UN AÑO CON LA INGENIERÍA DEL AGUA

Por Raúl Herrero

www.eselagua.com

UN AÑO CON LA INGENIERÍA DEL AGUA

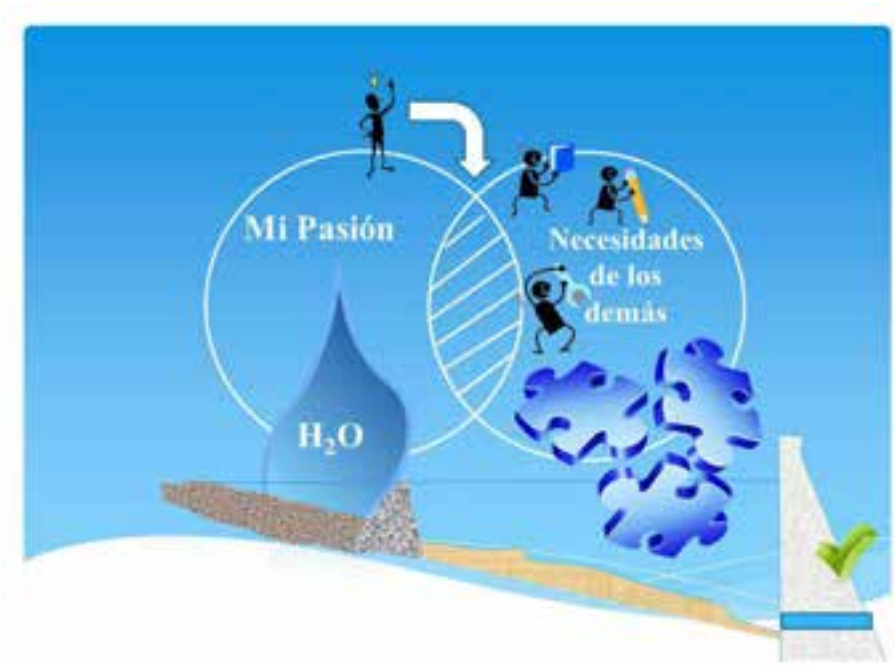
Por Raúl Herrero

www.eselagua.com

1ª Edición, octubre de 2014 – Revisión 1

¿Los ingenieros podemos mantener un blog y conseguir que se lea?

Claro que sí, y la clave es la pasión, el entusiasmo que le pongas, pues será tu motivación. Y si esa pasión la combinamos con las necesidades reales que tienen los demás, hemos encontrado una solución por la que merece la pena apostar.



Cuando terminé la carrera de ingeniería y salté al mundo profesional, en la empresa privada, caí en la cuenta que había aprendido muchos conocimientos técnicos, pero comenzaba una nueva etapa, un nuevo periodo en el que se abría un universo de experiencias para las que no me habían preparado. Trabajar en equipos con varias personas, tratar con clientes, poner en valor los trabajos realizados, etc.

Después de once años trabajando por cuenta ajena para otras empresas, tiempo al que estoy profundamente agradecido, con experiencias de todo tipo, en enero de 2013, se vuelve a presentar otro cambio en mi vida profesional, el comienzo de mi actividad profesional como autónomo.

Y es que en la vida, lo más seguro que tenemos es el cambio, y el mecanismo de supervivencia que tenemos los seres humanos es la adaptación.

Entonces me encuentro en una nueva era, en la que las tecnologías de la información y la comunicación se presentan como indispensables. Unos tiempos en los que emerge con mucha fuerza la figura del emprendedor, los cursos de formación, el marketing, las redes sociales,… es decir, un bombardeo constante cada día.

En esta nueva andadura en solitario una cosa sí tenía clara, necesitaba un compañero de viaje, necesitaba un blog, y así nació www.eselagua.com, un lugar dedicado a la ingeniería del agua, una de mis dos pasiones, la otra, la familia, mi mujer y mi hijo.

El agua es vida, eso es lo que quería y quiero comunicar, aprender a sentir la vida, aprendiendo cada día algo más sobre el agua. Por eso te doy la bienvenida, de manera que si te apasiona el mundo del agua estás en el lugar apropiado. Una web que te ofrece recursos e información de utilidad para aprender más sobre el agua. En el blog encontrarás posts de inundaciones y sequías, planificación y gestión de recursos hídricos, seguridad de presas y balsas, hidráulica urbana, ingeniería de ríos, etc. Y como valor puedes plantear consultas y puedes manifestar libremente tus opiniones y sugerencias. Así que, estimado lector, gracias por tu interés.

Según José María Jiménez Shaw, de cursobloggers *"Cuando uno dedica tiempo a dotar de contenido a un blog espera que éste se lea."*

Sí, es cierto, porque tenemos expectativas, y nos gusta que nuestros esfuerzos y nuestro tiempo resulten útiles a otras personas.

Resulta muy agradable cuando tu público objetivo muestra interés por los temas sobre los que escribes, o te agradecen un post que les ha resultado práctico y de utilidad, o te llaman desde una revista para solicitar tu colaboración en un artículo. Yo no escribo con mucha frecuencia (escribo al menos un post cada mes), pero en cada post pongo toda mi energía**,** y me pongo en el lugar del lector. Si yo fuera lector, ¿Qué me gustaría leer? ¿Qué necesitaría? Por eso apuesto por dos valores fundamentales: la independencia de criterio y la honradez. Para mí es muy importante que el blog hable de quien soy.

Pienso que una cosa que resulta fundamental en esto de los blogs es la perseverancia necesaria para el mantenimiento y actualización del sitio. Esto que no es fácil, porque el tiempo es un recurso limitado para todos, se hace más llevadero cuando los temas que tratas te apasionan y cuando sientes un profundo respeto y agradecimiento por el lector, a modo de ¿Quién vendrá a visitarnos hoy? ¿Qué nos enseñará esta persona?

Me gustaría agradecer y dedicar este eBook a todas esas personas que dan sentido a este proyecto. Muchas gracias por vuestro interés y por vuestros comentarios**.**

Un abrazo

Raúl.

Contenidos del eBook

¿Los ingenieros podemos mantener un blog y conseguir que se lea?.....1

Cooperación en avenidas. La Rambla de Nogalte…….…....4

La gestión del agua en España…….…....9

Inundaciones en la zona norte de Murcia……....12

Los retos de la planificación hidrológica……....16

Jornadas de Ingeniería del Agua…….22

Con ciencia y cooperación……..26

Identificación de sequías en la Cuenca del Segura…….…30

Gestión del Río Júcar basada en riesgo de sequías…….38

La Seguridad de las presas en España…….43

Laminación de avenidas en medio urbano. Depósitos de tormentas……...50

Agua, energía y alimentación. Grandes números, pequeños logros……64

Estudios de inundabilidad……...71

Las sequías y la producción hidroeléctrica en España……81

Sequías en la España peninsular y medidas de prevención para atenuar sus efectos…….…87

Cooperación en avenidas. La Rambla de Nogalte

Siguiendo las noticias de la prensa del día 12 de marzo de 2013, se puede leer que la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) va a llevar a cabo la construcción de decenas de diques en la cuenca del Río Guadalentín, con el objetivo de aminorar el riesgo de las inundaciones, y de esta manera, evitar daños similares a los originados por las avenidas de septiembre de 2012.

Aprovechando que 2013 es el Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua, sería muy interesante que hiciéramos una reflexión, acerca de la cuenca del Río Guadalentín, que nos puede aportar conocimiento y motivación para abordar las actuaciones en esta cuenca de forma multidisciplinar, escuchando lo que tienen que decir al respecto paisanos del lugar que albergan una fuente de sabiduría popular y experiencias personales valiosísimas, así como otros colectivos de geólogos, geógrafos, ingenieros de montes, ambientalistas, etc.

Figura 1. Pasarela en la Rambla de Nogalte (Puerto Lumbreras). Restos de la riada de septiembre de 2012 sobre el tablero.

Los cauces de esta cuenca se caracterizan por presentar un régimen muy irregular, pasando de estar completamente secos a presentar avenidas de grandes proporciones en cuestión de horas. Otra característica de estas corrientes de agua es la gran cantidad de sedimentos que arrastran, recordemos que Guadalentín significa en árabe río de barro.

Vamos a centrarnos en una cuenca concreta, la cuenca de la Rambla de Nogalte, en la que se prevé realizar una inversión de unos seis millones de euros en obras de corrección hidrológica en el corto plazo, e incluso, está prevista la realización de una presa de laminación de avenidas en el medio o largo plazo, para lo cual se ha solicitado un crédito al Banco Europeo de Inversiones.

La cuenca de la Rambla de Nogalte tiene una superficie de unos 137 km^2. La cuenca de cabecera de la rambla está formada fundamentalmente por materiales permotriásicos que producen unos caudales líquidos muy altos y de forma rápida. Por otra parte, la alta erosionabilidad de los materiales de la cuenca, da lugar a caudales sólidos muy elevados.

En esta cuenca, que pertenece a una región especialmente árida, tiene lugar un proceso de drenaje subsuperficial (piping) entre las rocas clásticas o detríticas existentes, tratándose de un proceso de elevada importancia, porque desencadena un fenómeno de erosión interna, a través del cual, el suelo es transportado por el agua de escorrentía, a través de los conductos subterráneos. El proceso finaliza con la formación de regueros, surcos y cárcavas, que en algunos casos adquieren dimensiones considerables.

Una primera pregunta que surge es ¿los diques de retención que se proponen como medida de corrección serán eficaces para aminorar este proceso de erosión y de transporte de sedimentos en avenidas? Y una segunda pregunta ¿Cuántas avenidas soportarán los diques transversales antes de producirse la colmatación de los mismos?

Las tasas de erosión en la Región de Murcia, en áreas en las que se produce piping y lluvias torrenciales pueden elevarse a más de 100 t/ha/año.

Si finalmente se lleva a cabo la actuación impulsada por la CHS, sería interesante evaluar la tasa de erosión anual de esta cuenca, midiendo los sedimentos acumulados en los diques de corrección hidrológica ejecutados.

En la modelización hidráulica de esta cuenca es muy importante la consideración de la carga sólida arrastrada.

En la Rambla de Nogalte se da el contraste que va desde estiajes dilatados y extremos hasta avenidas con caudales máximos del mismo orden que los valores más altos conocidos en el mundo. Se trata de una rambla muy ramificada y con elevadas pendientes. En sus cursos torrenciales se producen riadas de forma súbita. En ramblas como ésta, la peligrosidad se da en el centro de la rambla, pero también en las riberas o márgenes, y los caudales arrasan lo que encuentran a su paso, tal y como sucedió el 19 de octubre de 1973 (todavía no se habían construido los muros de canalización en el tramo urbano de Puerto Lumbreras). Al igual que ocurrió el pasado 28 de septiembre de 2012, el agua saltó por encima del tablero del puente de la carretera, que tiene un gálibo superior a 6 m, siendo el ancho de la rambla de 100 m.

A continuación se citan testimonios de personas del municipio, que vivieron la trágica riada de 1973:

"*El agua hacía unas olas enormes, iba muy turbia y parecía que era negra y helada como el granizo…", "Era difícil averiguar con exactitud la ubicación de las casas, porque habían desaparecido los cimientos dejando huellas de un metro de profundidad…", "La hora del suceso las 14:30 h, según marcaban algunos relojes de los fallecidos…"*

"La tromba del agua por la rambla no venía pareja. Unas oleadas daban en un lado de la rambla y otras en el otro entrecruzándose, mientras las casas desaparecían frágilmente formando una enorme humareda de polvo grisáceo, todo ello mezclado con los maderos de las viviendas que iban cayendo una tras otra."

"Al principio venía medio metro de agua y no le hice caso. Luego, de pronto, diez o doce metros. Venían camiones que nadaban algunos con las luces encendidas."

Testimonios recogidos en el libro "La riada del 19 de octubre" de D. Juan Romera Sánchez y Dª. Mª Soledad Romera Sánchez.

Después de la última avenida del 28 de septiembre de 2012 me desplacé con parte del equipo del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) del Segura a Puerto Lumbreras, y nos reunimos con un paisano del Puerto, que presenció esta avenida y también la anterior del 73. Esta persona nos confirmó que de nuevo, en el tramo urbano, ahora encauzado con muros laterales, se volvieron a producir ondas que se desplazaban desde aguas arriba y hacia aguas abajo, de un lado a otro de la rambla.

Figura 2. Rambla de Nogalte. Frente de onda de la avenida del 28-09-2012.

El SAIH estimó un caudal punta circulante de 2500 m^3/s. Teniendo en cuenta que el ancho de la rambla es de 100 m y que el calado medio se mantuvo durante más de una hora en el entorno de los 5 m, la velocidad media del agua alcanzó valores de al menos 5 m/s, lo cual evidencia la fuerte pendiente que tiene esta rambla en el tramo urbano de Puerto Lumbreras.

Las cuatro últimas grandes avenidas en la Rambla de Nogalte han sido:

Fecha	Nombre	Precipitación (mm)	Caudal punta (m^3/s)
14-10-1879	Riada de Santa Teresa	---	---
22-10-1948	Riada del Ranchito	---	---
19-10-1973	Riada de San Pedro de Alcántara	250-300	2000
28-09-2012	Riada de San Wenceslao	220	2500

Tabla 1. Cuatro últimas riadas en la Rambla de Nogalte.

En los últimos 133 años han ocurrido cuatro grandes riadas en la Rambla de Nogalte, y en los últimos 64 años se han producido tres grandes riadas.

Entonces podemos plantear la tercera pregunta ¿Qué periodo de retorno se le asocia al caudal de 2000 m^3/s?

Y si en la última avenida del 2012 el volumen que circuló por la rambla de Nogalte se estimó en 20 hm^3, surge una cuarta pregunta ¿Qué volumen de almacenamiento debe tener la presa o las presas que se construyan en la Rambla de Nogalte?

Y una quinta pregunta ¿Cuál será la vida útil de esta/s infraestructura/s con las elevadas tasas de arrastre de sedimentos existentes en esta cuenca?

Y por último, una sexta pregunta para acabar con la reflexión. ¿Sería interesante diseñar infraestructuras que permitieran el paso de los sedimentos?

Vídeo recomendado:

http://www.youtube.com/watch?v=KZocXIEgwS8

Referencias:

Gil Olcina A., 1968/69/70. El régimen del Río Guadalentín. Revista Cuadernos de Geografía, num. 5. Universidad de Valencia. Páginas 1-19.

Romera Sánchez J., Romera Sánchez S., 1998. La riada del 19 de octubre. Murcia, Excmo. Ayuntamiento de Puerto Lumbreras.

Romero Díaz A., Maurandi Guirao A., 2000. Las inundaciones en la Cuenca del Segura en las dos últimas décadas del siglo XX. Actuaciones de prevención. Serie Geográfica, 9: 93-120.

Martín Vide J. P., 2002. Ingeniería de ríos. Edicions UPC.

Gómez Espín J. M., 2004. Aprovechamiento integral del agua en la Rambla de Nogalte (Puerto Lumbreras – Murcia). Universidad de Murcia.

Romera Franco J. D., 2008. Vulnerabilidad y riesgo de inundación en el espacio urbano de Lorca: de la retrospectiva histórica a la situación actual. Ayuntamiento de Lorca. Archivo Municipal. Número 4-5.

Ortega Becerril J.A., Garzón Heydt M.G., García López-Davalillo J.C., Rodríguez Franco A., 2009. Funcionamiento de la rambla de Nogalte (Murcia) durante avenidas. Implicaciones para la cartografía de peligrosidad por riesgo de avenidas en Avances en estudios sobre desertificación, Universidad de Murcia, 497-500.

Romero Díaz A., Ruiz Sinoga J. D., Belmonte Serrato F., 2011. Tasas de erosión hídrica en la Región de Murcia. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles 56, 129-153.

Pérez Morales A., Gil Guirado S., 2012. La avenida de 22 de octubre de 1948 en la Cuenca del Segura. Revisión y análisis. Estudios Geográficos, Vol 73, No 272.

La gestión del agua en España

Desde hace más de cinco años vivimos una situación de crisis que está teniendo profundas consecuencias en la población, especialmente en el desempleo. La crisis nos invita a reflexionar, y yo lo he hecho sobre la gestión del agua en España, y se me ha ocurrido que en el momento presente hay mucho trabajo por hacer, aunque hay poco dinero. He decidido ponerme en marcha y plantear una serie de apartados que podrían dar trabajo a muchas personas y que intentan responder a las dos preguntas siguientes ¿Es posible llegar a una gestión del agua adecuada en España? ¿Qué sería necesario?

Figura 3. Desagüe de fondo de la presa de la Rambla de Algeciras. Murcia.

Sería necesario que:

- Se elaborara un buen diagnóstico de la situación actual de los recursos hídricos en base a la Directiva Marco del Agua, teniendo en cuenta que está pendiente la revisión y actualización de la Constitución y de la Ley de Aguas, para adaptarlas a la realidad.

- La gestión del agua en España no estuviera sometida a vaivenes políticos que sólo fomentan el interés particular, en detrimento del interés general. En este sentido sería interesante una revisión del Libro Blanco del Agua con verdadera independencia de criterio. El agua se debe gestionar sin ambigüedades y sin criterios localistas.

- Se impulsara la participación comprometida y solidaria por parte de todos los usuarios de los recursos hídricos. En este punto los Organismos de Cuenca tienen un largo camino por recorrer, haciendo un esfuerzo por desconectarse cada vez más de las presiones políticas y volver a conectar con las necesidades de los ciudadanos, poniendo las capacidades técnicas del personal al servicio de éstos últimos. Los ciudadanos también hemos de realizar un gran esfuerzo, si es que realmente queremos superar los enfrentamientos territoriales, y para eso es muy útil el empleo del conocimiento, para la toma de decisiones y para llegar a acuerdos en este país.

- Ciertos grupos de interés que se están beneficiando de la venta y del consumo del recurso agua hiciesen un ejercicio de humildad y de agradecimiento, porque el coste de la captación, el transporte, el almacenamiento, la distribución y la depuración del agua lo asumimos entre todos los ciudadanos. Otra cuestión es que esté pendiente el ajuste del precio del agua para garantizar la amortización, la conservación y la explotación de las infraestructuras hidráulicas.

- Los Organismos de Cuenca midieran bien el volumen de agua que se consume, sobre todo en la agricultura, con honradez y con transparencia. Y para esto es necesario que las Confederaciones Hidrográficas pongan de su parte, pero también que los usuarios dejen hacer el trabajo a la Administración, dejando a un lado la picardía.

- Se promueva un uso controlado y sostenible del recurso hídrico basado en costes reales que tengan en cuenta un triple objetivo económico, social y medioambiental. Todavía nos queda mucho trabajo por hacer para ser más eficientes en el uso del agua, para mejorar los sistemas de distribución, cumplir estándares de calidad en el abastecimiento, controlar los consumos de los pozos, aumentar la eficiencia de la desalación, apostar más por la reutilización, etc. Aquí la innovación juega un papel fundamental. Hay que invertir en I+D+i, de lo contrario tendremos pan para hoy y hambre para mañana.

- Antes de promover obras hidráulicas que han sido muy rentables electoralmente en el corto plazo, recordemos que hay quien dice que el periodo de retorno que se maneja en España es de cuatro años, se estudie si realmente son necesarias y sobre todo se plantee la siguiente cuestión ¿Estamos manteniendo y explotando correctamente las mil doscientas presas que tenemos en España?

- Se abordara de manera integral la gestión de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas, y para esto la Unidad de Planificación Hidrológica de cada Organismo de Cuenca podría hacer una labor de coordinación muy importante entre las Unidades de Dirección Técnica y de Comisaría de Aguas.

- Se reconociera que en España existe un problema de base de ordenación del territorio ya que ciertos usos como el agrícola, el industrial y el residencial no se han implantado en congruencia con la presentación del agua en el territorio, es decir, con las inundaciones. Este problema se debería abordar de forma estructural, y no sólo poniendo parches provisionales para conseguir salir del paso en el corto plazo.

- Las empresas privadas y los colegios profesionales obraran con independencia de criterio, especialmente en su relación con la Administración, y no desde el miedo a no conseguir contratos. Esa manera de funcionar le ha hecho un flaco favor a la gestión del agua en España. Las soluciones propuestas deberían ser consensuadas entre todos los agentes intervinientes del sector público, del sector privado, así como los usuarios del recurso.

