

# La riada de Valencia de 1957: reconstrucción hidrológica y sedimentológica y análisis comparativo con la situación actual

Cristina Puertes Castellano, Félix Francés García

*Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA)*

*Universitat Politècnica de València*

## 1. Introducción

Hace ya más de medio siglo desde que el río Turia se desbordara en dos ocasiones a su paso por la ciudad de Valencia causando 81 víctimas, provocando miles de damnificados y cuantiosos daños materiales. Esta avenida, asociada a un proceso convectivo de mesoescala (denominado habitualmente como “gota fría”) con precipitaciones que superaron en la mayoría de la cuenca media y baja los 100 mm en 24 horas, llegando a registrarse el máximo en Domeño con 300 mm, provocó dos ondas de crecida, de 2700 m<sup>3</sup>/s y 3700 m<sup>3</sup>/s, que al desbordarse a su paso por la ciudad de Valencia, la dejaron totalmente cubierta de barro, sin agua potable, sin luz, sin vías de comunicación y aislada.

A pesar de los estudios que se han realizado, se puede decir, que aún a día de hoy, esta avenida extraordinaria continúa siendo una desconocida desde el punto de vista hidrológico. Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo ha sido intentar esclarecer lo sucedido, tanto desde el punto de vista de los caudales líquidos como sólidos. Adicionalmente, se ha tratado de responder a la pregunta de si las consecuencias en la actualidad de un evento similar serían las mismas, teniendo en cuenta, por un lado, el incremento del área urbana en la parte baja de la cuenca del Turia y por otra parte, la finalización de la construcción del embalse de Loriguilla y del Nuevo Cauce del Turia.

## 2. Área de estudio

La cuenca del Turia tiene una superficie de 6348 km<sup>2</sup>. Fisiográficamente se describe como una zona interior montañosa y una zona litoral costera. Presenta un clima semiárido con una precipitación media de 402 mm/año y una evapotranspiración potencial de 91 mm/mes.

Debido a que durante los días 13 y 14 de octubre de 1957, aguas arriba de Benagéber no se produjeron precipitaciones importantes, el área de estudio se ha reducido a la cuenca aguas abajo del mismo. Por lo tanto, la superficie de trabajo se ha reducido a 2048 km<sup>2</sup>, actuando Benagéber como un punto de corte y eliminando la influencia desde aguas arriba.

### **3. Implementación del modelo hidrológico**

En el presente trabajo se ha implementado el modelo hidrológico y del ciclo de sedimentos TETIS (Francés et al., 2014) en la cuenca aguas abajo del embalse de Benagéber. Se trata de un modelo conceptual, con parámetros de base física y distribuido, permitiendo así considerar la heterogeneidad de inputs, parámetros y variables de estado. El sub-modelo hidrológico está basado en una estructura de tanques en cada celda, interconectados vertical y horizontalmente. Además, cabe destacar que presenta una estructura separada de sus parámetros efectivos, de forma que el valor efectivo de un parámetro en una celda es el resultado del producto entre el valor del mapa correspondiente y un factor corrector, que es común para todas las celdas y diferente para cada parámetro, reduciendo el número de variables a calibrar a 9. El sub-modelo del ciclo de sedimentos se basa en el balance entre la disponibilidad de sedimentos y la capacidad de transporte del flujo.

El sub-modelo hidrológico se ha implementado en el estado actual de la cuenca con datos del periodo temporal 1990-2013. Para su empleo posterior en la reconstrucción de la riada, se ha realizado la hipótesis de estacionaridad de los parámetros obtenidos.

Se ha implementado tanto a escala horaria como a escala diaria. La escala horaria se ha implementado para la simulación de los días 13 y 14 de octubre de 1957, ya que al tratarse de un modelo de eventos, escalas superiores pueden no reproducir adecuadamente el caudal pico o la forma del hidrograma de salida. Por otra parte, la implementación a escala diaria ha sido necesaria para poder calcular las condiciones iniciales a dichos días.

