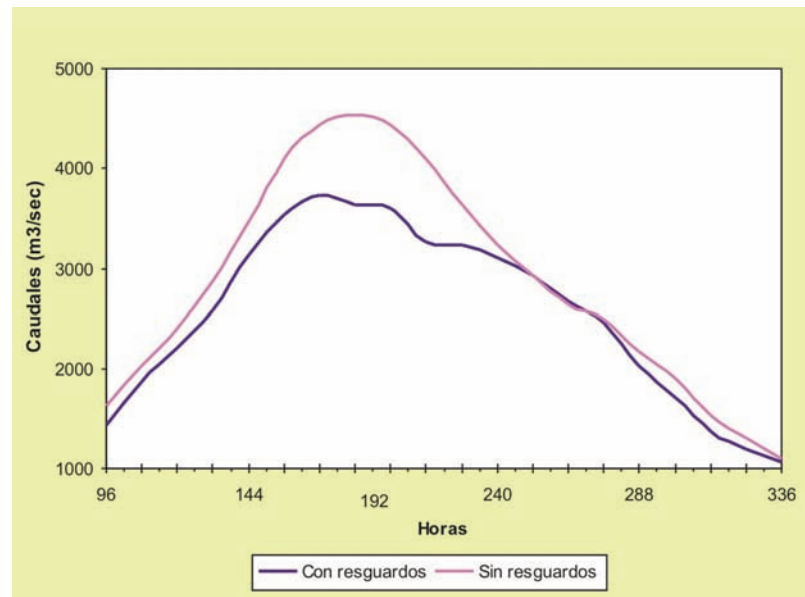


Fig. 2. Hidrogramas.
20-30 Dic. 1996.
Sevilla/Hydrographs.
20-30 Dec. 1996.
Seville.

necessary to complete these works with further flood control works on the Argamasilla stream, this currently being conducted by the Andalucía Regional Council, and by the San Calixto dam, the project for which having been prepared by the Guadalquivir Water Board, and which is due to be set upstream of Écija and provide protection against discharges of up to 2,000 m³/sec, this being the 500 year flood for this section of the river.

Conclusions

Reservoirs and defence infrastructure have prevented, in some cases, and offset, in others, the damage of flooding of the Guadalquivir. This in association with the management of Automatic Hydrological Information Systems which have served to transmit in real time the necessary information to the Civil Protection Services to prevent human damage. The transposition of the Directive 2007/60/EC should go a long way to offsetting one outstanding aspect and, namely, the decisive action of the authorities responsible for Regional Planning, in coordination with the Water Authorities, to prevent the ongoing occupation of floodable areas, while at the same time ensuring the availability of Risk Maps and Risk Management Plans as demanded by the Directive. This shall also serve to improve the work of the State, Regional and Local Civil Protection Services that is already being

Inundaciones a las afueras de Córdoba/
Flooding in the outskirts of Córdoba.



cal ya vienen realizando en nuestro país, con eficacia creciente. No debe olvidarse las actuaciones en zonas de riesgo edificadas ilegalmente, que en ausencia de medidas estructurales para defenderlas que estuvieran debidamente justificadas, deberían desaparecer progresivamente. ♦

rendered in this country, with increasing efficiency. Consideration should also be given to action in risk areas which have been illegally occupied and which, in the absence of duly justifiable structural measures to defend these areas, should gradually be forced to disappear. ♦

Referencias/References:

- (1) BERGA, L. (2006) The rule of dams in flood mitigation. Q 87.R14 Congreso Internacional de Grandes Presas. Barcelona
- (2) BERGA, L. (1993) El Plan Hidrológico Nacional y la Problemática de las Inundaciones de España. Revista de Obras Públicas nº 3327.
- (3) AYALA-CARCEDO F. (2002) El Sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso español y sus alternativas. Boletín de la A.G.E. nº 33.
- (4) El Consorcio de Compensación de Seguros y la cobertura de los riesgos catastróficos en Es-

- paña. Consorcio de Compensación de Seguros. Octubre 1997.
- (5) COLLANTES de TERAN A. Las crecidas del Guadalquivir en la Edad Media. CHG Documento interno 1974.
- (6) BORJA PALOMO F. (1877) Memoria histórica crítica sobre las riadas o grandes avenidas del Guadalquivir en Sevilla. Universidad de Sevilla.
- (7) BOLETIN OFICIAL DEL SENADO (1998) Informe de la Comisión Especial sobre la Prevención y Asistencia en Situaciones de Catástrofe 650/00002.
- (8) FLEITZ, J. (2008). Auscultación y prevención de inundaciones. Revista de Obras Públicas. Nº 3.493.

- (9) SAURA, J. (1997). Impacto de la sequía en Andalucía: Cuenca del Guadalquivir. CRÓNICA DE UNA SEQUÍA 1992-1995 - EMASESA.
- (10) SAURA, J. (1974). Cálculo de resguardos en un sistema de embalses para laminación de avenidas. Revista de Obras Públicas. Nº 3.111.
- (11) SAURA, J. - ARGÜELLES, A. (1997). Influence of Management of Freeboards of Reservoir during recent floods (December 1996) in the Guadalquivir Basin (SPAIN). XIX Congreso Internacional de Grandes Presas. Florencia.
- (12) SAURA, J. (1998). Floods Control in Dams of the Guadalquivir River Basin. International Symposium of Trends on Safety Dams. Barcelona.