- Se apoyara a los emprendedores sociales, como personas comprometidas que encaran los problemas aportando soluciones innovadoras, económicas, sociales y teniendo en cuenta el medioambiente. Sirva para este último apartado el ejemplo del eslovaco Michal Kravcik que más allá de la protesta, junto con sus colaboradores presentaron una propuesta alternativa a la construcción de una gran presa, como una idea nueva, y que más tarde fue promovida por Ashoka, mediante proyectos descentralizados de renaturización y de amplia reforestación, para retener el agua de la escorrentía superficial de la lluvia, aplicando el saber tradicional de las personas del lugar. Michal trabajó con el gobierno de Eslovaquia para implementar a gran escala su proyecto alternativo.

Referencia:

Marco Marco, J. J. 2012. La política de aguas en España: un laberinto jurídico - parlamentario.

Inundaciones en la zona norte de Murcia

1. Introducción

Las inundaciones constituyen uno de los males constantes de Murcia. Este problema no ha sido superado ni tenido en cuenta en el momento de realizar el diseño urbanístico de la ciudad. Las riadas se producen sistemáticamente en determinadas zonas del municipio debido a una mala planificación urbanística. Se ha crecido pero no se han construido las infraestructuras hidráulicas necesarias para drenar eficientemente las aguas pluviales.

Es suficiente una precipitación de 50 mm en un par de horas para crear un auténtico caos en algunas zonas del municipio anegando bajos comerciales, aparcamientos subterráneos, calles, etc. provocando problemas vecinales para acceder a las zonas más bajas. En ocasiones hasta los coches de la Policía quedan inmovilizados por la altura de agua alcanzada. Son los vecinos de Murcia los que acaban pagando las consecuencias de las malas prácticas de las administraciones y de las empresas responsables.

Con el objetivo de acabar definitivamente con las inundaciones por fuertes lluvias y solucionar los problemas ocasionados en las pedanías del norte de Murcia: Espinardo, El Puntal, Churra y Cabezo de Torres, el Ayuntamiento y la Confederación Hidrográfica del Segura impulsaron el Plan Especial de Infraestructuras Hidráulicas de la Zona Norte de Murcia, con un presupuesto estimado de 90 millones de euros. El Consistorio ya ha invertido 8 millones de euros para la construcción de dos tramos del interceptor de pluviales de la Zona Norte.

Se trata de una infraestructura hidráulica subterránea cuyo objetivo es captar el agua de las ramblas de Espinardo, El Puntal, Churra y Cabezo de Torres antes de que llegue a los barrios y canalizarla de forma controlada hasta verterla al río Segura, a lo largo de casi 7 kilómetros de conducciones. Los caudales varían desde los 4 m^3/s de algunas ramblas pequeñas hasta los más de 40 m^3/s de las ramblas grandes.

2. Problemática en la zona de Espinardo

Centrándonos en la zona de Espinardo ocurre que cada vez que llueve con carácter fuerte, la rambla de Espinardo inunda el pueblo. Los residentes y comerciantes indignados critican la falta de previsión municipal.

El trazado de la rambla arranca en el Campus de Espinardo, avanza bordeando la colina en la que se encuentra el parque de Terra Natura, y cuando llega al pueblo de Espinardo el encauzamiento de la rambla se interrumpe y todo el volumen de escorrentía avanza a modo de flujo superficial por las calles de la localidad.

En la calle Calvario bajo el puente que cruza la rambla de Espinardo se acumulan importantes cantidades de sedimentos que han sido arrastrados por la corriente, y que es necesario retirar cada vez que se produce un evento importante de precipitación. Los vecinos del lugar comentan que vienen sufriendo las mismas inundaciones y en el mismo lugar desde hace más de 40 años.

Aguas abajo del puente citado existe una guardería, a medio construir, en el mismo cauce de la rambla. Este edificio dificulta el avance de las aguas, suponiendo un obstáculo que genera remanso hacia aguas arriba, siendo el nivel del agua que se alcanza en la actualidad mayor que el que se alcanzaba antes de la construcción del edificio para caudales similares. La Confederación Hidrográfica del Segura paralizó las obras en su día, y ahora los vecinos reclaman la demolición de la estructura.

Figura 4. Desembocadura de la rambla a la llegada al pueblo de Espinardo.

Figura 5. Zona inundada en Espinardo en las inmediaciones de la guardería paralizada.

3. Propuesta de soluciones para evacuar las aguas pluviales

En el documento "*Anteproyecto del interceptor de las aguas pluviales del norte del municipio de Murcia. Tramo inicio túnel aguas abajo de la confluencia con la Rambla de Espinardo hasta el Río Segura*" se definen los elementos que componen la infraestructura hidráulica necesaria para interceptar las aguas pluviales del norte del municipio de Murcia, en el tramo comprendido desde el punto aguas abajo de la obra de confluencia con la Rambla de Espinardo hasta el punto de descarga en el río Segura, con el fin de recoger el agua de las ramblas antes de que llegue a la ciudad y canalizarla de forma controlada hasta verterla al río Segura.

El tramo del interceptor del anteproyecto citado forma parte de un tramo más amplio cuya definición se recogía en el "Proyecto de Ejecución del Interceptor de Pluviales de la zona Norte de Murcia (Tramo Rambla de Churra-Río Segura)", redactado por el Ayuntamiento de Murcia en Abril de 2008.

El tramo del interceptor proyectado se ha dividido en tres subtramos en función de la tipología y el procedimiento constructivo utilizado. Un TRAMO 1 que arranca aguas abajo de la arqueta de confluencia del colector principal con la Rambla de Espinardo, y termina en el P.K. 0+780. La sección del interceptor en este tramo está constituida por 3 tuberías en paralelo de hormigón armado Clase V de 3000 mm de diámetro interior y 3600 mm de diámetro exterior, un TRAMO 2 que parte del P.K. 0+780 y finaliza en el P.K. 1+225 bajo la Ronda Oeste y un TRAMO 3 desde el P.K. 1+225 y hasta el punto de desagüe en el río Segura. Este último tramo está constituido por dos cajones en paralelo de 5 metros de anchura y 3 metros de altura libre cada uno, separados mediante un hastial intermedio de 40 cm de espesor. La solera y el dintel tienen 60 cm de espesor y los hastiales exteriores, 50 cm, realizados todos ellos con hormigón armado HA-30.

Una vez analizado el proyecto, se consideró conveniente el estudio de diversas alternativas a las soluciones propuestas en dicho proyecto. En el Informe de viabilidad del Anteproyecto se dice textualmente, en relación al TRAMO 1:

"En el proyecto previo del Ayuntamiento de Murcia se consideraba en este tramo una tipología consistente en una conducción de 5 metros de diámetro ejecutada mediante tuneladora. Se ha considerado conveniente sustituir esta solución por tres tuberías en paralelo de 3 metros de diámetro, realizadas mediante tuneladora de escudo cerrado o tuneladora-rozadora de escudo abierto según las características del material atravesado, al tratarse de una solución técnicamente más viable y que requiere de mucha menor superficie de ocupación para la implantación de las instalaciones auxiliares necesarias. ***Además, esta solución presenta una mayor superficie lo que mejorará el comportamiento hidráulico del interceptor****."*

Sin embargo, la última afirmación resaltada en negrita no es correcta, ya que aunque es cierto que la nueva solución aumenta la superficie mojada, también es cierto que se aumenta en mayor medida el perímetro mojado, y por tanto se reduce el radio hidráulico, empeorando el comportamiento hidráulico del interceptor, tal y como demostramos a continuación:

Según la fórmula de Manning $Q = 1/n * (A * R_h^{2/3} * I^{1/2})$

Siendo Q el caudal en metros cúbicos por segundo, n el coeficiente de rugosidad de Manning, A el área mojada en metros cuadrados, R_h el radio hidráulico en metros (cociente entre el área mojada y el perímetro mojado) e I la pendiente.

Para la conducción de 5 m de diámetro:

- $A_1 = \pi * 5^2/4 = 25\pi/4$ (m^2)

- $P_{m1} = \pi * 5 = 5\pi$ (m)

- $R_{h1} = A_1/P_{m1} = 5/4 = 1{,}25$ (m)

- $A_1 * R_{h1}^{2/3} = 25\pi/4 * (1{,}25)^{2/3} = 22{,}777$

Para las tres conducciones de 3 m de diámetro:

- $A_2 = 3 * \pi * 3^2/4 = 27\pi/4$ (m^2)

- $P_{m2} = 3 * \pi * 3 = 9\pi$ (m)

- $R_{h2} = A_2/P_{m2} = 3/4 = 0{,}75$ (m)

- $A_2 * R_{h2}^{2/3} = 27\pi/4 * (0{,}75)^{2/3} = 17{,}346$

Por lo tanto con las tres conducciones el caudal total se reduciría en un 25% aproximadamente, y sería necesario disponer de una cuarta conducción de 3 m de diámetro interior para evacuar el caudal de diseño.

4. Mantenimiento de la infraestructura y gestión de los sedimentos

Es muy importante dejar claro quién va a asumir la gestión del mantenimiento de la infraestructura, es decir, si los costes correrán a cargo del Ayuntamiento de Murcia, de la Comunidad Autónoma, de la Confederación Hidrográfica del Segura, etc.

Las cuencas vertientes a las ramblas se caracterizan por ser altamente erosionables y por la escasez de vegetación, de manera que las ramblas aportarán un caudal líquido y un caudal sólido importante.

Por lo tanto, en una infraestructura de estas dimensiones hay que pensar en gestionar no sólo el agua sino que también el sedimento.

Habría que caracterizar bien el origen y el tipo de sedimento que va a llegar al interceptor y analizar el comportamiento hidrodinámico de la infraestructura, para averiguar los lugares donde se depositarán mayoritariamente los sedimentos, con la finalidad de diseñar unos depósitos de sedimentos eficaces y establecer una planificación racional y eficiente de las tareas de conservación y limpieza.

Los retos de la planificación hidrológica

A pesar del avance que ha tenido lugar en el conocimiento, con la nueva planificación hidrológica continúan reapareciendo dificultades. A continuación se plantean algunos problemas que ponen de manifiesto que queda mucho trabajo por hacer.

Figura 6. Noria de la Hoya de Don García en Abarán (Murcia).

1) **COMPLEJIDAD**. Los borradores de los Planes revisados contienen grandes volúmenes de información. La realidad hidrológica de España es singular y compleja, más que en el resto de Europa, pero hemos complicado demasiado la elaboración de los Planes. A esto se unen unos procesos de tramitación y aprobación complejos.

2) **DESCOORDINACIÓN**. Se han realizado esfuerzos por homogeneizar, pero los Planes siguen siendo heterogéneos. El Plan Hidrológico Nacional (2001) reclama la necesidad de coordinación entre los Planes de Cuenca. Cada demarcación hidrográfica defiende sus recursos hídricos, sus medidas, etc. Pero se echa de menos una visión conjunta y solidaria.

3) **CONSUMO EXCESIVO**. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente nos hemos centrado más en aumentar el suministro hídrico que en mejorar la gestión de la demanda para reducir el consumo, pero ¿Cómo optimizar el consumo hídrico y no reducir la producción?

4) **FALTA DE FINANCIACIÓN**. Las prioridades de la Unión Europea han cambiado y a la hora de financiar se apuesta por: I+D+i, TICs, economías bajas en carbono y PYMES. No es una prioridad financiar las infraestructuras hidráulicas. Los nuevos programas de medidas elevan las inversiones a más de 60000 millones de € ¿De dónde va a salir el dinero para la implantación?

5) **NO RECUPERACIÓN DE COSTES**. Existe una situación de incumplimiento de la recuperación total de costes, que es un obstáculo para asegurar la viabilidad y la sostenibilidad de los proyectos y de las infraestructuras hidráulicas. ¿Cuánto se está dispuesto a pagar por el metro cúbico de agua para un uso concreto en cada demarcación hidrográfica?

6) **INCUMPLIMIENTO AMBIENTAL**. El Dominio Público Hidráulico se encuentra en un estado de deterioro importante. En materia de saneamiento España continúa incumpliendo la Directiva Europea. Además de la sobreexplotación de los acuíferos, un par de problemas pendientes son la contaminación agraria difusa y la erosión del suelo.

Los peces responden a la hidrogeomorfología del río, es decir, para generar hábitat es necesario caudal líquido y caudal sólido ¿Se ha tenido en cuenta este hecho en la revisión de los Planes?

7) **MALA GOBERNANZA**. La aprobación de los Planes ha sufrido retrasos por problemas de gobernabilidad. Entre la Ley de Aguas de 1985 y los Planes de Cuenca de 1998 transcurrieron 13 años. Y ahora entre la Directiva Marco del Agua (DMA) de 2000 y la revisión de los Planes han transcurrido otros 13 años. La política ha errado al atacar emociones y tradiciones.

¿Llegaremos a tener una gestión independiente del agua en España que vele por el interés general?

8) **FALTA DE INTEGRACIÓN**. La planificación hidrológica actual no está armonizada con la gestión de sequías e inundaciones. En España existe un problema de ordenación del territorio que agrava los daños de las inundaciones.

Las previsiones del cambio climático apuntan a mayores desequilibrios pero con incertidumbres significativas. En el futuro ¿vamos a disponer de más agua o de menos agua?

9) **CALIDAD DE LOS DATOS**. Disponemos de buenos modelos de balance hídrico que hacen predicciones para múltiples escenarios, pero ¿Qué calidad tienen los datos con los que alimentamos los modelos? ¿De qué incertidumbres hablamos? ¿Qué aforos directos hacemos para reajustar y mejorar las curvas de gasto? ¿Cuánta agua tenemos realmente almacenada en España? ¿Cuándo se hicieron las batimetrías de los embalses?

Hay carencias en los datos de volúmenes detraídos de agua subterránea y de retornos de riego. Se estima que en España hay unos 500.000 pozos ilegales que extraen alrededor de 3600 hm^3/año.

10) **NO APLICACIÓN DE LA NORMATIVA**. En España tenemos buenos Planes Hidrológicos, buenas Normas de Explotación, etc. Pero ¿Se pone en práctica todo el conocimiento y la experiencia acumulada? ¿Se lleva a cabo un buen mantenimiento de las infraestructuras hidráulicas? ¿Se hace un seguimiento de la auscultación de las presas?

11) **LIMITACIONES DE LA NORMATIVA**. En los últimos años se han producido cambios importantes que han repercutido en el mundo del agua. La DMA se aprueba en el año 2000 pero su elaboración necesitó 10 años. Los conceptos de agua verde, agua azul, agua virtual y huella hídrica no se mencionan en su texto.

¿Por qué innovar? ¿Cómo hacerlo?

Figura 7. Infografía sobre los retos de la planificación hidrológica.

Es fundamental incorporar nuevas tendencias en planificación. La innovación es el gran reto. A continuación se dan razones por las que merece la pena **INNOVAR**, y sugerencias para llevarlas a cabo:

1) **SIMPLIFICAR** la planificación hidrológica para reducir la COMPLEJIDAD.

Aligerando la tramitación y los procesos administrativos. Realizando un ejercicio de cooperación inter administrativa. Elaborando las cuentas claras en los Planes para la integración en el Plan Hidrológico Nacional.

2) **COORDINAR** para eliminar la DESCOORDINACIÓN.

Cooperando entre administración hidráulica y usuarios de forma imparcial para que el agua no se adhiera a fronteras. "Cooperación en el agua-Creando alianzas" es el tema de la Semana Mundial del Agua 2013 en Estocolmo, y 2013 ha sido declarado Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua.

3) **AHORRAR** y ser más **EFICIENTES** para disminuir el CONSUMO.

Provocando un cambio de mentalidad en la utilización del agua. Aprendiendo a utilizar menos agua. Renovando y manteniendo redes para reducir las pérdidas. Adecuando los órganos de desagüe de las presas para optimizar desembalses. No permitiendo regadíos ilegales. Controlando los robos de agua. Reduciendo la evaporación en las balsas.

Haciendo uso de nuevas tecnologías: captadores de humedad del aire, aerogeneradores que producen agua, utilización de agua en polvo,…

4) **RECONDUCIR** la planificación para adaptarse a la FALTA DE FINANCIACIÓN.

Priorizando e indicando con claridad qué actuaciones se hacen en primer lugar y qué es lo que no se puede hacer. Realizando buenos análisis coste-eficacia. Considerando la escasez de financiación como una oportunidad para revisar precios, reducir gastos, etc.

5) **SUPERAR** la situación de incumplimiento de RECUPERACIÓN DE COSTES.

Profundizando en los estudios económicos y en la determinación del coste ambiental para conocer el coste total del recurso. Unificando criterios objetivos en las demarcaciones y contando con economistas ambientales.

Asegurando la viabilidad y la sostenibilidad mediante alianzas público privadas reguladas por un marco jurídico adecuado, utilizando de forma eficiente el régimen concesional y estableciendo un precio realista y justificado del recurso.

6) **CUMPLIR** con los objetivos AMBIENTALES.

Impulsando el Plan Nacional de Reutilización. Integrando la desalación como complemento. Continuando con la modernización de regadíos para reducir la contaminación agraria difusa. Reforestando para reducir la erosión. Reduciendo el consumo de hidrocarburos y apostando por las energías renovables.

Para la mejora de la calidad de las aguas es necesario un nuevo Plan Nacional de Calidad de las Aguas.

2027 es la fecha límite para el cumplimiento de los objetivos ambientales, por lo tanto es importante hacer un buen seguimiento a la implantación de los planes, para comprobar que se van cumpliendo los objetivos en los plazos establecidos y evitar la aplicación de restricciones presupuestarias.

7) **PRIMACÍA DEL INTERÉS GENERAL** para acabar con la MALA GOBERNANZA.

Exigiendo a las fuerzas políticas un Pacto del Agua a nivel nacional para estabilizar la política de aguas. Respetando las bases técnicas y jurídicas de la planificación hidrológica. Aplicando la normativa jurídica con independencia de criterio. Recuperando la buena relación entre los usuarios y la administración hidráulica. Definiendo claramente y sin ambigüedades qué se entiende por interés general en la gestión del agua y llevándolo a la práctica.

8) **ARMONIZAR** los contenidos de los Planes realizando su INTEGRACIÓN con la gestión de las sequías y la protección frente a inundaciones.

Velando por el cumplimiento de la legislación urbanística y de ordenación del territorio.

Adaptando la gestión del agua al cambio climático. Desarrollando y aplicando estrategias de gestión del riesgo que prevengan la escasez de agua y la contaminación, y protegiendo contra las inundaciones.

9) **MEJORAR** la CALIDAD DE LOS DATOS.

Destinando recursos a nuevas tecnologías para efectuar mediciones fiables, formando a personal técnico cualificado que realice el análisis y el seguimiento de la información, y manteniendo las infraestructuras hidráulicas en condiciones óptimas para realizar las medidas.

Aprovechando mejor las potencialidades de los Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH).

10) **PONER EN PRÁCTICA** la NORMATIVA.

Poniendo en valor la normativa técnica existente, el conocimiento y la experiencia de los profesionales del sector, para mantener y conservar las infraestructuras hidráulicas y realizar una explotación de los recursos hídricos óptima y en condiciones de seguridad.

11) **REVISAR Y ACTUALIZAR** la NORMATIVA.

Integrando en los Planes de Demarcación los avances científicos y tecnológicos para tener en cuenta el papel del agua verde, los cambios en los usos del suelo y el impacto del comercio del agua virtual.

Revisando y actualizando la Ley de Aguas para que regule todo el ciclo integral del agua.

La DMA establece un marco para la gestión ecológica, pero no un marco jurídico, económico, etc. Sin embargo la gestión del agua hay que abordarla de forma integral.

Jornadas de Ingeniería del Agua

En este post comparto la experiencia vivida en las Jornadas de Ingeniería del Agua (JIA) que este año 2013 han tenido lugar los días 23 y 24 de octubre en Valencia, ciudad a la que tengo un gran cariño porque he vivido allí durante trece años. También planteo algunos retos para las siguientes JIA que se celebrarán en el año 2015 en Córdoba.

Nada más llegar a Valencia recibí un gran regalo al encontrarme con Vicente Fullana, al que hacía alrededor de doce años que no veía, y al que tuve la suerte de tenerlo como profesor en las asignaturas de "obras hidráulicas" y "riegos y drenajes" de quinto y sexto curso respectivamente. Al día siguiente volví a conversar con él y tuve ocasión de mostrarle el contenido del póster con el que participé en las Jornadas, y que trataba sobre las crecidas relámpago (Flashflood) en la Rambla de Nogalte en Puerto Lumbreras. Vicente me aportó unas ideas muy interesantes para resolver la problemática existente en esta cuenca.

La Jornadas han estado geniales. Debido a la elevada participación se han concentrado un gran número de ponencias en tan solo dos días. Las ponencias de gran calidad y de diez minutos de duración corrieron en paralelo el primer día en cuatro salas distintas, abordando las cuatro temáticas del evento, es decir:

- Dinámica fluvial, de embalses, estuarios y humedales.