#### **3.1. Implementación del modelo hidrológico a escala horaria**

Al ser TETIS un modelo distribuido, la información topográfica, de tipos de suelo, tipos de vegetación y usos del suelo, se debe suministrar en forma de mapas de celdas, que en este caso han sido de tamaño 100 x 100 m. Además, es necesario proporcionar al modelo la distribución espacial de los datos meteorológicos de precipitación y de evapotranspiración. Para la precipitación, se ha empleado un total de 39 pluviómetros, que han sido proporcionados por el Sistema Automático de Información Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar (SAIH, CHJ). Para el cálculo de la evapotranspiración, se han empleado 30 estaciones de temperatura, obtenidas de la base de datos "Spain02" (Herrera et al., 2010). Por último, ha sido necesaria la información (nivel, volumen y caudal de salida) sobre los tres embalses situados en la subcuenca de estudio: Benagéber, Loriguilla y Buseo (SAIH, CHJ); así como la serie de caudales del aforo situado en Manises, "La Presa".

La calibración del modelo se ha realizado con el evento de los días 22 a 27 de octubre de 2000 y el de los días 21 y 22 de septiembre de 2007, aunque se ha dado mayor peso al primero por ser de mayor magnitud. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios. La validación se ha realizado en otros 9 eventos, para los que se ha obtenido un índice de Nash y Sutcliffe comprendido entre 0.6 y 0.81.

### 3.2. Implementación del modelo hidrológico a escala diaria

En este caso, la información topográfica, de tipos de suelo, tipos de vegetación y usos del suelo ha sido la misma que la empleada a escala horaria, ya que se trata del mismo periodo de tiempo y ésta no depende de la escala temporal. Se han empleado los mismos datos de evapotranspiración y en el caso de la precipitación, se ha empleado la base de datos "Spain02". Se han elegido estos datos y no los del SAIH, porque este modelo va a ser empleado para el cálculo de las condiciones iniciales al día 13 de octubre de 1957 con dicha base de datos, y por lo tanto tiene sentido que se calibre con ella. La información sobre embalses y los caudales del aforo de Manises ha sido la misma agregada a escala diaria.

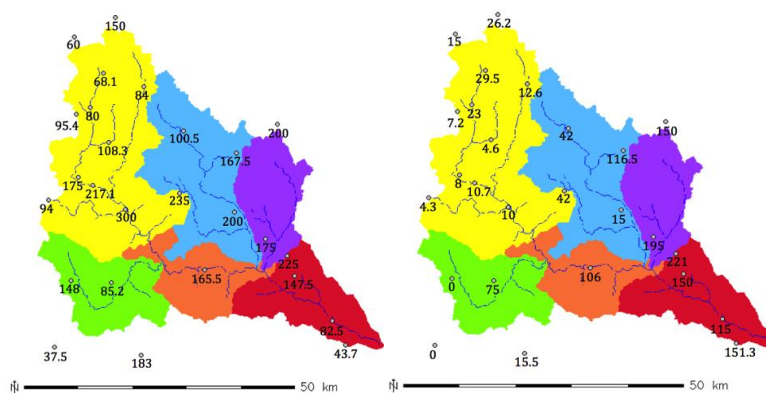
El modelo se ha calibrado desde el año 2000 hasta el 2002, obteniendo buenos resultados, y se ha validado desde 2003 hasta 2007, obteniendo un índice de Nash y Sutcliffe de 0.64.

## 4. Información disponible sobre la riada de Valencia de 1957

Una vez calibrados los modelos a escala horaria y diaria, ha sido necesario reunir toda la información sobre la riada de 1957, de forma que permitiese reconstruir a escala horaria la precipitación de los días 13 y 14 de octubre de 1957, calibrar el sub-modelo sedimentológico y tener puntos de validación de los caudales simulados.

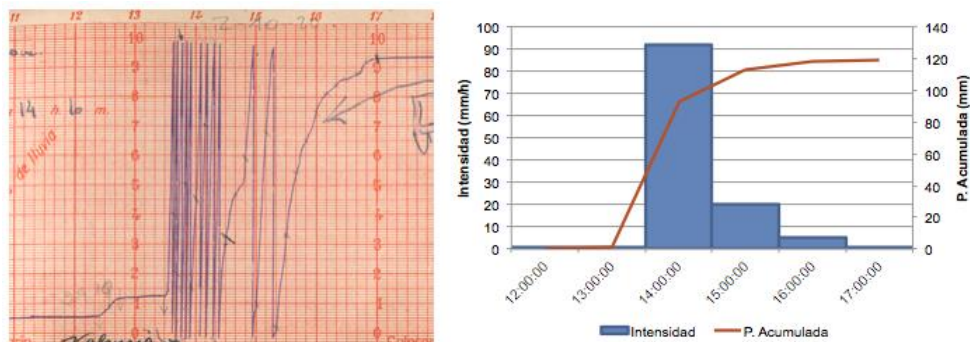
### 4.1. Precipitación

Puesto que la base "Spain02" cubre a escala diaria el periodo 1950-2008, en un principio se consideró emplear estas precipitaciones para realizar la reconstrucción horaria de la precipitación de los días 13 y 14, pero al comparar los valores de precipitación diaria de estos dos días con el registro realizado por el Servicio Meteorológico Nacional, actual Agencia Estatal de Meteorología, (García y Carrasco, 1958) se pudo comprobar que no era representativa. Como consecuencia las precipitaciones de los días 13 y 14 (Figura 1) que se han empleado han sido las del Servicio Meteorológico Nacional, en cambio, sí se ha empleado "Spain02" para el cálculo de las condiciones iniciales al día 13.



**Figura 1.** Precipitaciones (SMN) de los días 13 (izquierda) y 14 (derecha) de octubre de 1957

Por otra parte, se ha tenido acceso a la banda del pluviógrafo “Los Viveros”, del día 14 (Figura 2, izquierda). Este pluviógrafo, era el único existente en la cuenca de estudio en 1957. A partir de la banda se ha construido el hietograma de la tormenta (Figura 2, derecha).



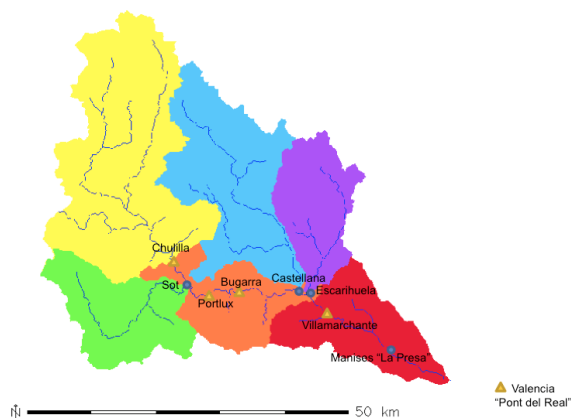
**Figura 2.** Banda del pluviógrafo “Los Viveros” (izquierda) y hietograma de la tormenta (derecha)

Por último, se ha tenido acceso a una información cualitativa adicional (García y Carrasco, 1958; Cánovas, 1958) sobre la precipitación de estos días. Ésta es la siguiente:

- Cuenca comprendida entre Benagéber y Chulilla: las precipitaciones se inician a primera hora del día 13. El régimen tormentoso se produce durante la tarde de dicho día. Durante la mañana del día 14 se producen precipitaciones débiles.
- Cuenca del río Sot: las precipitaciones se inician a primera hora del día 13. El régimen tormentoso se produce a primeras horas de la tarde de dicho día. La mañana del día 14 todavía se producen precipitaciones, pero de menor intensidad.
- Ramblas Castellana y Escarihuela: las precipitaciones se inician a primera hora del día 13. El régimen tormentoso se inicia la tarde del día 13 y estas precipitaciones continúan con bastante intensidad hasta primera hora de la tarde del día 14.
- Cuenca comprendida entre Chulilla y Manises: el régimen tormentoso se desplaza desde Chulilla, tarde del día 13, hasta llegar a Valencia a mediodía del día 14.

## 4.2. Caudales máximos y horas de paso

Dada la magnitud y rapidez de esta avenida, los operarios de las centrales situadas en el cauce principal, se vieron sorprendidos y pudieron indicar el nivel alcanzado por las aguas en dichos puntos de la cuenca. Estos niveles máximos, posteriormente fueron transformados a caudales (Cánovas, 1958) y constituyen en este trabajo puntos de validación. En la Figura 3, vienen marcados por un triángulo aquellos puntos que son de observación. A estos puntos, se han añadido cuatro puntos de control (círculos) que han permitido controlar las aportaciones de la cuenca del río Sot y las cuencas de las ramblas Castellana y Escarihuela.