- Hidrología, usos y gestión del agua.

- Agua y ciudad.

- Estructuras hidráulicas.

El segundo día las ponencias versaron sobre el tema monográfico elegido en esta ocasión acerca de la protección contra los riesgos hídricos.

La organización del evento me ha parecido muy profesional, desde las "personitas de azul", pasando por el comité científico, el comité organizador, el comité permanente y muy especialmente los participantes; y es que aquí pasa algo similar a lo que ocurría en la universidad, que lo mejor no es ni el edificio, ni el profesorado, sino que los estudiantes.

Se percibía un clima de cordialidad entre los organizadores y los participantes. En líneas generales las personas parecían relajadas. El disponer de un lugar al aire libre para las pausas y las comidas ha contribuido positivamente a la creación de este buen ambiente.

Desde el primer minuto me propuse disfrutar del momento, aprovechar todas las ocasiones para hablar con la gente y convertirme en ese observador que mira sin juzgar, con la firme intención de aprender. Quizá estas actitudes me han permitido caer en la cuenta de ciertos aspectos o retos para las siguientes JIA 2015 en Córdoba.

PRIMER RETO: por tratarse del primero, se trata de un gran reto y consiste en volver a colocar en el lugar que se merece el hecho de realizar cálculos sencillos, con la finalidad de tener un orden de magnitud de algunos problemas en ingeniería del agua, con una aproximación suficiente al fenómeno y no un resultado exacto del mismo, teniendo muy claro lo que estamos haciendo. Una aproximación en la que el esfuerzo invertido sea considerablemente menor que el utilizado en hacer un número más exacto, admitiendo una desviación del resultado o tolerancia del lado de la seguridad.

En la introducción al libro "*Números Gordos en el proyecto de estructuras*" se puede leer la siguiente historia:

Contaban que un sabio profesor pidió a un joven ayudante que calculase, mediante un nuevo programa, la altura de ola de un pantano. El profesor había hecho un número gordo y había obtenido unos 20 cm. El joven, después de dos semanas, dio con un resultado de 1,30 m de ola. El profesor le recomendó que lo revisase, que parecía mucho. Una semana más tarde el ayudante encontró el error, recalculó la ola y obtuvo 1,5 cm. Sin estar satisfecho, el profesor le pidió al alumno que repasase el cálculo. Tras varios intentos más, el ayudante obtuvo una altura de ola de 23 cm. El profesor comprobó el modelo, repasó el cálculo y concluyó que ésa era la solución correcta.

Me pregunto ¿Por qué no existe un libro de números gordos en ingeniería del agua? Personalmente estaría encantado de ofrecerme como colaborador para llevar a cabo esta iniciativa.

Los ingenieros, además de operar con ordenadores, no debemos olvidar echar el número gordo haciendo uso de la fórmula que mejor se adapte al problema en cuestión. Y después afinaremos con metodologías más complejas para optimizar la solución.

SEGUNDO RETO: atraer a más personal de la empresa y de la Administración, y a ser posible que trabajen sobre el terreno, en campo, a pie de obra, en contacto con personas del lugar, etc. Se trata de encontrar un equilibrio entre el personal con un perfil investigador, científico, de oficina, de laboratorio, etc. Y el personal con un perfil más experimentado en la práctica. En caso contrario corremos el riesgo de perdernos una sabiduría y un sentido común insustituibles. Además procediendo de esta manera conseguiríamos reducir la gran distancia que todavía hoy existe en España entre la universidad y la empresa.

TERCER RETO: dar más voz a los más pequeños, ¿y quiénes son? Pues se trata de las pymes, las microempresas e incluso de los autónomos (como el que suscribe). Es una realidad que no podemos contribuir económicamente como una gran empresa a las Jornadas, pero si somos muchos la cosa cambia. Además todo apunta a que en los próximos años las empresas cada vez serán más pequeñas y más especializadas, por su flexibilidad y por su capacidad de adaptarse a los cambios.

CUARTO RETO: trabajar y aportar más conocimiento sobre las situaciones extremas de sequía, ya que en estas Jornadas ha quedado patente que los técnicos las hemos dejado un poco de lado, y hemos preferido presentar trabajos relacionados con las inundaciones.

Figura 8. Equilibrio entre las inundaciones y las sequías.

QUINTO RETO: abordar la problemática de la calidad de los datos. Acotar las incertidumbres asociadas a la medición de la precipitación y a la medición de caudales mediante aforos directos, en función de la tecnología y la metodología empleadas. Todo ello para acercarnos más a la realidad y para evitar lo que los americanos denominan en modelación numérica “rubbish in, rubbish out”.

Figura 9. Calidad de los datos.

Con ciencia y cooperación

1. Introducción

Desde el año 2001 cada 10 de noviembre se celebra el Día Mundial de la Ciencia para la Paz y el Desarrollo y a este hecho se une que 2013 es el Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua.

En este día y año tan especiales he querido poner mi granito de arena para potenciar la renovación del compromiso, nacional e internacional, de la paz y el desarrollo, de la utilización responsable de la ciencia y del agua en beneficio de las personas y de la reducción de la pobreza.

Figura 10. Embalse de la Rambla de Algeciras. Alhama de Murcia y Librilla.

En relación a la ciencia, Domingo de la Calzada decía:

"*Sea Vuesa Merced estudioso de la ciencia que vuestro gremio vaya alumbrando, para que vuestro saber no mengüe con el tiempo, y con él, vuestra autoridad, que es el saber*."

Y en relación al agua Irina Bokova, Directora General de la UNESCO, ha lanzado un mensaje:

«*Los recursos hídricos no entienden de fronteras. Por lo tanto, la cooperación ha de estar presidida por un espíritu de solidaridad. Juntos podemos aprovechar todo el potencial de agua para fortalecer la dignidad humana y construir un futuro mejor para todos. Este es hoy el mensaje de la UNESCO.*»

El texto completo se puede descargar en la página web de las Naciones Unidas a través del siguiente enlace: http://www.un.org/es/events/scienceday/

2. Lo que funciona hoy en el mundo del agua es la cooperación

Nos encontramos en un mundo en el que se producen cambios a gran velocidad, en el que la población mundial se ha incrementado significativamente en las últimas décadas y al que se está sometiendo a grandes presiones antrópicas. Pero es posible emplear todavía más el potencial de la ciencia a favor del ser humano y de la naturaleza, en beneficio de la paz y del desarrollo sostenible.

En concreto yo creo en la ciencia como fuerza que une a las personas, como aliada frente al cambio climático y como fomento de la innovación. Aunque pienso que se necesitan más personas que estén dispuestas a arriesgar, que trabajen con independencia de criterio y que defiendan el interés general desde un punto de vista social, ambiental y económico.

En el momento presente se está demostrando que el intercambio de conocimientos y de información sobre el agua está dando buenos resultados. Al igual que se comparte la ciencia, también hay que compartir el agua. El agua es esencial para la vida y para el desarrollo humano, por tanto es algo más que un bien económico o un producto financiero, se trata de un derecho humano y no de una mercancía. En España no hay un problema de escasez de agua, hay un problema de planificación y de gestión inducidas por una mala gobernanza.

Realmente cooperar es como una fuente de la que manan nuevas ideas y soluciones innovadoras, en cuanto que crean valor y riqueza, en España y en todos los países del mundo, independientemente del estado de desarrollo en que se encuentren.

Figura 11. Día mundial de la ciencia y año de cooperación en la esfera del agua.

Y la cooperación implica que los gobiernos y las grandes empresas se comprometen a colaborar y a no entorpecer. Si se hacen bien las cosas el agua es agradecida, da vida, ayuda a prevenir enfermedades y ayuda a salir de situaciones de pobreza.

3. Lo que nos queda por delante, un trabajo apasionante

Por delante tenemos un trabajo apasionante: promover medidas a favor de la eficiencia y el ahorro en el uso del agua, a favor de reducir la contaminación y mejorar la situación de los ecosistemas acuáticos y a favor de la protección de la población frente a eventos extremos de inundaciones. A continuación se plantean algunas líneas de trabajo que ya están empezando a ponerse en práctica y que aportarán conocimiento y valor en los próximos años:

A) En abastecimiento de agua potable es posible ahorrar agua mediante la modernización de los sistemas de control de las redes de suministro. Con sistemas de telemando y telecontrol se dispone de información en tiempo real de caudales, presiones, niveles en depósitos, etc. Y con toda esa información es posible tomar decisiones actuando sobre válvulas y bombeos con la finalidad de optimizar la gestión diaria del recurso, detectar y localizar con rapidez fugas, etc.

B) En agricultura también es posible ser más eficientes todavía y ahorrar más agua haciendo uso de la llamada “tecnología 3.0”, mediante la elaboración de planes de cultivos para los agricultores y la utilización de sensores para medir la humedad del suelo, el estado de la planta, las variables climáticas, etc. Y todo ello para ajustar el agua que hay que aportar a los cultivos, enviando información al agricultor con las recomendaciones de riego.

Además de ahorrar agua, también se ahorra energía. Por lo tanto, es una forma excelente de que los presidentes de las comunidades de regantes ganen en calidad de vida y que el consumo energético deje de quitarles el sueño.

Efectivamente hay que hacer una inversión para implantar estos sistemas y hay que realizar un seguimiento de los mismos, pero todo es cuestión de hacer unos números, porque en algunos lugares se están ahorrando del entorno de un 20%, lo cual puede resultar muy interesante en el medio plazo, y también considerando las rachas de sequías que se avecinan con el cambio climático.

C) El Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA) permite conocer el estado de los ríos en tiempo real. Y complementándolo con sistemas expertos basados en técnicas de estadística avanzada (algoritmos basados en lógica borrosa,…), es posible detectar eventos de contaminación por vertidos urbanos o industriales. Para ello se definen unos indicadores basados en las variables registradas por el SAICA que permiten conocer la evolución de la calidad de las aguas a lo largo del curso del río y detectar anomalías de forma temprana. De esta forma es posible detectar los vertidos que se suelen producir durante episodios de lluvias, conocer de forma anticipada su impacto en el medio y tomar decisiones de forma precoz para reducir los posibles daños ambientales.

D) No podemos despedirnos sin hacer un llamamiento especial a nuestros gobernantes, para que caigan en la cuenta de la enorme importancia que tiene el mantenimiento de las infraestructuras hidráulicas. Ya sabemos que no es algo que rente en el corto plazo, pero sí en el medio y largo plazo.

Es fundamental que estas obras, que tanto esfuerzo han costado, duren muchos años y se garantice su correcto funcionamiento, así como la seguridad de la población. Invertir en conservación de infraestructuras existentes supone importantísimos beneficios para el futuro.

Se han de aplicar medidas con amplitud de miras, y no con carácter miope. El corto plazo, la inmediatez, la prisa por ganar elecciones,… no van a dar solución al problema del agua en España, porque es un problema de naturaleza estructural y administrativa, y su solución requiere de CIENCIA, COOPERACIÓN y SOLIDARIDAD.

Identificación de sequías en la Cuenca del Segura

1. Introducción

La sequía es un fenómeno temporal que se caracteriza por una reducción significativa de la presencia de agua como consecuencia de una reducción de las precipitaciones.

Pero la sequía se caracteriza no sólo por un contenido climático (fenómeno físico) sino que también por una percepción de la población afectada (fenómeno social, económico y ambiental). Entonces la sequía se vive como una crisis entre la disponibilidad de agua y la cantidad de agua demandada por la población para los distintos usos: abastecimiento, regadío, etc.

Figura 12. Marco de control en el Río Mula. Cuenca del Río Segura.

Se distinguen varios tipos de sequía: meteorológica, hidrológica,… La sequía meteorológica hace referencia a una disminución temporal significativa de las precipitaciones. Los fenómenos meteorológicos asociados pueden ser: temperaturas más altas, humedad relativa baja, menor cobertura de nubes,… dando lugar a una mayor insolación, un aumento de la evapotranspiración, una reducción en la escorrentía y en la infiltración.

Esto origina una disminución del volumen de agua almacenada en los embalses y de la reserva de aguas subterráneas en el sistema de gestión de recursos hídricos, durante un tiempo, respecto a los valores medios, dando paso a la sequía hidrológica que lleva asociada la aparición de un déficit hídrico, que en función de su duración, intensidad y magnitud puede suponer una dificultad para la satisfacción de las demandas o viabilidad de los aprovechamientos.

Se habla de aridez o escasez cuando la situación de déficit hídrico adquiere un carácter permanente en relación con las demandas de agua del sistema de recursos hídricos. Las causas de esta situación estructural son un clima árido y/o un crecimiento de las demandas consuntivas.

Un reto reconocido por la Comisión Europea (CE, 2012) es la identificación de las cuencas con problemas de escasez de agua.

Es muy importante adoptar medidas coyunturales de forma rápida para minimizar los efectos de la sequía, y para ello es necesario disponer de un sistema de indicadores práctico y sencillo, que permita realizar un diagnóstico del problema ajustado a cada ámbito geográfico.

El Grupo Europeo de Expertos en Escasez de Agua y Sequías tiene entre sus objetivos la determinación de indicadores que se puedan utilizar en todos los países de la Unión Europea.

2. Los Planes de Sequías

A partir de la sequía que tuvo lugar en España entre los años 1992 y 1996 se tomó conciencia de la necesidad de incluir las sequías en la planificación hidrológica, con la finalidad de que las actuaciones en situación de sequía respondan a una gestión planificada y no a actuaciones de emergencia que movilizan recursos extraordinarios.

Los Planes de Sequías constituyen una herramienta que pretende llevar a la práctica esta nueva forma de gestionar las sequías en España. Estos nuevos instrumentos fueron introducidos en la legislación española a través de la Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional. Estos Planes se aprobaron para cada demarcación hidrográfica en marzo de 2007 denominándose Planes Especiales de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía.

Los Planes dan respuesta a la gestión de la sequía hidrológica ante una situación de disminución de las disponibilidades medias de aguas superficiales y subterráneas en el sistema de recursos hídricos, en un tiempo determinado, para satisfacer de la mejor forma posible las demandas existentes.

Sin embargo, la planificación hidrológica actual no está armonizada con la gestión de las sequías. Aquí tenemos un trabajo pendiente por hacer, es decir, armonizar los contenidos de los Planes Hidrológicos realizando su integración con la gestión de las sequías.

3. Cuenca del Río Segura

La Cuenca del Río Segura es una cuenca semiárida y posee la menor cantidad de recursos hídricos renovables de todas las cuencas intercomunitarias españolas.

Ámbito	Superficie (Km^2)	Habitantes	Precipitación media anual (mm)	ETP media anual (mm)	Aportación media anual (hm^3)*	Ratio anual por habitante (m^3)**
CHS	18.870 (3,7%)	1.816.742 (4,0%)	365	827	803 (0,7%)	442
Total España	506.474	45.197.561	711	842	111.186	2.460

Tabla 2. Datos característicos de la Cuenca del Río Segura (PHC, 1998).

(*) Aportación media anual en el periodo 1940/41 - 2000/01 restituida a régimen natural.

(**) Los organismos internacionales (ONU, OMS,…) establecen en 1.000 m^3/hab/año el límite de recursos hídricos disponibles para fijar la escasez de agua de los países.

En el Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía en la Cuenca del Segura se define un Indicador del Sistema Cuenca (Vsc) como dos tercios de la aportación acumulada de la cuenca hasta la fecha más un tercio de las existencias de la cuenca hasta la fecha. El indicador da más peso a las aportaciones que a las existencias debido a la reducida capacidad de almacenamiento de la Cuenca respecto al consumo de agua. Se ha calculado el valor de este indicador a escala mensual en el periodo de estudio 1940/41 - 2009/10.

En el citado Plan también se define un Índice de Estado (Ie) que es un valor adimensional entre 0 y 1 y tiene en consideración la serie histórica del indicador, de manera que el estado de sequía se establece según la media histórica, el máximo y el mínimo del indicador, según la expresión:

$$-\ Si\ V_i \geq V_{med} \Rightarrow I_e = \frac{1}{2}\left[1 + \frac{V_i - V_{med}}{V_{max} - V_{med}}\right]$$

$$-\ Si\ V_i < V_{med} \Rightarrow I_e = \frac{V_i - V_{min}}{2\,(V_{med} - V_{min})}$$

Siendo Vi el valor de la medida obtenida en el mes de seguimiento, Vmed el valor medio, Vmax el valor máximo y Vmin el valor mínimo en el periodo considerado (1940/41 - 2009/10).

En el gráfico siguiente se representa la evolución mensual del Índice de Estado del Indicador del Sistema Cuenca y los umbrales que establecen el paso de normalidad a prealerta (0,5), de prealerta a alerta (0,35) y de alerta a emergencia (0,2).

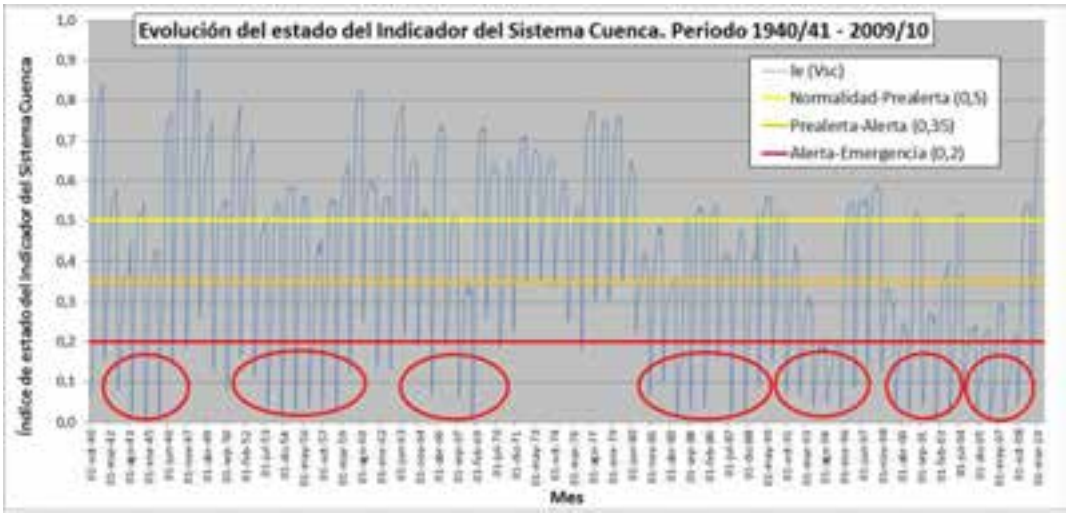


Gráfico 1. Evolución del estado del Indicador del Sistema Cuenca a escala mensual.

Según este índice se distinguen siete periodos de sequía, con distintas duraciones, tal y como se puede ver en la tabla siguiente:

	Periodo de sequía	Duración
1	1941/42 a 1944/45	4 años
2	1952/53 a 1957/58	6 años
3	1960/61 a 1967/68	8 años
4	1977/78 a 1986/87	10 años
5	1992/93 a 1995/96	4 años
6	1997/98 a 2000/01	4 años
7	2004/05 a 2007/08	4 años
	Total	40 años de sequía

Tabla 3. Periodos de sequía en la Cuenca del Segura entre 1940/41 y 2009/10.

Obsérvese como en un total de 70 años destacan 40 años de sequía. A continuación se correlacionan los resultados obtenidos con otro índice que tiene en cuenta las precipitaciones.

El Standard Precipitation Index (SPI) o Índice de Precipitación Estandarizado (Mc Kee et al, 1993) es un valor numérico que representa el número de desviaciones estándar de la precipitación acumulada en el periodo considerado, respecto de la media, una vez que la distribución original de la precipitación ha sido transformada a una distribución normal.

Los valores del indicador permiten cuantificar el déficit de precipitación para diferentes escalas temporales con la finalidad de evaluar el impacto de la sequía sobre la disponibilidad de los distintos tipos de recursos hídricos. En este caso se ha empleado la escala anual.

La serie histórica de precipitaciones anuales en la Cuenca del Segura se muestra en la tabla siguiente:

Año Hidrol.	P mm	Año Hidrol.	P mm	Año Hidrol.	P mm	Año Hidrol.	P mm	Año Hidrol.	P mm	Año Hidrol.	P mm	Año Hidrol.	P mm
1940/41	429	1950/51	500	1960/61	279	1970/71	405	1980/81	236	1990/91	363	2000/01	368
1941/42	318	1951/52	428	1961/62	389	1971/72	488	1981/82	259	1991/92	404	2001/02	460
1942/43	284	1952/53	256	1962/63	430	1972/73	427	1982/83	268	1992/93	353	2002/03	306
1943/44	401	1953/54	401	1963/64	281	1973/74	466	1983/84	311	1993/94	214	2003/04	532
1944/45	253	1954/55	292	1964/65	309	1974/75	435	1984/85	303	1994/95	228	2004/05	246
1945/46	453	1955/56	357	1965/66	357	1975/76	430	1985/86	381	1995/96	382	2005/06	344
1946/47	531	1956/57	354	1966/67	378	1976/77	406	1986/87	337	1996/97	525	2006/07	411
1947/48	442	1957/58	359	1967/68	350	1977/78	347	1987/88	474	1997/98	325	2007/08	368
1948/49	596	1958/59	548	1968/69	457	1978/79	311	1988/89	602	1998/99	291	2008/09	449
1949/50	339	1959/60	398	1969/70	356	1979/80	436	1989/90	475	1999/00	276	2009/10	589

Tabla 4. Precipitaciones anuales en la Cuenca del Río Segura.

Fuente MAGRAMA, Sistema Integrado de Información del Agua (SIA):

http://servicios2.magrama.es/sia/visualizacion/descargas/series.jsp

A partir de la serie histórica de precipitaciones anuales correspondiente al período 1940/41 - 2009/10, se ha ajustado una función de distribución normal de probabilidad:

Gráfico 2. Funciones de distribución poblacional y muestral de la precipitación anual.

Y a partir de la función de distribución poblacional ajustada se ha obtenido la función de densidad:

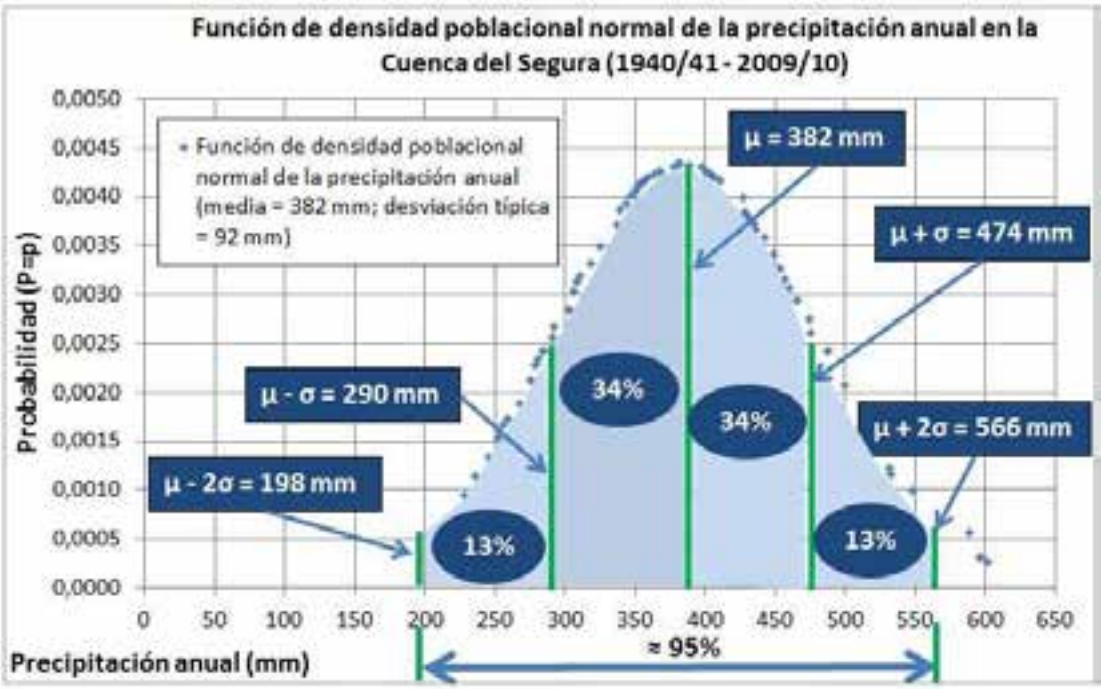


Gráfico 3. Función de densidad de la precipitación anual en la Cuenca del Segura.

Si a cada valor de la precipitación anual se le resta la media de la serie histórica (382 mm) y se divide por la desviación típica (92 mm), se obtiene una serie de valores que se distribuyen según una normal de media cero y desviación típica 1, es decir N(0,1), de manera que el valor medio del SPI es 0 (Edwards y Mc Kee, 1997).

Los valores positivos del SPI indican una precipitación superior a la media y los valores negativos del mismo, una precipitación inferior a la media.

Aplicando este índice se puede hacer un seguimiento de cualquier período. Los valores del índice comprendidos entre -1 y +1 caracterizan un período como "normal" al indicar que se está en la parte central de la distribución, la que se sitúa en torno a la media, a una distancia de ella igual o menor que la desviación estándar.

El criterio para definir un período de sequía sería que el SPI presente una secuencia continua de valores negativos, tales que éstos sean iguales o inferiores a -1, y que la "sequía" llega a su fin en el momento en que dicho índice vuelve a tomar un valor positivo.

En el gráfico 4 se representa la evolución del SPI a escala anual en la Cuenca del Segura, permitiendo identificar los distintos periodos de sequía. Si se establece una correlación entre los gráficos 4, 5 y 6 se observa como los valores negativos del SPI inferiores a -1 suelen tener como consecuencia valores bajos de las existencias de la cuenca (claramente inferiores al valor medio de 150 hm^3) y valores pequeños de las aportaciones.

En el gráfico 4 se aprecia la periodicidad de los ciclos de sequías e inundaciones y sugiere las siguientes preguntas ¿Estamos a punto de iniciar otro periodo de sequía en la Cuenca del Segura? En caso afirmativo ¿Cuál será su duración? ¿Y su intensidad?

Gráfico 4. Alternancia de sequías e inundaciones en la Cuenca del Segura.

Gráfico 5. Evolución de existencias a final de año hidrológico en la Cuenca del Segura.

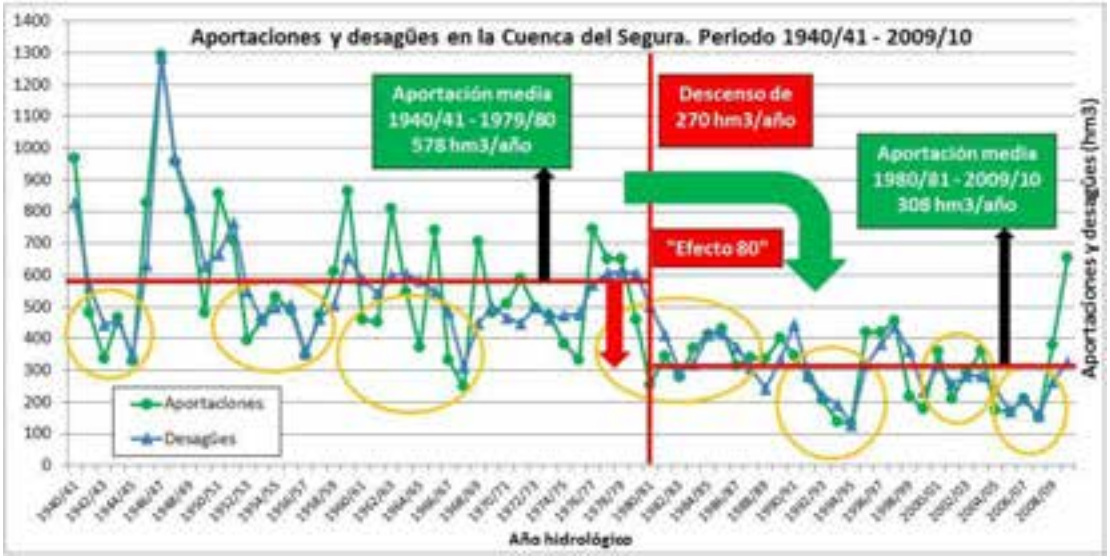


Gráfico 6. Evolución de aportaciones y desagües en la Cuenca del Segura

Los datos de existencias, aportaciones y desagües de la cuenca se pueden obtener a partir de la página web de la Confederación Hidrográfica del Segura, en la dirección:

http://chsegura.es/chs/cuenca/redesdecontrol/estadisticashidrologicas/

Gestión del Río Júcar basada en riesgo de sequías

1. Introducción

Hoy día son habituales las sequías en la mayor parte de las cuencas mediterráneas españolas. Esta situación de escasez ha originado que el recurso hídrico adquiera un gran valor y que sea necesario gestionarlo adecuadamente.

Figura 13. Embalse de Tous en el Río Júcar.

Para gestionar correctamente los recursos hídricos naturales es imprescindible su conocimiento, por lo que adquiere gran importancia una adecuada estimación de los mismos.

Pero la acción del hombre ha intervenido modificando el régimen natural de los sistemas de recursos hídricos, bien mediante la construcción de embalses, bien mediante extracciones intensivas de agua en los acuíferos para satisfacer las necesidades de abastecimiento urbano, regadío, etc. Este aspecto ha hecho necesario restituir las aportaciones a su régimen natural.

La evaluación de recursos hídricos se ha llevado a cabo tradicionalmente efectuando la restitución de los datos de las estaciones de aforos a régimen natural. En ocasiones no hay suficientes datos de aforos o éstos son de dudosa fiabilidad. Por esta razón es conveniente recurrir de forma combinada, a la utilización de modelos de lluvia - escorrentía, que permiten reconstruir el régimen hidrológico natural del sistema a partir de datos meteorológicos y de características físicas de las cuencas.

Tras una labor de análisis, validación y restitución de datos de aforos, combinada con el empleo de los resultados de un modelo de lluvia - escorrentía, se ha realizado una evaluación de los recursos hídricos naturales en la cuenca del Júcar aguas arriba del embalse de Tous. En algunos casos se han obtenido nuevas series de aportaciones restituidas a régimen natural y en otros casos se han corroborado las existentes, llegando a unas series que se consideran de elevada fiabilidad.

En especial, destaca la modelación de la detracción producida en el caudal del Júcar debido a las extracciones de agua en el acuífero de la Mancha Oriental, que ha permitido obtener una serie de aportaciones restituida en el embalse de Molinar.

Las series de aportaciones restituidas a régimen natural obtenidas permitirán su utilización para la alimentación de modelos de simulación de la gestión del sistema y para otros estudios de planificación.

En particular, en este ejercicio se ha calibrado un modelo estocástico que permite generar múltiples series de aportaciones sintéticas a escala mensual, el cual preserva las características estadísticas de las series de aportaciones históricas más relevantes para la gestión del sistema.

Con las series de aportaciones restituidas y con el modelo estocástico de aportaciones se ha hecho uso de la metodología de toma de decisión basada en riesgo, que ha permitido llevar a cabo una gestión probabilística de los recursos hídricos en el río Júcar para paliar los efectos de las posibles sequías.

De este modo, se han planteado diferentes escenarios hipotéticos con estados iniciales de embalse y aportaciones previas, analizándose los resultados obtenidos en cada uno de ellos, llegando a conclusiones interesantes y quedando así demostrada la utilidad de la herramienta empleada para la gestión del recurso en la cuenca del río Júcar frente a situaciones de sequía.

2. Marco y ámbito de estudio

El trabajo de investigación se realizó fruto del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) y la Universidad Politécnica de Valencia, para la “Implantación en la CHJ de Herramientas de decisión en materia de Explotación de Recursos Hídricos” (GESTIÓN ANTICIPADA DE SEQUÍAS).

Debido a la extensión de la cuenca y a la abundancia de datos se realizó un análisis por tramos. Cada tramo presenta una problemática distinta, por ejemplo entre Alarcón y Molinar el río sufre detracciones por los bombeos del acuífero de la Mancha Oriental y hasta el embalse de Tous existen incertidumbres considerables en la estimación de los caudales circulantes.

Figura 14. Ámbito de estudio. Capacidad de embalses. Aportaciones restituidas a régimen natural.

3. Conclusiones

Se ha realizado una labor de análisis, comparación y depuración de datos que ha permitido localizar estaciones de aforos con problemas en sus medidas así como validar datos de unas fuentes con otras.

Se ha modelado el impacto de los bombeos del acuífero de la Mancha Oriental en el caudal del Júcar obteniéndose la evolución histórica de la detracción producida sobre el caudal base del río. Este hecho ha permitido obtener una nueva serie de aportaciones restituidas a régimen natural en el tramo Alarcón - Molinar.

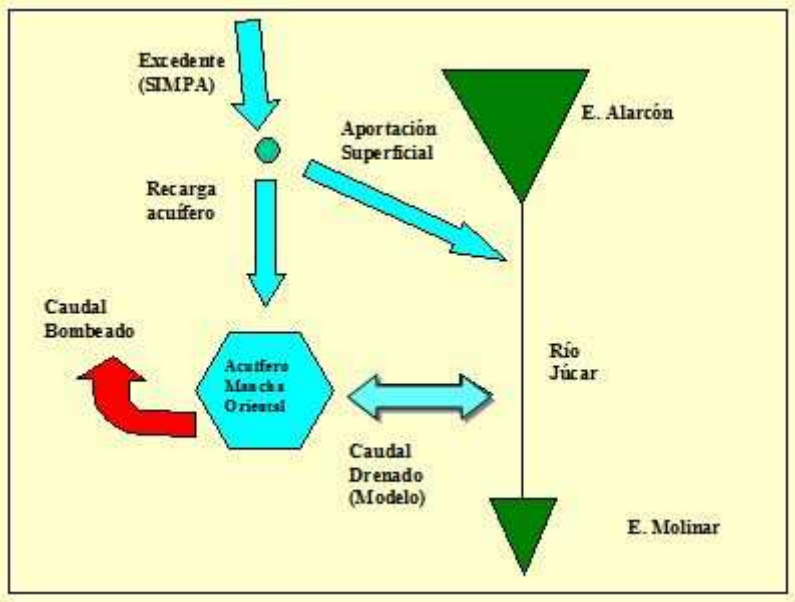


Figura 15. Modelo de aportaciones entre Alarcón y Molinar.

Se ha propuesto una nueva serie de aportaciones restituidas a régimen natural entre los embalses de Contreras, Molinar y Tous que incluye el consumo de la central nuclear de Cofrentes, las evaporaciones de los embalses de Cortes, La Muela, Naranjero y Tous, así como las filtraciones de Tous.

Se ha realizado una propuesta de restitución en tiempo real haciendo uso de los datos del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). La ventaja que presenta la restitución que utiliza los datos del SAIH, frente a la restitución clásica, es que permite disponer de los datos en tiempo real, pudiéndose obtener las aportaciones restituidas a régimen natural a escala mensual con una mayor rapidez.

Como consecuencia de todo lo anterior se ha realizado una modificación del modelo de simulación de la gestión de la cuenca del Júcar que se estaba utilizando actualmente. Se considera que se ha realizado una mejora sustancial sobre todo en el tramo del río conectado con el acuífero de la Mancha Oriental en donde se ha conseguido realizar un avance importante en la modelación del comportamiento río - acuífero.

Con el nuevo conjunto de series de aportaciones restituidas a régimen natural se ha calibrado un modelo estocástico de aportaciones multivariado para la generación de series sintéticas. Se ha elegido el modelo ARMA (1, 1) mensual porque es el que presenta un equilibrio entre la preservación de la estructura de dependencia temporal de las series históricas, los estadísticos de sequía y almacenamiento y el Índice de Parsimonia.

Con las series de aportaciones restituidas a régimen natural obtenidas y con el modelo estocástico de aportaciones se ha hecho uso de la metodología de toma de decisión basada en riesgo, que ha permitido llevar a cabo una gestión probabilística de los recursos hídricos en el río Júcar para paliar los efectos de las posibles sequías.

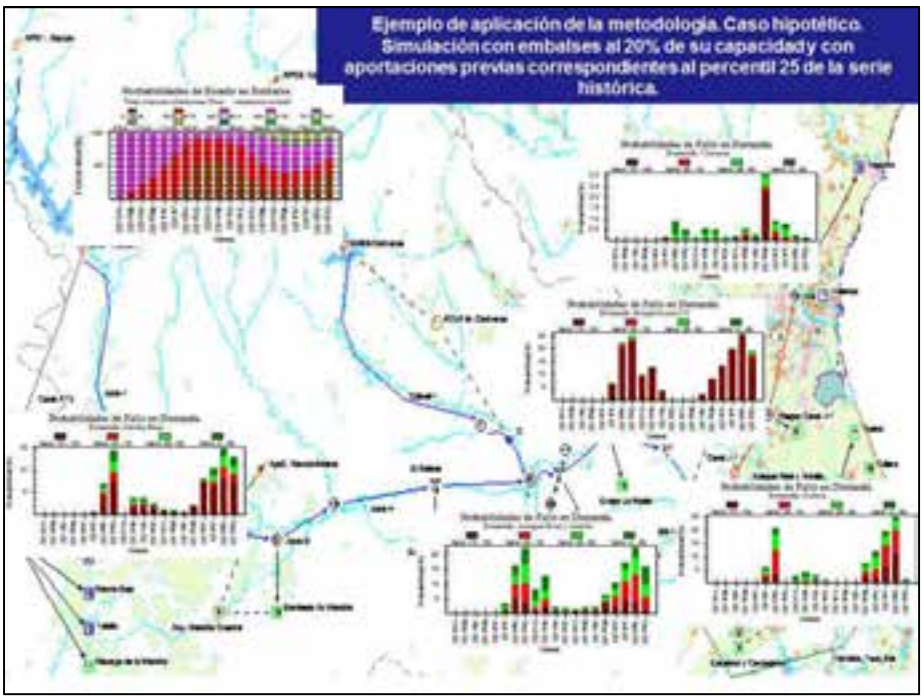


Figura 16. Metodología de toma de decisión basada en riesgo.

Se han planteado diferentes escenarios por los que puede pasar el sistema y se han realizado simulaciones con inicio en Febrero y final en Septiembre del año siguiente. Del análisis de los resultados de las simulaciones se puede desprender que para una situación de partida con embalses al 40% de su capacidad y aportaciones previas del mes de Enero, correspondientes al percentil 25 de la serie histórica, no es necesario aplicar restricciones en el suministro de las demandas del Plan Hidrológico del Júcar. Para el resto de escenarios analizados en este ejercicio las restricciones en el suministro dependen del riesgo que se quiere asumir tanto en el primer como en el segundo año, que no deja de ser una decisión subjetiva.

La Seguridad de las Presas en España

1. Introducción

Las Confederaciones Hidrográficas son responsables de mantener operativas las presas del Estado, lo que implica su conservación y mantenimiento durante el periodo de vida útil, así como su reposición una vez concluida ésta.

Las presas españolas necesitan unas labores de mantenimiento y conservación considerables. Algunos autores estiman que el coste anual de estas labores rondaría el 1% del valor de la inversión. Entonces:

¿Por cuánto sería necesario multiplicar el canon de regulación y la tarifa de utilización del agua en la actualidad para cubrir los costes anuales de mantenimiento y conservación de las presas?

Figura 17. Presa de Béznar en el río Izbor, Granada. Bóveda de doble curvatura.

En el capítulo 3 del Libro Blanco del Agua (1998) se indica que la situación de la seguridad de las presas en España se caracteriza por la existencia de:

1) Heterogeneidad en la normativa, porque se aplican simultáneamente el Reglamento Técnico de 1996 y la Instrucción de Grandes Presas de 1967.

2) Bajo rango legal del Reglamento, ya que se considera que una Orden Ministerial resulta insuficiente para regular un tema de esta trascendencia.

3) Financiación insuficiente para atender las exigencias del Reglamento en los plazos previstos. Esto hace que el grado de cumplimiento del Reglamento aún no sea el suficiente.

4) Dotación de medios escasa para controlar la seguridad de forma óptima.

Además los puntos 3 y 4 se han visto intensificados por la situación de crisis económica que vivimos desde hace más de cinco años.

En el citado Libro se proponen tres medidas para mejorar las condiciones de seguridad:

1) Elaboración de una Ley de Seguridad de Presas, que evitaría el vacío competencial actualmente existente, tendría mayor capacidad coercitiva que el Reglamento, y eliminaría la actual heterogeneidad normativa. Y en el período de tiempo hasta que se promulgase la Ley, sería conveniente ampliar la aplicación del Reglamento a todas las presas.

2) Creación de una organización específica para gestionar la seguridad, con personal y medios suficientes para desarrollar su labor.

3) Disponibilidad financiera para que se puedan cumplir en un plazo razonable las exigencias de seguridad recogidas por la normativa.