**Figura 3.** Puntos de observación (triángulos) y puntos de control (círculos)

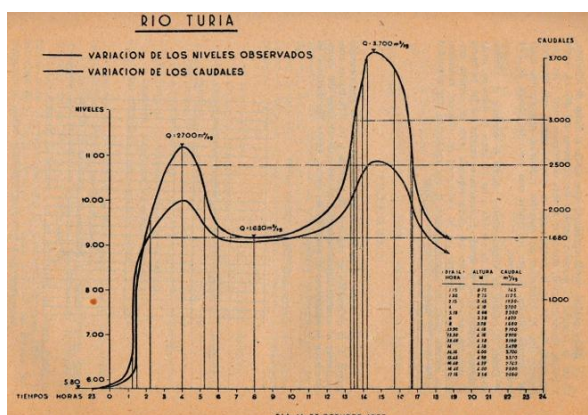
La información disponible en los puntos de observación se muestra en la Tabla 1.

Punto Simulación	1ª Onda		2ª Onda	
Chullilla	1500 m <sup>3</sup> /s	22:00 13/10	-	-
Central Portlux	2100 m <sup>3</sup> /s	22:30 13/10	-	-
Central Bugarra	-	23:15 13/10	-	-
Villamarchante	2600 m <sup>3</sup> /s	01:00 14/10	3500 m <sup>3</sup> /s	12:15 14/10
Pont del Real	2700 m <sup>3</sup> /s	04:00 14/10	3700 m <sup>3</sup> /s	14:30 14/10

**Tabla 1.** Caudales máximos y horas de paso observados. Fuente: Cánovas, M. (1958)

### 4.3. Hidrograma observado en el Pont del Real, Valencia

Además, se dispone del hidrograma observado en Valencia en el Pont del Real (Figura 4) (Cánovas, 1958), que puede trasladarse hasta la estación de aforo en Manises, “La Presa”, sufriendo únicamente desfase horario (Bonache y Marco, 2014). Por lo tanto, constituye la información más valiosa de la que se dispone y ha servido como validación global.



**Figura 4.** Hidrograma observado en el Pont del Real, Valencia. Fuente: Cánovas, M. (1958)

#### 4.4. Embalses

La información disponible sobre los tres embalses presentes en el área de estudio es:

- Benagéber: caudal de salida durante los días 13 y 14 de  $6.06 \text{ m}^3/\text{s}$  (Cánovas, 1958).
- Buseo: al inicio del día 13, se encontraba a mitad de su capacidad. Los desagües de fondo estaban cerrados y presentó vertido por coronación con una lámina de agua de 2 m de altura aproximadamente (García, 2007).
- Loriguilla: se encontraba en proceso de construcción con la ataguía de aguas arriba finalizada, que se trataba de una presa de gravedad de planta recta.

#### 4.5. Sedimentos depositados en la ciudad de Valencia

La información sobre los sedimentos (Tabla 2), no ha sido la idónea, pero ha sido suficiente para realizar una calibración del sub-modelo sedimentológico (Gómez-Guillamón, 1958).

<b>Altura media de los sedimentos</b>	25 cm
<b>Superficie total inundada</b>	$22.12 \text{ km}^2$
<b>Densidad media de los sedimentos recogidos</b>	$1.63 \text{ kg/dm}^3$
<b>Volumen de sedimentos</b>	$5,176,750 \text{ m}^3$

*Tabla 2. Información sobre los sedimentos depositados en Valencia*

### 5. Reconstrucción hidrológica y sedimentológica

Para realizar la reconstrucción de la riada, se ha reconstruido a escala horaria la precipitación de los días 13 y 14. Además, dada la imposibilidad de calibrar el sub-modelo sedimentológico en el estado actual de la cuenca, ha sido necesario calibrarlo con la información de los sedimentos depositados en la ciudad de Valencia. Puesto que no se dispone de datos para poder realizar la validación del sub-modelo de sedimentos ni de la reconstrucción horaria de la precipitación, se ha realizado una validación global mediante la comparación de los caudales y horas de paso en los puntos de observación y la comparación entre el hidrograma observado en Valencia y el hidrograma simulado en Manises, teniendo en cuenta el desfase horario existente entre ambos.

#### 5.1. Reconstrucción horaria de la precipitación

Ésta se ha realizado a partir de: el hietograma del día 14 en el pluviógrafo “Los Viveros”, la información cualitativa adicional sobre la precipitación y la información sobre caudales y horas de paso. De esta forma, se ha conseguido rectificar los pluviómetros en las inmediaciones del embalse de Buseo y los hietogramas horarios en los 27 pluviómetros.