2. Reflexión

La seguridad de una presa se va fraguando día a día y no sólo con actuaciones puntuales de emergencia tras situaciones extraordinarias. A día de hoy en España nos encontramos con más de mil doscientas grandes presas, con capacidad para almacenar 56.000 hm^3, que han alcanzado cierta edad, ya que más de 400 presas son anteriores a 1.960, tal y como muestra el gráfico 7.

Gráfico 7. Evolución del número de presas en España. Fuente MAGRAMA.

Es necesario que la sociedad tome conciencia de la importancia de velar por la seguridad de las presas, para que el control e inspección de las mismas lo realicen profesionales independientes de los titulares de la explotación de las infraestructuras y para que se promulgue una normativa clara, con rango de ley, con la finalidad de regular la seguridad en todas las presas.

Dos grandes retos que tenemos por delante consisten en trabajar para mejorar la seguridad de las presas día tras día y hermanar estas infraestructuras con el medio ambiente.

Las preguntas que se plantean a continuación invitan a la reflexión:

¿Faltan medios humanos y medios materiales para garantizar la seguridad de las presas en España? Desde mi punto de vista, la respuesta es afirmativa.

¿Continuamos teniendo descuidada la observación del comportamiento de las presas?

Concretando un poco más, en relación a la auscultación:

¿Cuántas presas hay en España sin ningún tipo de instrumentación? ¿Y con instrumentación no operativa? ¿Y con instrumentación operativa pero sin registrar las lecturas en una base de datos? ¿Y con instrumentación y con datos pero sin analizar e interpretar?

Sin duda, las presas avisan de lo que les pasa, pero para detectar anomalías en el comportamiento hay que analizar la información e interpretarla, y realizar visitas de inspección periódicas, con el objetivo de realizar una detección precoz y adoptar las medidas de prevención o corrección necesarias en un plazo de tiempo razonable.

¿Por qué no se establece una metodología común a nivel nacional para conocer el estado de la seguridad de cada presa? ¿Se definirán y se aplicarán en España unos criterios técnicos que permitan establecer umbrales de las variables de auscultación, con el fin de obtener un sistema de control fiable y ajustado a las características de cada presa?

¿Qué tipo de problemas tendremos que abordar próximamente para mantener adecuadamente las presas en España?

3. Futuro marco legal

El vigente Texto Refundido de la Ley de Aguas dispone en su artículo 123 bis, dedicado a la seguridad de presas y embalses, que, con la finalidad de proteger a las personas, al medio ambiente y a las propiedades, el Gobierno regulará mediante Real Decreto las condiciones esenciales de seguridad que deben cumplir las presas y embalses, estableciendo las obligaciones y responsabilidades de sus titulares, los procedimientos de control de la seguridad, y las funciones que corresponden a la Administración pública.

Dando cumplimiento a este mandato el día 16 de Enero de 2008 se publicó el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, en el cual se añade el título VII, que trata de la Seguridad de presas, embalses y balsas. Se pretende, como principal objetivo, unificar en una misma norma los criterios de seguridad a aplicar a todas las presas, embalses y balsas, con independencia de dónde se encuentren y quien sea el titular, así como delimitar las competencias de las Administraciones competentes en materia de seguridad.

El Real Decreto 9/2008 dispone la elaboración, redacción y aprobación de tres Normas Técnicas de Seguridad que serán, a partir de su aprobación, los únicos textos legales vigentes, derogando la Instrucción de Grandes Presas de 1967 y el Reglamento Técnico de 1996.

Los últimos borradores de las tres Normas Técnicas citadas, con fecha julio de 2.011, están disponibles en la página web del MAGRAMA en el siguiente enlace:

http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/seguridad-de-presas-y-embalses/normas-tecnicas/

En el borrador de la Norma Técnica de Seguridad para la Explotación, Revisiones de Seguridad y Puesta Fuera de Servicio de Presas y Embalses, en el Capítulo II: Explotación destacan:

Sección I – Criterios básicos de seguridad, Artículo 7 Responsabilidades del Titular, "*El titular, como responsable de la seguridad de la presa y embalse, deberá disponer permanentemente de los medios humanos y materiales necesarios y adecuados para garantizarla…" y "El titular adoptará cuantas medidas sean necesarias para detectar y corregir eventuales defectos o deterioros producidos en la presa, en sus obras accesorias, en su equipamiento o en el embalse, debiendo realizar para ello una observación e interpretación continuada de su estado y comportamiento…" y "El titular deberá realizar los trabajos de mantenimiento, conservación y vigilancia de la obra civil, equipos y sistemas complementarios, así como los de reparación y reforma necesarios, con la finalidad de mantener permanentemente los niveles de seguridad requeridos y garantizar la operatividad de las instalaciones."*

En la Sección III – Control de la seguridad, Artículo 15 Auscultación "*La auscultación, a efectos de seguridad de presas y embalses, se define como el conjunto de mediciones, y observaciones, cuyo análisis e interpretación ilustran sobre el estado y comportamiento de las obras y su entorno. La auscultación deberá complementar a la inspección visual en la observación de la presa y el embalse y, para que sea efectiva, todas las fases que constituyen su proceso deberán estar definidas y coordinadas en el Plan de Auscultación que el Titular tendrá que establecer y que formará parte de las Normas de Explotación." Y "El objetivo final de la interpretación y el análisis de la evolución de los parámetros seleccionados es posibilitar la detección de eventuales anomalías." Y "En el Plan de Auscultación se establecerán rangos de variación de las variables de control que marquen los límites que pudieran originar niveles de atención*

especial, teniendo para ello en cuenta el historial de comportamiento de la presa y del embalse."

En la Sección IV – Órganos de desagüe y vertido, Artículo 17 Operación de los órganos de desagüe "*La operación de los órganos de desagüe para el control de avenidas, vaciados del embalse o pruebas de los equipos, precisará tener a disposición, en el entorno de la presa, de personal suficiente y con capacidad técnica acreditada."*

En la Sección VIII – Informes de explotación, Artículo 27 Informes de estado y comportamiento "*El Director de Explotación redactará un informe periódico, de carácter ordinario, en el que recogerá los resultados de las observaciones y revisiones realizadas, tanto sobre la obra civil y los órganos de desagüe, como de los equipos y sistemas, y la auscultación, y concluirá sobre el estado y comportamiento de la presa, el embalse y su equipamiento, identificando las deficiencias observadas y proponiendo las acciones correctoras oportunas. Asimismo, se indicarán las actuaciones de entidad que se hayan podido llevar a cabo en la presa, en sus órganos de desagüe, en el embalse y en las instalaciones auxiliares, como consecuencia del cumplimiento del Plan de Mantenimiento o derivadas de cualquier otra circunstancia."*

Para ayudar en el proceso de elaboración de las sucesivas revisiones de seguridad, la Dirección General del Agua está elaborando una Guía Técnica, que servirá de ayuda en la elaboración del citado documento.

4. Gestión de la seguridad de las presas

La Gestión de la Seguridad de las Presas hace referencia al conjunto de actuaciones que debe realizar la Administración competente para controlar el cumplimiento de los requisitos de seguridad de las presas, exigidos por la normativa vigente.

La Instrucción de Grandes Presas de 1967 contiene un conjunto de aportaciones técnicas de aplicación en cada una de las fases de la vida de una presa.

El Reglamento Técnico de 1996 contiene criterios de seguridad para prevenir y limitar los riesgos sociales y medioambientales que las presas pueden representar. El Reglamento introduce la clasificación de las presas en tres categorías A, B o C, en función del riesgo potencial que pueda derivarse de su posible rotura o de su funcionamiento incorrecto, aplicando exigencias de seguridad distintas a cada presa según su clasificación.

El Reglamento concede gran importancia a la seguridad, la explotación, las revisiones periódicas de carácter preventivo, los Planes de Emergencia para las presas de categoría A o B, la Programación de la puesta en carga de las presas y el mantenimiento y actualización del Archivo Técnico de la presa.

La seguridad de una presa evoluciona con el tiempo. Por ejemplo, una presa de materiales sueltos tipo tiene una probabilidad de rotura que suele ser mayor durante las fases de construcción y de primer llenado y en la vejez. Como media la probabilidad anual de rotura es del orden de 0,0001 y la probabilidad anual de que ocurra un incidente grave en la presa sin llegar a la rotura es un orden de magnitud superior, es decir, 0,001 (Soriano Peña A., Sánchez Caro F. J., 1997).

Además de todo el conocimiento existente en los Archivos Técnicos de las presas, plasmado en las Normas de Explotación, Planes de Emergencia, etc. para gestionar y garantizar la seguridad de una presa con el paso del tiempo es necesario disponer de medios humanos y materiales para realizar las tareas de mantenimiento, vigilancia, auscultación e interpretación del comportamiento de la presa y el embalse. Y todo esto se puede complementar con metodologías de análisis numéricas.

La figura siguiente trata de ilustrar de manera gráfica lo expresado anteriormente:

Figura 18. Gestión de la seguridad de las presas equilibrando y combinando el análisis numérico y las buenas prácticas en mantenimiento, vigilancia y auscultación.

5. ¿Metodología de análisis determinista o probabilista?

Actualmente se plantea una disyuntiva a la hora de elegir la metodología de análisis numérica más adecuada para una presa, es decir, entre los métodos de análisis tradicionales que constituyen una aproximación determinista y los nuevos métodos probabilísticos. Pero ambas metodologías se pueden complementar en el estudio de la seguridad del conjunto presa y embalse.

En España no se ha establecido una sistemática general para la evaluación de la seguridad de las presas. Para cada caso concreto se ha aplicado el método que se ha considerado más apropiado.

Sin embargo, en los últimos años están tomando fuerza las metodologías basadas en análisis y estimación de riesgos. Estas metodologías se apoyan en tres pilares básicos:

- El primero es la identificación y descripción detallada de los potenciales modos de fallo de la presa y el embalse.

- El segundo es el análisis de la secuencia de eventos que pueden desencadenar cada modo de fallo, con la finalidad de detectar deficiencias en la presa y en el embalse para ayudar en la elaboración del diagnóstico.

- El tercero es el establecimiento de las repercusiones que cada potencial modo de fallo puede tener en la inspección, vigilancia, auscultación, investigación, modificaciones en la explotación, actuaciones estructurales de refuerzo, etc. Para garantizar la seguridad del sistema presa y embalse.

Titulares de presas en distintos puntos de todo el mundo están complementando la gestión de la seguridad con metodologías basadas en análisis de riesgos.

6. Conclusión

Invertir en medios humanos y materiales para realizar mantenimiento, conservación, auscultación e interpretación, investigación de metodologías numéricas de análisis (deterministas, probabilistas, etc.) sería una forma excelente de mejorar la seguridad de las presas españolas y de reforzar, desde el ejemplo y la coherencia, el concepto acuñado tan de moda como “Marca Agua España”. Ha llegado el momento de ponerse en marcha en esa dirección.

Laminación de avenidas en medio urbano. Depósitos de tormentas

1. Introducción

Se desarrolla una metodología para la obtención del volumen de diseño de un depósito de tormentas, cuya función es la de laminar el caudal de la red de saneamiento de aguas pluviales.

2. Estudio pluviológico

Para el dimensionamiento de un depósito de tormentas se calculan las lluvias de proyecto o lluvias sintéticas que se asocian a un cierto periodo de retorno.

La definición de la lluvia para una duración determinada incluirá la cantidad total de precipitación y su distribución espacial y temporal, ya que así lo requiere el método hidrológico del hidrograma unitario que se propone utilizar.

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) dispone de datos de precipitación en estaciones meteorológicas distribuidas por el territorio nacional, así que se pueden elegir las más próximas al municipio donde se vaya a emplazar el depósito de tormentas.

AEMET dispone de datos de pluviometría desde el año 1920. Los valores estadísticos de las series de precipitación diaria registrados en los pluviómetros se pueden consultar en la dirección siguiente:

http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/efemerides_extremos

El estudio pluviométrico se realiza con la finalidad de obtener el patrón temporal de la lluvia en el municipio en el que se emplaza el depósito de tormentas. Es conveniente tener en consideración un par de escenarios para la lluvia, es decir, de corta y de larga duración, una vez que se ha elegido el periodo de retorno de diseño.

Para la obtención de las precipitaciones diarias máximas (P_d) en el municipio correspondientes a un período de retorno considerado se propone emplear la metodología propuesta en la publicación “Máximas lluvias diarias en la España Peninsular” de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

Obtenido el valor de la precipitación máxima diaria para un periodo de retorno es posible construir la curva Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF). Una curva IDF supone una relación entre las intensidades medias máximas esperables, para cada duración de precipitación, con un periodo de retorno considerado.

Debido a la complejidad del proceso y a que no es posible disponer en muchos observatorios de la gran cantidad de datos en forma de hietogramas que son necesarios para la obtención de la familia de curvas IDF de dichos observatorios, diversos autores han buscado relaciones algebraicas que permiten expresar de una manera general la Intensidad Media Máxima en función del intervalo de referencia y del periodo de retorno, a partir de unos datos de pluviometría accesibles como es la precipitación caída en 24 horas.

En España no se ha emprendido un análisis sistemático de curvas Intensidad – Duración - Frecuencia (IDF) para distintas duraciones de lluvia. Sin embargo, en la Instrucción de Carreteras, 5.2.I.C. se propone la siguiente curva IDF sintética:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\frac{28^{0,1}-t^{0,1}}{28^{0,1}-1}}$$

Siendo:

t: Duración del intervalo al que se refiere I_t (h).

I_t: Intensidad media correspondiente al intervalo de duración t deseado (mm/h).

I_d: intensidad media diaria correspondiente al periodo de retorno considerado en (mm/h). Se obtiene dividiendo la precipitación total diaria correspondiente a dicho periodo de retorno entre 24 h. Es decir $P_d/24$ (mm/h).

I_1/I_d: factor regional de torrencialidad y es el cociente entre la intensidad horaria y la intensidad media diaria, independiente del periodo de retorno y que puede obtenerse para el territorio nacional tal y como muestra la figura siguiente:

Figura 19. Mapa de España con las isolíneas del factor regional.

El método de los bloques alternados permite obtener una lluvia de proyecto a partir de la curva IDF. El hietograma producido por medio de este procedimiento especifica la precipitación en un número n de intervalos de tiempo Δt, para una lluvia de duración total D = n*Δt.

Una vez elegido el intervalo de tiempo Δt, por ejemplo igual a 10 minutos, se toman los datos de intensidad media de precipitación a partir de la curva IDF para duraciones Δt = 10 min. (I_{10} mm/h), 2Δt = 20 min. (I_{20} mm/h), 3Δt = 30 min. (I_{30} mm/h),..., así como la precipitación total obtenida multiplicando las intensidades por las duraciones de lluvia.

Se trata de estimar los intervalos más desfavorables de precipitación, es decir:

Para el tiempo Δt = 10 minutos, la cantidad de lluvia máxima es el dato directo de la curva IDF. Por tanto, tenemos un bloque de lluvia con duración 10 minutos y con intensidad de precipitación la que indica la IDF:

$$P_{bloque\ 1} = I_{10} \times \frac{10}{60}\ mm$$

Para un tiempo 2Δt = 20 minutos, la cantidad de lluvia máxima en esos 20 minutos corresponde al dato de la curva IDF, un bloque de lluvia de duración 20 minutos. Pero dentro de esos 20 minutos, admitimos que los 10 minutos más desfavorables corresponden a una precipitación igual al bloque de lluvia calculado en el primer paso. Luego para los segundos 10 minutos, el bloque de lluvia que incluiremos en nuestro hietograma de diseño será uno que produzca una precipitación igual a:

$$P_{bloque\ 2} = I_{20} \times \frac{20}{60} - P_{bloque\ 1}\ mm$$

Para un tiempo 3Δt = 30 minutos, la precipitación del tercer bloque de 10 minutos de lluvia será:

$$P_{bloque\ 3} = I_{30} \times \frac{30}{60} - P_{bloque\ 1} - P_{bloque\ 2}\ mm$$

Y así sucesivamente.

Estos bloques de lluvia se van distribuyendo de forma alternada, alrededor del bloque de lluvia de mayor intensidad, uno a cada lado (a derechas y a izquierdas).

De esta forma se obtienen los hietogramas de proyecto para una lluvia de corta duración (inferior a 2 horas) y para una lluvia de larga duración (entre 2 y 24 horas de duración) asociados al periodo de retorno de diseño.

El Grupo FLUMEN de Investigación Multidisciplinar en Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica (UPC, UB) ha desarrollado un programa que genera la lluvia de diseño mediante la distribución de Bloques Alternados y genera salidas con formato preparado para exportar los resultados a SWMM 5.0.

http://www.flumen.upc.es/descarregues.asp

En el gráfico siguiente se puede ver un ejemplo de hietograma de proyecto:

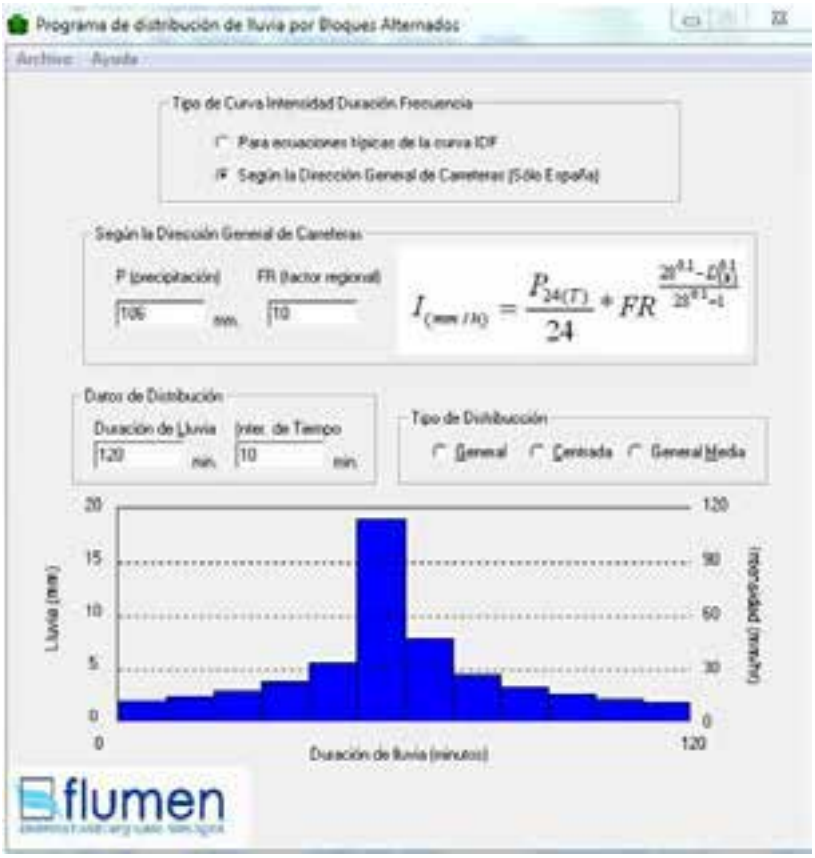


Gráfico 8. Ejemplo de hietograma de proyecto de corta duración para un periodo de retorno 500 años en Alcorcón (Madrid).

3. Estudio hidrológico

Un estudio hidrológico puede limitarse a estimar el caudal máximo producido por una lluvia, o bien a definir el hidrograma de caudales que se produce en el punto de desagüe de la cuenca vertiente. La segunda opción es más completa, y necesita un nivel de información previa mayor.

Para dimensionar un depósito de tormentas se propone realizar un estudio hidrológico completo para la obtención de los hidrogramas de caudales asociados a los escenarios de partida con una lluvia de corta duración y con una lluvia de larga duración.

En primer lugar se procede a estimar la fracción de lluvia caída que se va a transformar en escorrentía superficial, es decir, lo que se denomina lluvia neta, a base de restar de la lluvia total caída las pérdidas de precipitación que se producen. Dado el carácter urbano de las cuencas de estudio, las pérdidas de precipitación tienen un peso menor que en cuencas con terreno natural.

La cubierta vegetal suele ser escasa por lo que la intercepción de la vegetación es despreciable. La evapotranspiración también puede desestimarse dado el corto espacio de tiempo de estudio. Solamente pueden tener una cierta influencia la infiltración, en función de la presencia de suelo permeable, y las pérdidas por almacenamiento en depresiones, charcos, puntos bajos, etc.

En la medida que las pérdidas sean menos significativas, será más correcta la asociación entre periodos de retorno de lluvias y periodos de retorno de caudales de escorrentía. De hecho se suele admitir que los caudales de escorrentía superficial que se van a calcular a partir de las lluvias de proyecto tienen el mismo periodo de retorno que éstas.

La infiltración constituye generalmente el factor más importante de las pérdidas. La capacidad de infiltración de un terreno depende del tipo de suelo existente, del uso del terreno, de la pendiente del mismo, del grado de humedad previo del suelo, de la duración e intensidad de la lluvia, etc.

La capacidad de almacenamiento del suelo, que depende de la porosidad, del espesor y de la humedad del suelo es determinante al inicio de la tormenta, aunque una vez que se ha alcanzado la saturación del terreno, la infiltración es igual a la permeabilidad del estrato inferior.

El proceso de infiltración es complejo debido al comportamiento del estrato superficial del terreno, normalmente en condiciones no saturadas, siendo objeto de estudios de detalle por especialistas. La variabilidad espacial de la capacidad de infiltración del suelo añade un grado de dificultad adicional ya que los datos de campo se estiman mediante ensayos en pequeñas porciones del terreno. Además es notable la dispersión existente en los datos experimentales obtenidos mediante ensayos de infiltración in situ.

Debido a que el proceso de estimación de pérdidas presenta naturaleza empírica, los modelos de cálculo comerciales de redes de drenaje incorporan diversos métodos de estimación de las pérdidas de precipitación.

Los métodos más empleados en la evaluación de las pérdidas y la obtención de lluvia neta son:

1) El método de Horton (1940),

2) El método de Holtan (1971),

3) El método de la pérdida inicial y constante en el tiempo,

4) El método del Soil Conservation Service de los Estados Unidos (S.C.S., 1972).

Para la estimación de la lluvia neta se propone emplear el método del Soil Conservation Service (S.C.S., 1972). Este método asume la existencia de un umbral de escorrentía (P_o), por debajo del cual las precipitaciones no provocan escorrentía.

Este valor actúa como una intercepción inicial antes de evaluar que una parte de la precipitación escurre superficialmente (E) y que parte es retenida en el terreno (R).

La ecuación que define la relación precipitación escorrentía en este método es la siguiente:

$$\frac{R}{S} = \frac{E}{P - P_o}$$

Siendo:

R: La fracción de lluvia retenida por el terreno (mm)

S: La máxima retención posible (mm)

E: La fracción de lluvia que se transforma en escorrentía superficial (mm)

P: La precipitación bruta (mm)

P_o: El umbral de escorrentía (mm)

En cada instante la retención sería:

$$R = (P - P_o) - E$$

De los análisis empíricos realizados por el S.C.S. resultó la siguiente relación entre Po y S:

$$P_o = 0{,}2 \times S$$

Combinando las ecuaciones anteriores es posible obtener la fracción de lluvia que se transforma en escorrentía superficial (E) en función de la lluvia bruta (P) y del umbral de escorrentía (P_o):

$$E = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4 \times P_o}$$

El valor del umbral de escorrentía (P_o) en una determinada cuenca y para unas condiciones dadas de humedad es función de la capacidad de infiltración del suelo, del uso del suelo y de la pendiente del terreno.

Para la estimación del umbral de escorrentía en zona urbana se pueden emplear las Normas para Redes de Saneamiento del Canal de Isabel II (2006). En el Anexo 4 Cálculo del caudal de aguas pluviales, se propone la siguiente expresión para el cálculo del coeficiente de escorrentía:

$$C = \frac{(\frac{P_d}{P_o} - 1) \times (\frac{P_d}{P_o} + 23)}{(\frac{P_d}{P_o} + 11)^2}$$

Siendo:

C: El coeficiente de escorrentía medio de la cuenca.

P_d: La precipitación total diaria correspondiente a un período de retorno T, en mm.

P_o: El umbral de escorrentía o valor de la precipitación acumulada por debajo del cual no se produce escorrentía, en mm.

Por otra parte, la Normativa para Obras de Saneamiento de la Ciudad de Valencia (2004) propone diferentes valores del coeficiente de escorrentía según el tipo de superficie, tal y como se muestra en la tabla siguiente:

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía
Áreas pavimentadas	0,95
Áreas urbanas	0,85
Áreas residenciales	0,50
Áreas no pavimentadas	0,20

Tabla 5. Coeficiente de escorrentía según el tipo de superficie.

Una vez obtenido el umbral de escorrentía se procede al cálculo de la lluvia neta (E) resultante, tanto para el escenario de corta duración, como para el de larga duración. A continuación se muestra un ejemplo de hietograma de proyecto de corta duración y la lluvia neta asociada:

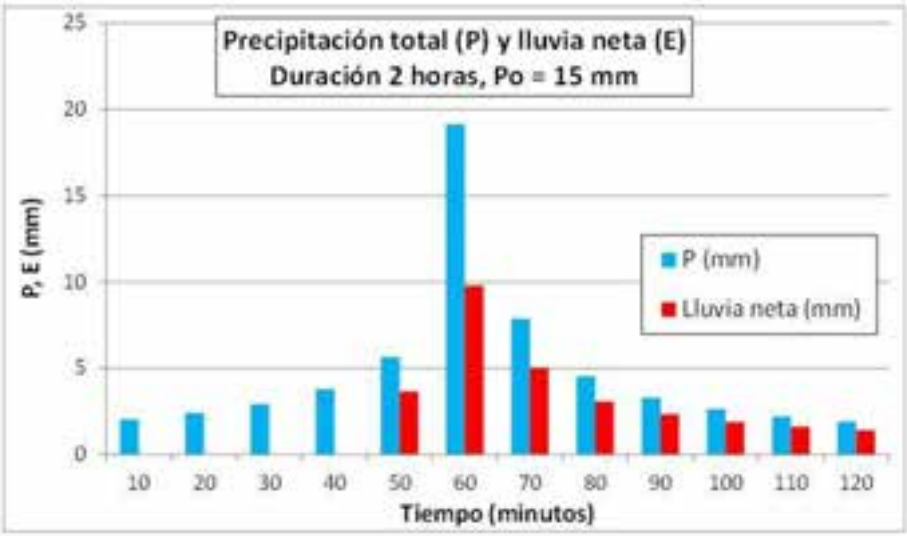


Gráfico 9. Hietograma de proyecto y lluvia neta de corta duración.

El proceso de transformar la lluvia neta en caudal se abordó en los albores de la Hidrología Urbana mediante los mismos conceptos empleados en estudios hidrológicos de cuencas rurales. El método más utilizado en dichos estudios es el hidrograma unitario y ese es el primero de los métodos que se emplearon.

La teoría del hidrograma unitario introducida por Sherman (1932) es la más utilizada para transformar el hietograma neto en hidrograma de escorrentía superficial de la cuenca. Se entiende por hidrograma unitario la respuesta en caudal de la cuenca, ante una lluvia neta de valor unidad (1 mm) uniformemente repartida por toda la cuenca.

Más tarde Nash y Dooge (1959) reformularon el concepto, generalizando el concepto de hidrograma unitario como el hidrograma resultante de un impulso de lluvia efectiva unitaria distribuido uniformemente sobre la cuenca y constante durante una unidad de tiempo. El hidrograma unitario instantáneo así definido considera que la transformación lluvia - caudal es la de un sistema lineal e invariable en el tiempo.

En general, se suele referir a una duración cualquiera D, es decir, el hidrograma unitario se define especificando la duración D de la lluvia neta que lo produce, por lo que tenemos un hidrograma como el indicado en la figura siguiente.

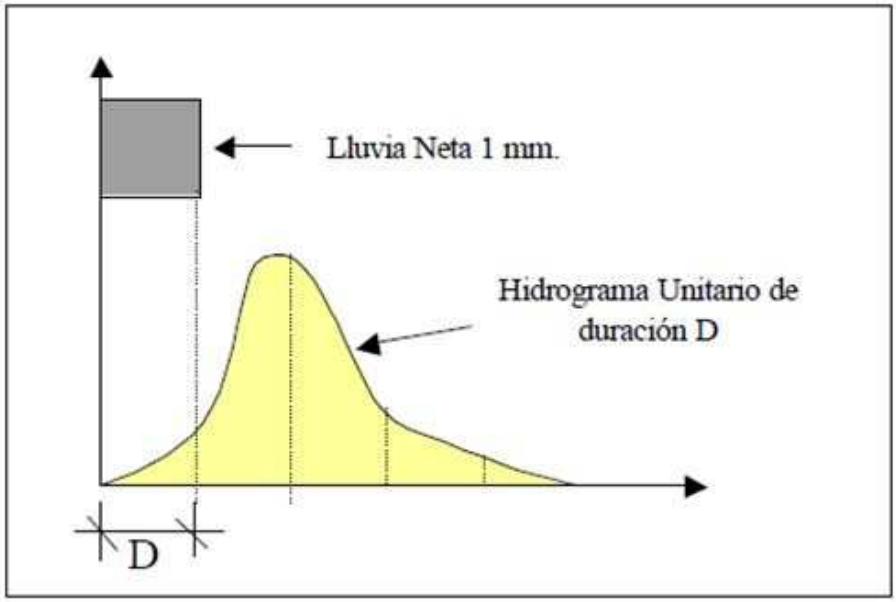


Figura 20. Concepto de hidrograma unitario.

Las propiedades más importantes en la aplicación del hidrograma unitario son:

1) Linealidad en la respuesta. Si un hidrograma H es la respuesta en caudales a una lluvia I_1, para una lluvia doble, igual a $2I_1$, la respuesta en caudal de la cuenca es 2H.

2) Aditividad de la respuesta. La respuesta de un suceso de lluvia I_1 más I_2, es igual a calcular primero la respuesta en caudal ante una lluvia I_1, después la respuesta en caudal ante una lluvia I_2, y sumar finalmente los dos hidrogramas de respuesta.

Conocido el hidrograma unitario de duración D, las propiedades anteriores permiten obtener el hidrograma correspondiente a una lluvia cualquiera, descomponiendo la citada lluvia en intervalos de tiempo de duración D.

La segunda propiedad presupone que la respuesta de la cuenca es igual al principio que al final de la lluvia. Si bien eso no es estrictamente cierto, se acepta como hipótesis que simplifica mucho su empleo. El hidrograma unitario es el procedimiento más empleado en el estudio hidrológico de cuencas naturales. La bondad del método radica en que el hidrograma unitario sea representativo de la realidad de la cuenca. Y para ello, debe obtenerse a partir de medidas de campo, de las que se pueda extraer el hidrograma unitario. No es sencilla su extracción, dado que asegurar que la lluvia sea uniforme no es fácil, o tampoco que se cometan mínimos errores de medida de caudal o precipitación. La alternativa es recurrir a hidrogramas unitarios sintéticos, es decir, aproximaciones al hidrograma unitario basadas en datos simplificados de la cuenca, como el tiempo de concentración, etc.

En general en el ámbito de la hidrología urbana se prefiere optar por metodologías que no incluyan la necesidad de determinar un tiempo de concentración a priori, apareciendo dicho concepto con posterioridad como un valor medio de la cuenca.

El método más empleado sigue siendo el hidrograma del S.C.S. en su versión adimensional o triangular, que depende tan sólo del valor del tiempo de concentración.

El hidrograma se basa en un hidrograma adimensional obtenido tras analizar un elevado número de hidrogramas unitarios de cuencas rurales de reducido tamaño y obtener unos valores medios.

Un hidrograma adimensional es un hidrograma unitario en el cual tanto el caudal como el tiempo se expresan como cociente respecto al caudal punta (Q_p) y tiempo punta (t_p) respectivamente., con lo que se elimina el efecto del tamaño de la cuenca y gran parte del efecto de la forma de dicha cuenca.

El hidrograma unitario adimensional propuesto se encuentra tabulado a continuación:

t/Tp	Q/Qp	t/Tp	Q/Qp	t/Tp	Q/Qp	t/Tp	Q/Qp
0,0	0,000						
0,2	0,100	1,2	0,930	2,2	0,207	3,2	0,040
0,4	0,310	1,4	0,780	2,4	0,147	3,4	0,029
0,6	0,660	1,6	0,560	2,6	0,107	3,6	0,021
0,8	0,930	1,8	0,390	2,8	0,077	3,8	0,015
1,0	1,000	2,0	0,280	3,0	0,055	4,0	0,011

Tabla 6. Hidrograma unitario adimensional del S.C.S.

El caudal punta se calcula como:

$$Q_p = \frac{A}{4{,}8 \times T_p}$$

Siendo:

Q_p: El caudal punta en m^3/s,

A: El área de la cuenca en Km^2,

T_p: El tiempo al pico en horas.

El tiempo al pico se puede calcular a partir del tiempo de desfase a la punta (T_{dp}), como:

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{dp}$$

Y el tiempo de desfase a la punta se obtiene a partir de la duración del intervalo de discretización "D" del hietograma a adoptar en la aplicación del método con la expresión:

$$T_{dp} = \frac{D}{0{,}22}$$

Si por ejemplo se adopta D = 10 minutos (0,17 h)

Entonces, T_{dp} es 0,76 h y T_p 0,84 h.

Con esta metodología el hidrograma de caudal que se obtiene se puede ver en el siguiente gráfico:

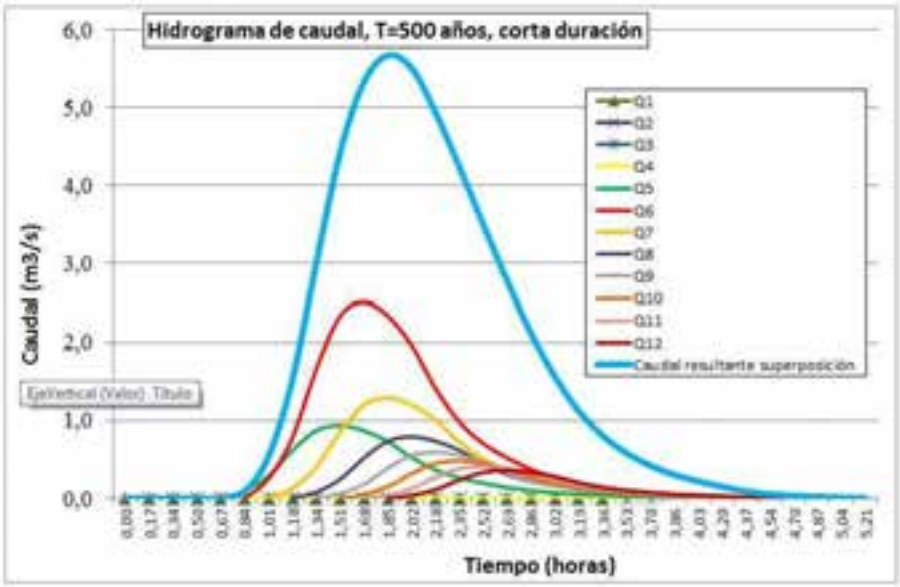


Gráfico 10. Ejemplo de Hidrograma de caudal para el cálculo del volumen de diseño del depósito.

4. Consideraciones sobre la eficiencia de captación de la escorrentía superficial

El proceso de transformación lluvia–escorrentía en zona urbana presenta una serie de particularidades en relación al mismo proceso en un terreno natural. La gran superficie impermeable presente influye en la generación de escorrentía reflejada en términos de caudal especifico (caudal / superficie de la cuenca) y la existencia de una red de drenaje artificial con puntos localizados de entrada de agua en la red condiciona el esquema de cálculo de los caudales de diseño.

Los periodos de retorno que se suelen considerar en zonas urbanas están comprendidos entre 5 y 25 años. Como orden de magnitud se puede indicar que en poblaciones urbanas, para lluvias de periodo de retorno de 10 años se llegan a evaluar caudales específicos similares a los obtenidos en cuencas naturales para lluvias de 500 años de periodo de retorno.

La importancia de la distribución espacial de la precipitación depende del tamaño de la cuenca. Para cuencas pequeñas la distribución habitual que se considera es la uniforme. Yen y Chow (1969) concluyeron que una tormenta en movimiento produce caudales punta similares a los que produciría una tormenta equivalente, pero de tipo estacionario. Sin embargo, los volúmenes de hidrograma sí que pueden variar de manera más significativa por lo que en estudios de depósitos de retención, como es el caso que nos ocupa, donde el volumen de hidrograma es determinante para el diseño, se puede indicar que la metodología podría llegar a sobreestimar el volumen.

Con el estudio hidrológico se ha determinado la cantidad de agua que se transforma en escorrentía superficial para cada uno de los escenarios de partida.

Es importante considerar que los cálculos para la laminación del depósito parten de la hipótesis de que todo el volumen de agua de escorrentía superficial generado se introduce en la red de saneamiento, es decir que los elementos de captación (imbornales, rejas, etc.) tienen una eficiencia del 100%. La realidad demuestra que las eficiencias son inferiores. Por tanto, sería interesante analizar este hecho más en profundidad de cara al diseño definitivo de la red de saneamiento para evacuar los caudales evaluados y para el diseño definitivo del depósito de tormentas, para que las dimensiones de la red y del depósito mantengan una coherencia.

Los caudales de escorrentía deben introducirse en la red de drenaje en los puntos de captación previstos.

Los fabricantes y proveedores proporcionan numerosos datos sobre el comportamiento estructural de las rejas de los sumideros, pero no lo suelen hacer sobre su capacidad hidráulica para la captación de caudales.

Se denomina eficiencia de captación de la reja al cociente entre el caudal interceptado realmente y el caudal de paso por el área contributiva correspondiente de la calle.

La eficiencia del elemento de captación depende del caudal de agua circulante, de la pendiente longitudinal y de la pendiente transversal de la calle.

En la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña se han realizado ensayos de laboratorio para distintas tipologías de rejas de captación para una calle de 3 metros de anchura con un rango de pendientes longitudinales entre 0 y 10 por ciento y de pendientes transversales entre 0 y 4 por ciento. Se ha comprobado que para valores de caudales circulantes inferiores a 0,05 m^3/s la eficiencia de los elementos de captación alcanza valores entre el 60 y el 80 por ciento. Para caudales superiores la eficiencia puede caer a valores del 40 por ciento e incluso inferiores.

Para el dimensionamiento del depósito de tormentas se puede admitir como hipótesis que los elementos de captación de la red de saneamiento tienen una eficiencia comprendida entre el 60 y 80 %, lo que equivale a decir que de todo el volumen de escorrentía superficial, una fracción comprendida entre el 20 y el 40% no va a entrar en la red de saneamiento de aguas pluviales y por tanto no va a acabar entrando en el depósito de tormentas.

5. Análisis de la laminación para el cálculo del volumen de diseño del depósito de tormentas

A continuación se muestra un ejemplo de análisis de la laminación de un depósito de tormentas, en el que se parte de un hidrograma de entrada y una regla de operación de desagüe que tiene en cuenta que el caudal máximo de salida es de 1 m^3/s. Haciendo el balance de entradas menos salidas a lo largo del tiempo es posible obtener la evolución temporal del volumen de depósito necesario y por tanto el volumen de diseño, que se corresponde con el volumen máximo tal y como se ve en el gráfico siguiente:

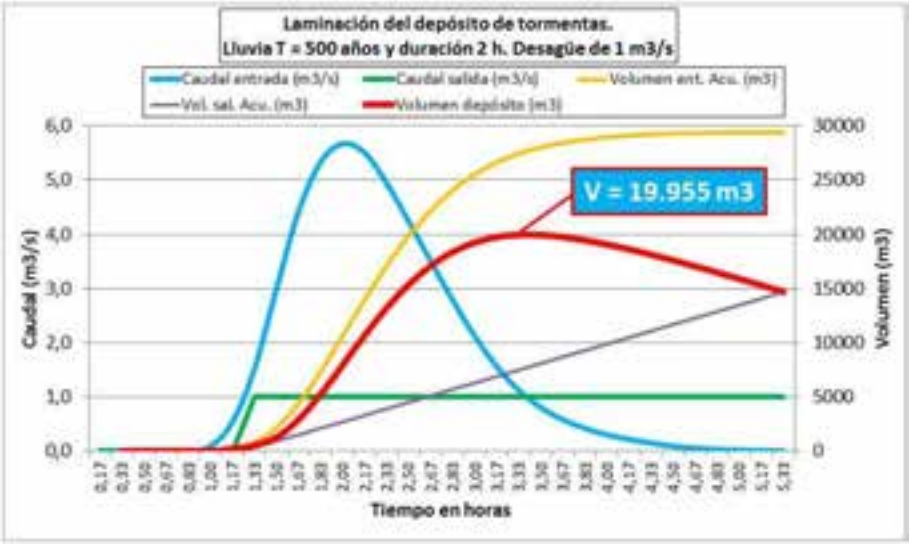


Gráfico 11. Ejemplo de la laminación de un depósito de tormentas para el cálculo del volumen de diseño.

Agua, energía y alimentación. Grandes números, pequeños logros

1. Introducción

El agua y la energía constituyen dos retos de la humanidad en el presente y en el futuro. Ambas son esenciales para la vida y para el desarrollo de los seres humanos. Encontrar soluciones para que todas las personas disfruten de su uso es un problema complejo desde el punto de vista social, ambiental y económico.