## 5.2. Calibración del sub-modelo sedimentológico

Dado que no se dispone de un hidrograma de caudal sólido, el sub-modelo de sedimentos se ha calibrado con el volumen de sedimentos que circuló durante los días 13 y 14 por la estación de aforo de Manises. Este volumen se ha calculado a partir del volumen de sedimentos depositados en la ciudad de Valencia, la capacidad del Cauce Antiguo, que es de 2300 m<sup>3</sup>/s, el hidrograma observado en Valencia y realizando la hipótesis de que los sedimentos circulaban con una distribución homogénea en el volumen de agua. Una vez calculado el volumen, se ha podido calibrar el sub-modelo a ambas escalas temporales.

## 5.3. Resultados en los puntos de simulación

A continuación se muestran, dirección aguas abajo, los hidrogramas obtenidos en los puntos de control más significativos (Figura 5 a Figura 7; Tabla 3 a Tabla 5)

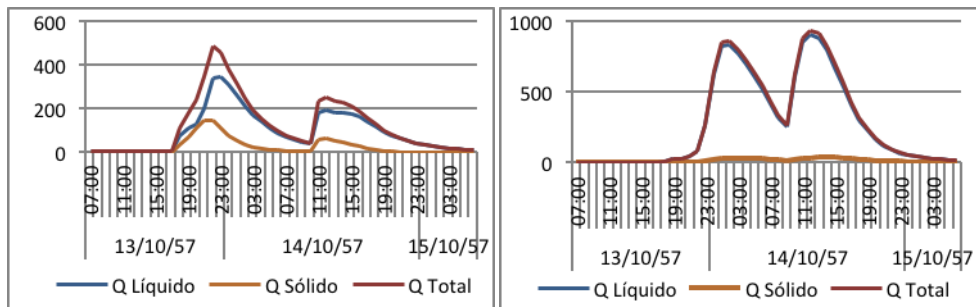


Figura 5. Hidrogramas simulados (m<sup>3</sup>/s) en río Sot (izquierda) y rambla Castellana (derecha)

Sot	Q <sub>máx</sub> obs	1ª Onda		2ª Onda	
		Q <sub>máx</sub> sim	488.4 m <sup>3</sup> /s	22:00 13/10	251 m <sup>3</sup> /s
Castellana	Q <sub>máx</sub> obs	-	-	-	-
	Q <sub>máx</sub> sim	862.3 m <sup>3</sup> /s	02:00 14/10	940.2 m <sup>3</sup> /s	12:00 14/10

Tabla 3. Caudales máximos y horas de paso observados y simulados en río Sot y rambla Castellana

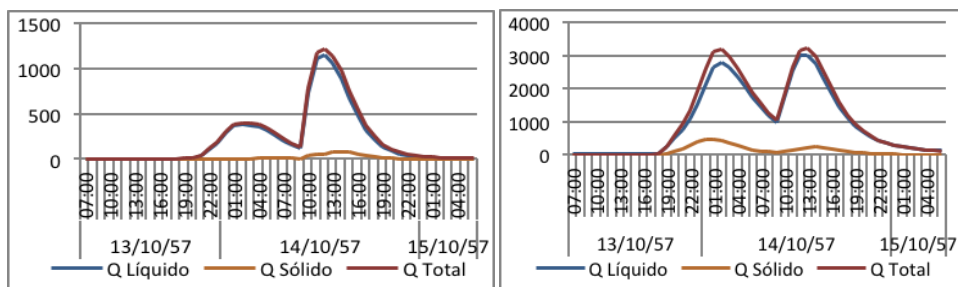
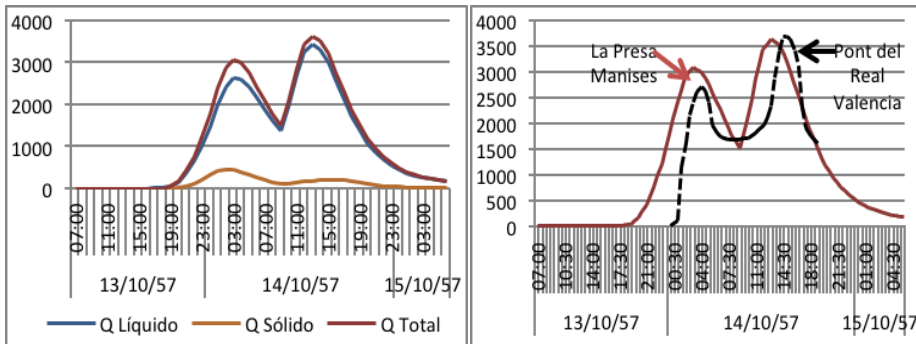