Figura 21. Río Segura a su paso por Abarán. Azud de derivación a central hidroeléctrica.

Además el agua es el elemento clave para garantizar la seguridad alimentaria. A escala mundial más del 70% de la demanda de agua dulce se destina a la producción de alimentos.

En la Carta Europea del Agua (Estrasburgo, 1968) ya se manifestaba una preocupación por gestionar de manera eficiente el recurso agua, tanto en cantidad, como en calidad.

En el título del artículo se hace mención a pequeños logros porque todavía quedan grandes retos pendientes y citados en Foros Mundiales del Agua, como son:

- Asegurar el suministro de alimentos.

- Mantener y conservar los ecosistemas.

- Compartir equitativamente los recursos hídricos.

- Gestionar las situaciones de riesgo (inundaciones, sequías, etc.)

- Establecer un precio real y justo para el agua.

- Favorecer el acceso al agua potable y al saneamiento.

Y un largo etc.

Algunas amenazas a las que nos enfrentamos desde este momento, debido al cambio climático, acelerado por las acciones antrópicas, son los eventos naturales extremos de inundaciones y sequías, la pérdida de biodiversidad de los ecosistemas, etc. Y surgen algunos interrogantes con respuestas dispares, por ejemplo:

¿El cambio climático va a exigir más obras de regulación? En caso afirmativo ¿las vamos a mantener y a conservar adecuadamente? ¿Cómo aumentar el suministro de agua, energía y alimentos de forma sostenible? ¿Se puede ahorrar agua sin gastar energía? ¿Cómo? ¿Es posible cambiar el modelo económico con políticas que fomenten el ahorro hídrico y energético?

2. Grandes números a escala mundial

La FAO prevé que habrá que incrementar la productividad agraria en más de un 70% antes del año 2.050 para alimentar a 9.000 millones de personas. Para este horizonte de 2.050 la demanda del agua podría llegar a superar en más de un 40% los recursos hídricos disponibles.

Figura 22. Hace falta agua, energía y tierra para producir alimentos.

Actualmente, y a pesar de los avances científicos y tecnológicos, en el mundo más de 800 millones de personas no tienen acceso al agua potable y pasan hambre de forma crónica. En contrapartida 1400 millones de personas sufrimos sobrepeso.

Más de 2500 millones de personas no disponen de saneamiento adecuado (letrinas apropiadas,…). Y más de 2000 millones de personas dependen de la leña, el carbón y los residuos animales para calentarse, iluminarse y cocinar los alimentos.

Casi el 40% de los habitantes del África Subsahariana no tiene acceso al agua potable y el 70% no tiene acceso a servicios básicos de saneamiento. Cada día, más de 1000 niños menores de 5 años mueren de diarrea causada por la falta de agua potable y saneamiento. Afortunadamente, desde 1990 unos 300 millones de personas han accedido al agua potable. Sin embargo, la falta de inversión y el rápido crecimiento de la población implican que hay ahora más personas sin acceso al agua potable que en 1990. Y el saneamiento se ha quedado todavía más atrás. Por lo tanto, no se van a cumplir los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Por eso hablamos de pequeños logros.

El sector energético (producción y uso de la energía) representa entre el 60% y el 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero que causan el cambio climático.

En la Unión Europea se extraen unos 247.000 hm^3 de agua cada año y más del 40% de los mismos se emplea para producir energía (para la turbinación de caudales, refrigeración de las centrales térmicas, etc.)

El sector de la alimentación es responsable de aproximadamente un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero. La agricultura usa el 30% de la energía en el planeta y más del 70% del agua.

Según Naciones Unidas más del 15% de la población mundial vive en zonas donde la disponibilidad de los recursos hídricos depende del deshielo de las capas de nieve efímeras o de los glaciares perennes.

3. Algunas cifras en España

3.1. Agua

Las inversiones anuales medias en materia de agua suponen un 0,11% sobre el Producto Interior Bruto (puesto duodécimo de la Unión Europea, siendo la media del 0,27%), es decir, unos 1100 millones de euros. En España existe un elevado número de administraciones públicas con competencias en materia de aguas, que junto con la ausencia de un marco regulatorio estable, contribuyen a un modelo de gestión ineficiente, que no atrae inversiones.

La aportación anual de los ríos españoles ronda los 100.000 hm^3 y la recarga anual de los acuíferos se estima en 30.000 hm^3. Un tercio de la población española se abastece de acuíferos.

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE) el 78% del agua disponible para regadío es de origen superficial, el 21% de origen subterráneo y un 1% procede de agua desalada o reutilizada.

El precio medio del agua para uso doméstico ronda 1,6 euros el metro cúbico, sin IVA. Un 60% corresponde al servicio de abastecimiento y un 40% al servicio de saneamiento.

El ciclo integral del agua lo gestionan los municipios, y no se cuenta con disposiciones homogéneas que determinen por ejemplo periodos de vida útiles de los contadores, o el uso del mismo tipo de contadores, o verificaciones de los contadores después de cierto número de años o tras una reparación, etc.

El 22% del agua que se capta en España se destina a refrigeración de instalaciones generadoras de energía.

Desde hace años en España se llevan produciendo robos de agua mediante tomas ilegales de aguas superficiales y subterráneas (a día de hoy se estiman en más de 500.000 los pozos ilegales existentes) y ampliaciones ilegales de regadíos (incluso algunas superficies han contado con subvenciones por parte de las administraciones y se han recalificado para urbanizaciones). Hay que caer en la cuenta de que todo este volumen de agua robado, cuya magnitud real no se conoce, se le está arrebatando a los ciudadanos (pequeños agricultores,…) y al medio ambiente. Ese desgobierno en la gestión del agua que supone no adoptar medidas al detectar robos de agua se tiene que acabar, en pro de la justicia y de la sostenibilidad.

3.2. Energía

En España el mal uso de las presas, de las centrales nucleares y térmicas, del petróleo y del gas, y últimamente de las energías renovables como arma política ha tenido como consecuencia un coste muy alto, es decir, el aumento de la dependencia energética hasta el 80%. Cada año gastamos 50.000 millones de euros en la importación de petróleo. Por lo tanto, la factura energética más importante que tiene España son las importaciones.

El mayor potencial energético que tiene España es el ahorro. Los expertos lo sitúan próximo al 50% del consumo actual.

La producción de energía hidroeléctrica en España supera los 35.000 GWh al año. España ocupa el quinto lugar de la UE en producción hidroeléctrica. De las más de 1200 grandes presas existentes en España, y que regulan unos 55.000 hm^3 anuales, un 40% tienen uso hidroeléctrico.

En España el consumo energético de las etapas del ciclo urbano del agua (captación, potabilización, transporte, distribución, utilización, depuración y vertido al medio natural) representa el 15% del consumo energético del país.

El programa de desalación de Acuamed, con una inversión de 1700 millones de euros, tiene encomendado el desarrollo y explotación de 12 plantas desaladoras, para producir más de 400 hm^3 al año, destinados al abastecimiento humano y al riego. La energía total consumida por las instalaciones de Acuamed existentes en 2013 ha sido de 240 GWh. En una planta desaladora el coste de la energía eléctrica se encuentra entre el 60% y el 75% de los costes de operación y el 85% de los costes variables. Las desaladoras más antiguas tienen un consumo de 5 KWh/m^3 y las más modernas de 3 KWh/m^3.

3.3. Agricultura

La agricultura de regadío ocupa una superficie aproximada de 3.500.000 de hectáreas. En los últimos 15 años y con la modernización de regadíos el sector agrario en España ha reducido el consumo de agua pasando de consumir 24.000 hm^3 a 16.000 hm^3. Todo ello ha supuesto el empleo de más energía para suministrar agua a presión. Y desde 2008 el coste fijo de potencia se ha incrementado en más de un 1.000%.

Además España importa en forma de productos agrícolas unos 20.000 hm^3 de agua virtual anualmente, es decir, agua que se ha generado y que se ha utilizado para producir alimentos en otros países. Este hecho nos convierte en uno de los países de la Unión Europea con mayor huella hídrica, superando los 2300 m^3 por habitante y año, lo que supone que también somos responsables del deterioro de ecosistemas acuáticos en otros países.

En España hemos tenido un déficit de planificación energética, pero también de planificación agraria. En los últimos años empieza a abundar la planificación hidrológica, aunque llega con retraso, y las preguntas que surgen son ¿Se aplicará toda esta planificación? ¿Hay voluntad para hacerlo? ¿De dónde van a salir los 60.000 millones de euros que se necesitan para abordar los programas de medidas de los nuevos planes hidrológicos de cuenca?

4. Propuestas de mejora de la situación actual

¿Qué queremos?

Hoy en día parece que sí se tiene claro que es necesario fomentar y garantizar el ahorro de agua (optimizar el consumo y racionalizar el gasto), la eficiencia energética, la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza, el cuidado del medio ambiente, la conservación de la biodiversidad, el desarrollo sostenible (no endeudar a las generaciones futuras) etc.

¿Cómo lo vamos a hacer?

El cómo hacerlo es más complejo. A continuación se citan algunas propuestas:

1) Abordar el cambio climático: fomentando la educación y concienciación ambiental, reduciendo las emisiones de CO_2, SO_2, NO_x,…, reciclando, etc.

Todavía se conoce poco acerca de cómo será el impacto del cambio climático en el agua. Se necesita conocer el alcance y la localización de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos y elaborar una cartografía sobre la vulnerabilidad de los territorios.

2) Consumir de forma responsable: reduciendo el consumo de productos con gran huella ecológica, apostando por los alimentos que consumen menos agua, energía y emiten menos CO_2, aprovechando mejor los alimentos y no tirándolos (los europeos tiramos una media del 30% de los alimentos que compramos), ahorrando agua doméstica, etc.

3) Producir energía renovable: sustituyendo energías convencionales por renovables, favoreciendo el autoabastecimiento con energía solar y eólica, apostando por la energía hidráulica que es autóctona y garantiza la estabilidad de la red eléctrica debido a las fluctuaciones diarias del consumo (producción de energía renovable en las presas de regulación existentes), etc.

4) Optimizar el consumo de energía: reduciendo la cantidad de energía utilizada en la desalación para obtener agua potable (en Qatar se tiene como objetivo que el 80% de la desalinización de agua se consiga con energía solar y en México se desaliniza agua marina aprovechando la energía del sol, con una eficiencia de 5 litros por cada 60 litros de agua de mar, para abastecer a comunidades con recursos escasos próximas a la costa), aprovechando el sobrante de energía mediante centrales hidroeléctricas reversibles, instalando microturbinas para recuperar los sobrantes de energía en las conducciones vinculadas al ciclo integral del agua, etc.

5) Fomentar la agricultura eficiente: en agricultura es posible ser más eficientes y ahorrar más agua haciendo uso de la llamada “tecnología 3.0”, mediante la elaboración de planes de cultivos para los agricultores y la utilización de sensores para medir la humedad del suelo, el estado de la planta, las variables climáticas, etc. Y todo ello para ajustar el agua que hay que aportar a los cultivos, enviando información al agricultor con las recomendaciones de riego.

También se pueden mejorar los rendimientos empleando sistemas que generen sombra para reducir la temperatura y la evaporación y conservar la humedad del suelo.

La captación y almacenamiento del agua de lluvia y del ambiente será una tendencia que irá a más en el medio plazo por la intensificación de las sequías.

6) Construir de forma responsable y mantener y conservar las infraestructuras: Hay que construir las infraestructuras que sean verdaderamente necesarias para el interés general definido en la planificación a medio y largo plazo; y no para satisfacer las necesidades de las empresas constructoras y de los partidos políticos en el corto plazo.

En España, un número importante de infraestructuras no se mantienen y no se conservan adecuadamente. Es necesario tomar conciencia de la importancia que tiene el mantenimiento de las infraestructuras. Es fundamental que estas obras, que tanto esfuerzo han costado, duren muchos años y se garantice su correcto funcionamiento, así como la seguridad de la población. Invertir en conservación de infraestructuras existentes supone importantísimos beneficios para el futuro desde un punto de vista social, económico y ambiental.

7) Medir bien el agua que se consume y poner un precio justo al agua: el agua es el recurso más barato de todos los bienes de consumo sujetos a control metrológico. Una adecuada medición es importante para alcanzar una gestión eficiente del recurso. Un precio real del agua estimula la eficiencia y permite la recuperación de costes. En algunos países de la Unión Europea el precio del agua asciende a 5 euros el metro cúbico. En el caso de España sería necesario implantar una metodología nacional de obligado cumplimiento para el cálculo de las tarifas del agua urbana y del agua para el regadío.

8) Planificar: una correcta planificación hídrica, energética, agraria y urbanística permite que el crecimiento y el desarrollo no vayan por delante de la disponibilidad de recursos hídricos o energéticos o de la capacidad de depuración y de reutilización de los recursos hídricos, una vez que han sido utilizados.

9) Favorecer el acceso al agua potable y al saneamiento: el acceso al agua potable y al saneamiento son fundamentales para que la población pueda salir de la pobreza.

Finalizamos el artículo con las palabras de Alexander Mueller, Director General Adjunto de la FAO, y que nos invitan a la reflexión:

"Tanto los medios de vida de la comunidades rurales como la seguridad alimentaria de las poblaciones urbanas se encuentran amenazados… Pero los pobres rurales, que son los más vulnerables, podrían verse afectados de forma desproporcionada."

Estudios de inundabilidad

1. Introducción

Para la realización de un Estudio de Inundabilidad se toma como referencia la Normativa vigente que aplica en la zona de estudio.

En el caso que se va a exponer la Normativa está constituida por el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA), que se aprobó en el año 2003 y cuya revisión tuvo lugar diez años después, es decir, en el 2013.

El PATRICOVA establece las zonas del territorio que presentan peligrosidad de inundación y define los niveles de peligrosidad y el riesgo de inundación asociados.

Este Plan de Acción Territorial concibe un Estudio de Inundabilidad completo como un documento que consta de una delimitación precisa del Ámbito de Estudio, de un Estudio Geomorfológico, de un Estudio Histórico, de un Estudio Hidrológico, de un Estudio Hidráulico, de una Cartografía de Peligrosidad y de Riesgo de Inundación y de una propuesta de Medidas Correctoras para reducir el nivel de peligrosidad producido por las inundaciones.

Figura 23. Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana.

2. Reunión de lanzamiento de los trabajos

Previamente al inicio de los trabajos del estudio de inundabilidad, es conveniente realizar una reunión de lanzamiento con el cliente y con la Administración competente tanto Autonómica (Consellería de Infraestructuras,…) como Estatal (Confederaciones Hidrográficas,…) con el objetivo de establecer las líneas de trabajo fundamentales.

Algunos de los temas de interés que se deben tratar son:

1) El ámbito geográfico propuesto.

2) La escala de la cartografía para la elaboración del modelo digital del terreno.

3) Recopilación de la documentación existente incluyendo las cartografías del dominio público hidráulico (DPH), de las zonas de policía, de las zonas de servidumbre y de las zonas de flujo preferente (ZFP).

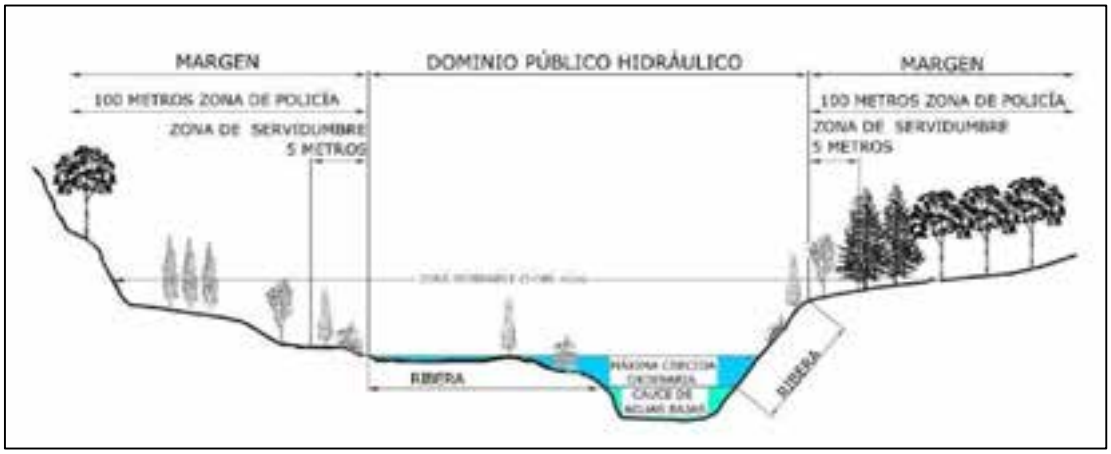


Figura 24. Dominio Público Hidráulico y márgenes del río con zonas de policía y de servidumbre.

4) Los puntos de cálculo de los hidrogramas de entrada para el modelo hidráulico.

5) Si el estudio hidráulico se realiza en régimen permanente gradualmente variado o en régimen transitorio, o si el modelo a utilizar es unidimensional, bidimensional, etc.

3. Cartografía y delimitación del ámbito de estudio

La cartografía se puede obtener a partir del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV) que es la entidad de la Generalitat creada para impulsar el conocimiento del territorio y el avance tecnológico de la información geográfica de la Comunidad Valenciana, hoy utilizada en ámbitos tales como las infraestructuras, el medio ambiente, la gestión de emergencias, la planificación territorial, los recursos agrícolas, etc.

Entre las diferentes aplicaciones del portal del Instituto Cartográfico, se encuentra el Terr@sit, que permite realizar un vuelo virtual por toda la Comunitat Valenciana con la posibilidad de descargar la información en el navegador.

Desde esta página http://terrasit.gva.es/es/descargas se puede acceder al mapa topográfico de toda la Comunitat y a un modelo digital del terreno (MDT).

La cartografía utilizada en un estudio de inundabilidad resulta ser una información fundamental que va a condicionar la calidad final de los resultados del mismo, ya que constituye uno de los datos de entrada al modelo hidráulico, de manera que los resultados del cálculo hidráulico sean acordes con la escala de trabajo y los requerimientos definidos en la Normativa vigente. A continuación se definen las principales características de la cartografía a emplear:

El Modelo Digital del Terreno (MDT) que se puede utilizar es el correspondiente al vuelo fotogramétrico digital realizado con vuelo LIDAR en 2009, enmarcado en el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), con tamaño de píxel de 0,25 m y densidad de puntos LIDAR 0,5 puntos/m^2.

El MDT se caracteriza por tener un paso de malla de 1 metro. Inicialmente el fichero comprimido descargado desde la página web del ICV tiene formato ERS (la extensión de archivo ERS pertenece a la categoría Archivos GIS. El nombre completo de este formato de archivo es ER Mapper Data File)

Es importante definir desde un principio el Sistema de Referencia Geodésico utilizado. En el caso que se expone es el ETRS89. La proyección cartográfica es UTM en el huso 30. El código EPSG a utilizar es el 25830.

De esta manera se obtiene un fichero ráster del MDT. El MDT se utilizará como dato de partida para la definición de la geometría del ámbito del estudio de inundabilidad, necesaria para la realización del cálculo hidráulico.

En cuanto al Sistema de Referencia Altimétrico, el origen de altitudes será el referido al nivel medio del mar en Alicante.

Para la elaboración de los planos del estudio de inundabilidad se puede emplear la cartografía territorial a escala 1:5000 de la Comunidad Valenciana y la ortofoto del año 2012 a escala 1:5000, de 50 cm de tamaño de pixel y formato ECW.

Figura 25. Cartografía del Instituto Cartográfico Valenciano (ICV). Portal Terr@sit.

La finalidad de la elección y delimitación del ámbito es la realización de un estudio de inundabilidad que refleje la realidad de las inundaciones de la zona de interés, la posible afección a la zona y la propuesta de medidas correctoras que ayuden a reducir el nivel de peligrosidad de las inundaciones.

4. Visitas de campo

La realización de visitas de campo al ámbito de estudio es muy importante. Y es que en la cartografía no se ven detalles de interés y cuya consideración es determinante en los resultados del cálculo hidráulico del estudio de inundabilidad. Estos detalles sí que se aprecian sobre el terreno. Además la interpretación de la cartografía mejora tras haber recorrido el terreno.

Los puntos de interés visitados se pueden plasmar en un reportaje fotográfico explicativo.