Figura 6. Hidrogramas simulados (m<sup>3</sup>/s) en rambla Escarihuela (izquierda) y Villamarchante (derecha)

		1ª Onda		2ª Onda	
Escarihuela	Q <sub>máx</sub> obs	-	-	-	-
	Q <sub>máx</sub> sim	393.1 m <sup>3</sup> /s	02:00 14/10	1219.7 m <sup>3</sup> /s	12:00 14/10
Villamarchante	Q <sub>máx</sub> obs	2600 m <sup>3</sup> /s	01:00 14/10	3500 m <sup>3</sup> /s	12:15 14/10
	Q <sub>máx</sub> sim	3191.9 m <sup>3</sup> /s	02:00 14/10	3244.5 m <sup>3</sup> /s	13:00 14/10

**Tabla 4.** Caudales máximos y horas de paso observados y simulados en Escarihuela y Villamarchante



**Figura 7.** Hidrograma simulado (m<sup>3</sup>/s) en Manises (izquierda) y comparación entre el hidrograma simulado en Manises y el observado en Valencia (derecha)

	1ª Onda		2ª Onda	
Q <sub>máx</sub> simulado Manises	3080.2 m <sup>3</sup> /s	03:00 14/10	3646.1 m <sup>3</sup> /s	13:00 14/10
Q <sub>máx</sub> observado Valencia	2700 m <sup>3</sup> /s	04:00 14/10	3700 m <sup>3</sup> /s	14:30 14/10

**Tabla 5.** Comparación entre los caudales máximos y horas de paso simulados en Manises y observados en Valencia

Además se ha realizado un balance de masas de sedimentos, éste se muestra en la Tabla 6.

<b>Vol. Sed. Final (m<sup>3</sup>)</b>	80,392,622	<b>Vol. Sed. Inicial (m<sup>3</sup>)</b>	44,186,094
<b>Vol. Salida (m<sup>3</sup>)</b>	20,362,548	<b>Vol. Entrada (m<sup>3</sup>)</b>	0
		<b>Erosión (m<sup>3</sup>)</b>	56,569,070
<b>TOTAL</b>	100,755,169	<b>TOTAL</b>	100,755,165

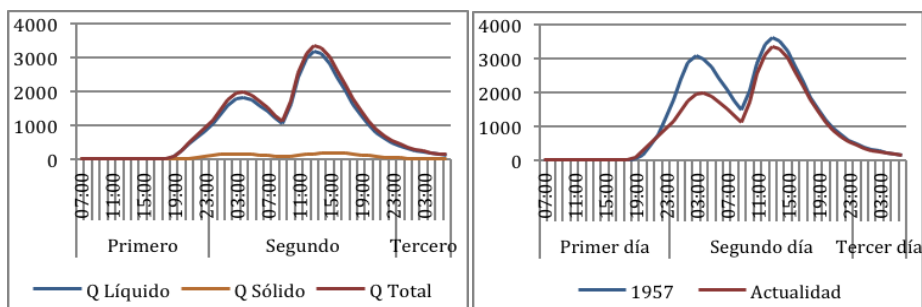
**Tabla 6.** Balance de masas de sedimentos

## 6. Comparación con la situación actual

Los cambios más importantes que ha sufrido la cuenca desde el año 1957, son: la finalización de la construcción del embalse de Loriguilla y el cambio en los usos del suelo, destacando el aumento en más de 100 km<sup>2</sup> del suelo urbano en la parte baja de la cuenca.

Teniendo en cuenta estos cambios, se ha realizado una simulación en el estado actual de la cuenca con las precipitaciones de 1957 (Figura 8, Tabla 7 y Tabla 8).





**Figura 8.** Hidrograma simulado ( $m^3/s$ ) en Manises (izquierda) y comparación entre el hidrograma simulado en Manises en 1957 y el simulado en Manises en la actualidad (derecha)

	1ª Onda		2ª Onda	
$Q_{\text{máx}}$ simulado 1957	3080 $m^3/s$	03:00 14/10	3646 $m^3/s$	13:00 14/10
$Q_{\text{máx}}$ simulado actualidad	1984 $m^3/s$	04:00 2º día	3366 $m^3/s$	13:00 2º día

**Tabla 7.** Comparación entre caudales máximos y horas de paso simulados en 1957 y en la actualidad

<b>Vol. Sed. Final (<math>m^3</math>)</b>	83,921,551	<b>Vol. Sed. Inicial (<math>m^3</math>)</b>	40,479,871
<b>Vol. Salida (<math>m^3</math>)</b>	11,856,790	<b>Vol. Entrada (<math>m^3</math>)</b>	0
		<b>Erosión (<math>m^3</math>)</b>	55,298,475
<b>TOTAL</b>	95,778,342	<b>TOTAL</b>	95,778,345

**Tabla 8.** Balance de masas de sedimentos

## 7. Conclusiones

Este estudio ha permitido, en primer lugar, entender mejor lo ocurrido en la riada de Valencia de 1957 y en segundo lugar, ha aportado una visión general de lo que ocurriría en la actualidad en el caso de darse una “gota fría” como la de 1957.

A la vista de los resultados obtenidos en la reconstrucción de la riada de 1957, las precipitaciones de los días 11 y 12, contribuyeron a aumentar la escorrentía, dejando el terreno prácticamente saturado. Esto produjo que las precipitaciones de los días 13 y 14 provocasen un rápido aumento de los caudales generando una avenida extraordinaria. Además, el desplazamiento noreste del epicentro de la tormenta no ayudó a disipar el efecto de estas precipitaciones, y provocó que las diferentes aportaciones de los afluentes del río Turia se fuesen concentrando formando ambas ondas de crecida. La erosión producida por esta avenida fue tal que supuso una pérdida media de suelo en la cuenca, de 3 cm, por el aforo de Manises circularon más de 20 millones de  $m^3$ , y en la cuenca quedaron depositados cerca de 40 millones de  $m^3$ . Por último, cabe destacar que los resultados obtenidos han sido buenos, ya que el hidrograma obtenido en la simulación de 1957 y el hidrograma observado en Valencia son muy similares, teniendo en cuenta su desfase horario por tratarse de dos puntos diferentes en la cuenca.

En cuanto a los resultados obtenidos en la comparación con la situación actual, el caudal máximo de la primera onda de crecida se vería reducido 1000 m<sup>3</sup>/s, debido a la construcción del embalse de Loriguilla que sería capaz de almacenar todas las aportaciones producidas aguas arriba del mismo. En cambio, el caudal máximo de la segunda onda sería de la misma magnitud, ya que proviene de las ramblas Castellana y Escarihuela, y el flujo discurre por estas dos ramblas hasta la ciudad de Valencia, sin encontrar ningún elemento de laminación importante. También cabe destacar que el efecto del aumento del suelo urbano en la parte baja de la cuenca ha resultado despreciable. En cuanto a la erosión producida, cabe destacar que sería de la misma magnitud que la de 1957, pero las aportaciones de caudal sólido se verían fuertemente reducidas debido al embalse de Loriguilla.

Por último, se puede concluir que la capacidad de evacuación del Nuevo Cauce del Turia (cerca de los 5000 m<sup>3</sup>/s) sería suficiente para proteger la ciudad de una posible inundación generada con las precipitaciones de 1957 en el estado actual de la cuenca.

## Referencias

*Bonache, X., Marco, J. B. 2014. Metodología per al calibratge de modelització matemàtica hidràulica, aplicada a la reconstrucció de la riuada de València de 14 d'octubre de 1957.*

*Cánovas, M. 1958. Avenidas motivadas por las lluvias extraordinarias de los días 13 y 14 de octubre de 1957. Revista de Obras Públicas.*

*Francés, F., Vélez, J. J., Vélez, J. I., Puricelli, M., Montoya, J. J., Múnera J. C., Bussí, G., Medici, C., Orozco, I. 2014. Descripción del modelo conceptual distribuido de simulación hidrológica TETIS v8.3. Universitat Politècnica de València.*

*García, V., Carrasco, A. 1958. Lluvias de intensidad y extensión extraordinarias causantes de las inundaciones de los días 13 y 14 de octubre de 1957 en las provincias de Valencia, Castellón y Alicante.*

*Gómez-Guillamón, F. 1958. La Batalla del Barro y la recuperación de Valencia. Asociación de Ingenieros de la Construcción y Electricidad y del Arma de Ingenieros.*

*Herrera et. al. (2012) Development and Analysis of a 50 year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). International Journal of Climatology 32:74-85 DOI: 10.1002/joc.2256.*