5. Estudio geomorfológico

Con el Estudio Geomorfológico es posible determinar una aproximación de la extensión potencial de la inundación y la existencia de vías de flujo desbordado principales, todo ello a partir de la cartografía geológica y geomorfológica de la zona, a partir de fotointerpretación con fotografías aéreas históricas (vuelo americano de 1956,…) y a partir de visitas de campo al terreno. De esta manera es posible localizar puntos singulares, averiguar el trazado de los cauces en el pasado, comparar con respecto a la situación actual, etc.

El Estudio Geomorfológico permite analizar formas y procesos de desbordamiento en cauces y tomar conciencia de que, en determinadas ocasiones, la evacuación de las crecidas está dificultada por la urbanización del espacio y la desaparición de algunos cauces.

Una primera fuente de información es el mapa geomorfológico de España, a escala 1:1.000.000, del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Una segunda fuente de información la constituye el mapa geológico de España, a escala 1:50.000, del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Para el caso de la Comunidad Valenciana también se puede recurrir al mapa geocientífico de la Provincia de Valencia, del año 1986, a escala 1:200.000, del Servicio de Recursos Geológicos de la Diputación Provincial de Valencia.

Al realizar comparativas entre el estado actual, por ejemplo a través de la ortofoto del año 2012 y el vuelo americano de 1956 suele destacar el cambio de los usos del suelo que han tenido lugar en los últimos 50 años. Es decir, conforme han ido pasando los años, también han aumentado el número de obstrucciones al paso del agua a través de infraestructuras lineales para el transporte y construcción de edificaciones, donde antiguamente existía mayoritariamente suelo agrícola.

6. Estudio histórico

Es necesario realizar un estudio de las inundaciones históricas para apoyar y confirmar los resultados del estudio geomorfológico y como elemento de calibración de la hidrología y de la hidráulica, es decir, como orden de magnitud.

El análisis de episodios de inundaciones ocurridos anteriormente permite entender los mecanismos de inundación de la zona de estudio.

Probablemente los usos del suelo habrán cambiado y lo normal es que en la actualidad el número de obstrucciones al paso del agua (infraestructuras lineales de transporte, edificaciones,…) sea mayor que en la antigüedad, lo que suele agravar la problemática de las inundaciones en la zona.

Además de la cartografía histórica y de las fuentes bibliográficas que se puedan consultar, algo fundamental es el hablar con las personas mayores del lugar, especialmente con aquellas que han vivido la experiencia de las riadas en la zona. Estas experiencias suelen albergar una sabiduría que arroja luz para la realización del diagnóstico de la problemática de inundaciones y para las posibles soluciones que se propongan con la finalidad de reducir el nivel de peligrosidad.

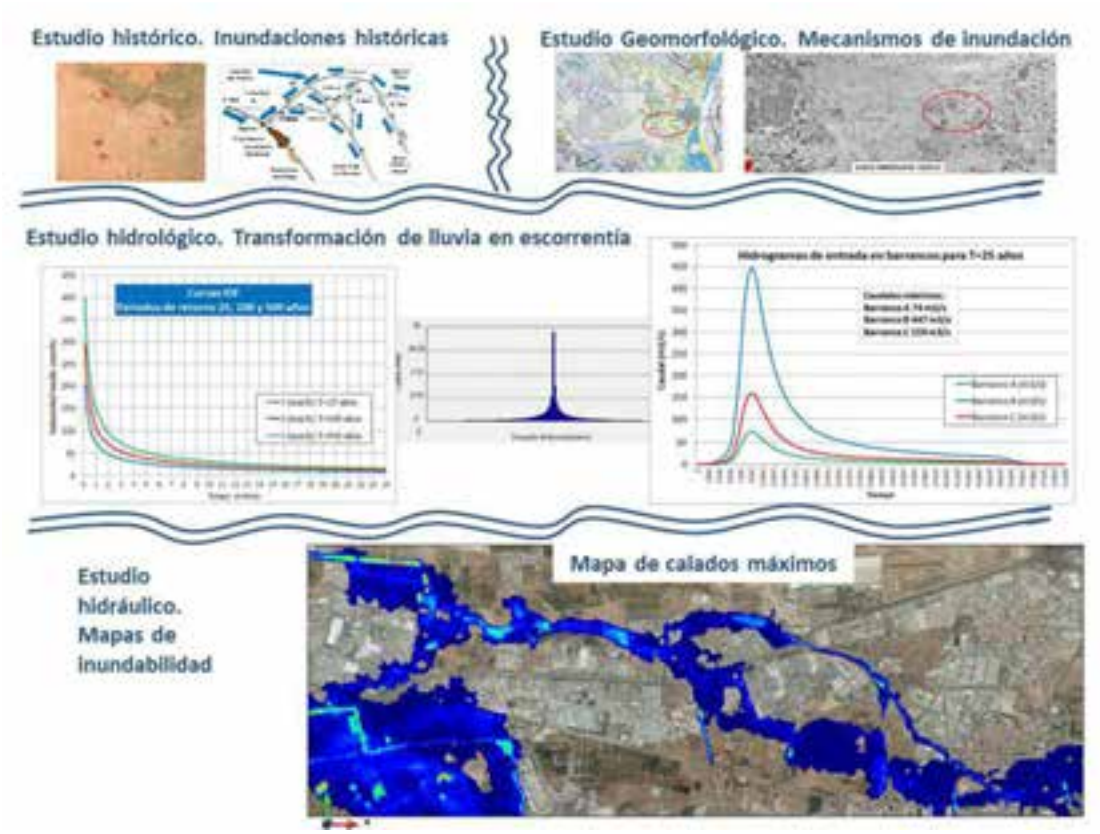


Figura 26. Esquema de los estudios histórico, geomorfológico, hidrológico e hidráulico.

7. Estudio hidrológico

El objetivo del Estudio Hidrológico es determinar los hidrogramas para los periodos de retorno de 25, 100 y 500 años especificados en la normativa, para cada uno de los cauces que realizan su entrada en el ámbito del Estudio de Inundabilidad.

Como punto de partida es importante consultar y analizar los estudios previos existentes, así como disponer de unos datos de precipitaciones de calidad y oficiales y de unos usos del suelo actualizados.

Si los datos de partida son buenos y la metodología empleada es la adecuada, por ejemplo a través de un método hidrometeorológico, lo normal es que los resultados sean buenos.

Un libro muy interesante y que puede ser de ayuda para el planteamiento de la metodología a emplear es:

"Ferrer Polo F. Javier, 2000. Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. Centro de Estudios Hidrográficos."

Un programa que se suele emplear y que está contrastado es el Hydrologic Modeling System (HMS) del Hydrologic Engineering Center (HEC) del US Army Corps of Engineers.

El programa se puede descargar pinchando en el siguiente link:

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx

8. Estudio hidráulico

El Estudio Hidráulico permitirá delimitar la extensión de la inundación para cada escenario y obtener los mapas de inundabilidad (mapas de calados máximos) con la finalidad de elaborar los mapas de peligrosidad de inundaciones y los mapas de riesgo de inundación.

En ocasiones la complejidad del comportamiento hidráulico del área de estudio con flujos con características bidimensionales, debido a la inexistencia de cauces en algunas zonas, implica realizar el estudio hidráulico de la situación actual así como de la situación futura, con un modelo hidráulico bidimensional en régimen transitorio.

Para el Estudio Hidráulico se puede hacer uso del programa Iber que permite llevar a cabo un análisis bidimensional en régimen no permanente.

Iber es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no-permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial. El rango de aplicación de Iber abarca la hidrodinámica fluvial, la simulación de rotura de presas, la evaluación de zonas inundables, el cálculo de transporte de sedimentos y el flujo de marea en estuarios.

El modelo Iber consta de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de Iber, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de Saint Venant 2D).

Para realizar un cálculo con Iber se deben seguir los siguientes pasos:

1) Crear o importar la geometría,

2) Asignar condiciones de contorno e iniciales,

3) Asignar los parámetros de entrada (rugosidad del fondo,…),

4) Asignar opciones generales de cálculo (tiempo de cálculo, parámetros del esquema numérico,…)

5) Construir una malla de cálculo,

6) Lanzar el cálculo,

A continuación se puede observar la asignación de un caudal total a través de un hidrograma en régimen subcrítico en uno de los barrancos que entran en el ámbito de estudio.

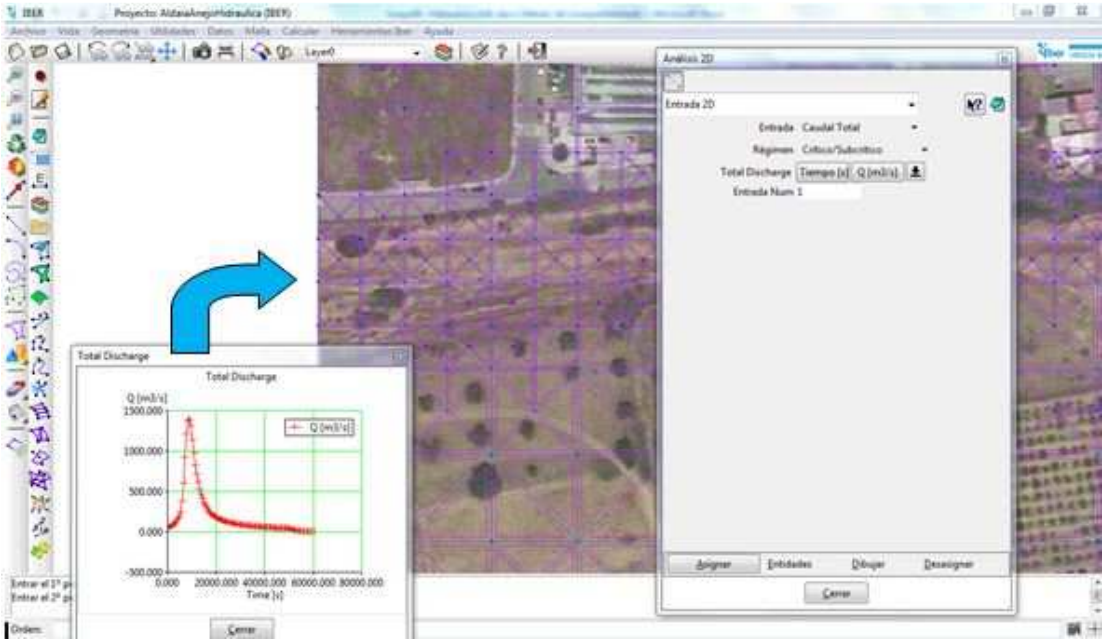


Figura 27. Condición de contorno de entrada a través de hidrograma en una rambla. Caudal total y régimen subcrítico.

El cálculo hidráulico se realiza para cada uno de los seis escenarios que contempla la normativa vigente, es decir:

Escenario 1: Estado actual y periodo de retorno 25 años.

Escenario 2: Estado actual y periodo de retorno 100 años.

Escenario 3: Estado actual y periodo de retorno 500 años.

Escenario 4: Estado proyectado y periodo de retorno 25 años.

Escenario 5: Estado proyectado y periodo de retorno 100 años.

Escenario 6: Estado proyectado y periodo de retorno 500 años.

El modelo hidráulico Iber se puede descargar en el Aula de Iber, en la siguiente dirección:

http://iberaula.es/web/index.php

9. Cartografía de peligrosidad y riesgo de inundación

La cartografía refleja a una escala adecuada la peligrosidad de cada zona frente a las inundaciones, caracterizando tanto la frecuencia de las mismas como la magnitud de la variable hidráulica calado.

La cartografía de peligrosidad desarrollada en el Estudio de Inundabilidad permite definir las zonas de inundación del ámbito de estudio y distinguir los niveles de peligrosidad significativos del 1 al 6, tanto para el estado actual como para el estado proyectado.

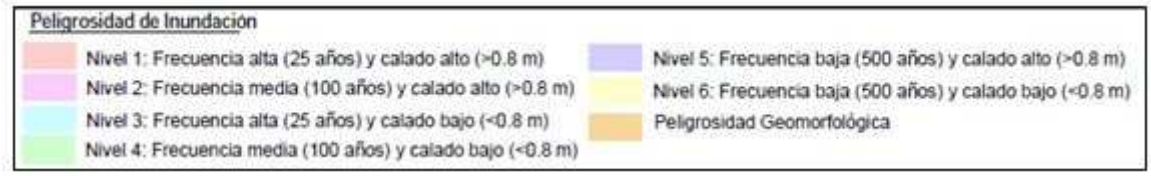


Figura 28. Niveles de peligrosidad por inundación. Fuente Planos Revisión PATRICOVA 2013.

El avance en el desarrollo de nuevas cartografías, así como, de la tecnología de cálculo ha permitido disponer a día de hoy de una cartografía de usos de suelo como es el SIOSE.

SIOSE es el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España, cuyo objetivo es integrar la información de las Bases de Datos de coberturas y usos del suelo de las Comunidades Autónomas y de la Administración General del Estado. La dirección web es la siguiente:

http://www.siose.es/siose/index.html

A partir de la cartografía de los usos de suelo y de los mapas de peligrosidad obtenidos en el estudio de inundabilidad se elaboran los mapas de riesgo de inundación para conocer las consecuencias de las avenidas sobre las zonas con nivel de peligrosidad (poblaciones, industrias, infraestructuras, etc.)

La realización de una cartografía de riesgo de inundación es un paso previo a la puesta en práctica de cualquier tipo de medida y, por lo tanto, esencial para poder llevar a cabo una gestión eficaz de las zonas inundables.

10. Medidas correctoras

El objetivo de las medidas correctoras es que ayuden a reducir el nivel de peligrosidad de las inundaciones en la zona y al mismo tiempo, no deben empeorar la situación aguas abajo o aguas arriba de la actuación.

La aplicación de medidas estructurales y no estructurales permitirá reducir daños humanos y materiales ocasionados por las inundaciones.

Ejemplos de medidas no estructurales son: el deslinde de los cauces para evitar su ocupación, trabajos cotidianos de mantenimiento de las infraestructuras como limpiezas, etc.

Ejemplos de medidas estructurales son: encauzamientos, la ejecución de un muro de defensa,…

La realización de todos los apartados anteriores permitiría elaborar un estudio de inundabilidad completo en el marco de la Normativa vigente, y que en este caso ha sido el PATRICOVA.

Las sequías y la producción hidroeléctrica en España

El 5 de julio de 1944, Ricardo Rubio informa al consejo:

"*En el año actual ha sido preciso adelantar el periodo de restricciones en el consumo de energía, y, si las circunstancias no cambian, estas restricciones habrán de ser en término breve mucho más radicales. El aumento del consumo, la pertinaz sequía que pesa sobre toda la nación, la escasez de carbón para aprovisionamiento de térmicas y factores varios agudizan el problema y el Ministerio, ante la gravedad de la situación, viene adoptando medidas de rigor que las empresas tratan de observar escrupulosamente.*"

Archivo de Iberdrola, CASD, acta de 5/07/1944.

Figura 29. Azud de derivación a central hidroeléctrica de Nicolás en Abarán (Murcia)

1. Introducción

La producción hidroeléctrica en España experimenta descensos a lo largo del tiempo, y uno de los motivos lo constituyen las sequías. Y es que la escasez de precipitaciones se traduce en una reducción del agua embalsada y/o en una reducción del caudal circulante en los ríos.

En el gráfico siguiente se observa como en los años 1992, 2005 y 2012 la producción de energía hidráulica en España fue inferior a 20.000 Gwh.

Gráfico 12. Evolución de la energía hidráulica anual y de las reservas en España.

En el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 30 de junio de 1992, la producción hidroeléctrica fue de 7874 Gwh y en el mismo periodo de 1991 la energía producida fue 16.805 Gwh, lo que supone un descenso del 53,1% y la causa, la sequía.

La producción hidroeléctrica en España en el periodo 1990 - 2013 está comprendida entre el 7 y el 25% de la energía eléctrica total producida (generación neta), según datos de Red Eléctrica de España.

En el gráfico siguiente se observa como en los años 2005 y 2012 el porcentaje de producción de energía hidráulica respecto a la generación neta de energía en España fue mínimo, con valores del 7,55% y 7,24% respectivamente:

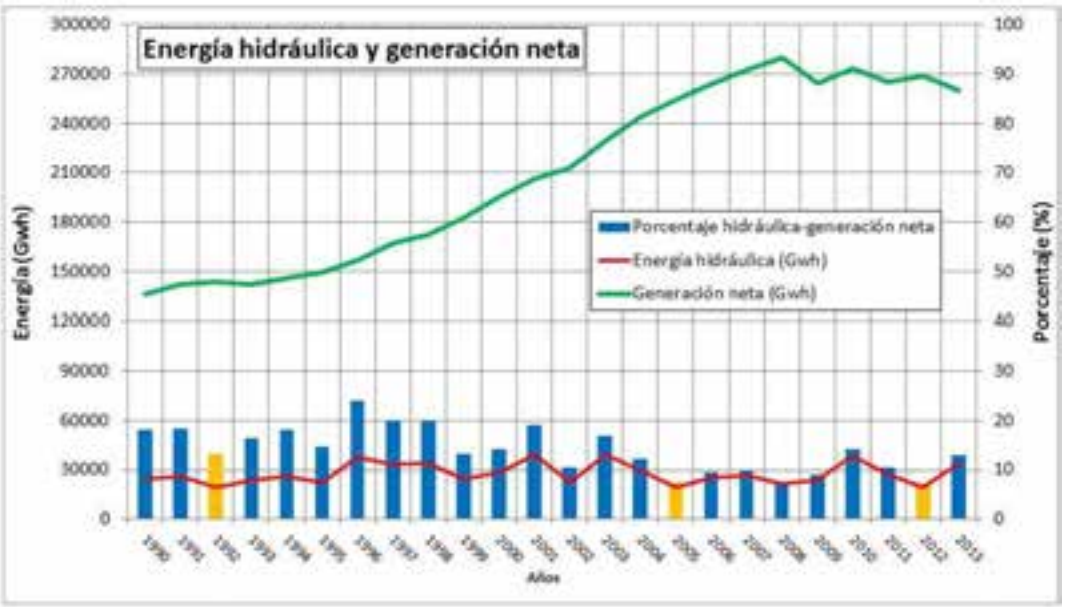


Gráfico 13. Evolución de la energía hidráulica anual y de la generación neta.

Fuente de datos: Red Eléctrica de España (REE)

http://www.ree.es/es/publicaciones/indicadores-y-datos-estadisticos/series-estadisticas

La evolución de la energía eléctrica en España ha sido creciente en el periodo 1990 – 2008. En el año 2008 se alcanza el máximo de generación neta anual con un valor de 280.048 Gwh. Sin embargo, la participación de la energía hidroeléctrica en el total de la energía eléctrica producida ha ido disminuyendo.

2. Sequía y cortes en el suministro de energía

El funcionamiento de la energía hidroeléctrica depende de las lluvias. Los embalses experimentan una reducción de sus existencias durante períodos de sequía. Esto supone una reducción en la generación de energía por parte de las plantas hidroeléctricas, lo que puede llegar a provocar cortes en el suministro eléctrico.

En España los primeros apagones por incapacidad productiva se produjeron en 1944. La peor época correspondió a los años 1944 – 1950 y, en concreto, los peores años fueron 1945 y 1949, con restricciones importantes.

La iniciativa privada no llegó a tiempo de evitar las restricciones energéticas que padeció España en aquella época. De esta forma, la incapacidad de atender la demanda eléctrica se alargó hasta 1957 y respondía a diversos motivos. Las causas principales que se apuntan para explicar la restricción eléctrica de la posguerra son:

1) La “pertinaz sequía”;

2) La ausencia de “unidad de explotación”, es decir, de una red única;

3) La congelación de las tarifas;

4) El propio aumento del consumo.

5) Enfrentamientos de intereses: a las empresas distribuidoras les convenía el máximo incremento de producción posible mientras que al principal productor le preocupaba ante todo garantizar la salida de su producción.

6) La construcción de nuevas centrales también fue frenada por la escasez de materias primas y de divisas, que caracterizó a aquellos años.

La principal empresa productora de electricidad de la época era Saltos del Duero. Sus competidoras Hidroeléctrica Española e Hidroeléctrica Ibérica.

La “pertinaz sequía” hizo su aparición en las actas de las reuniones de Saltos del Duero el 1 de septiembre de 1943 y ya no desapareció a lo largo del año que le quedaba de vida societaria hasta su fusión con la Ibérica.

El 16 de marzo de 1944, se elevó a la Jefatura de Industria de Vizcaya una comunicación en la que se indicaba que, en opinión de Duero, debía limitarse la producción de energía para no tener problemas de abastecimiento futuros, y por ello debían aplicarse restricciones al consumo cuanto antes.

El 31 de marzo de 1944 se dice que "como la sequía general continúa pertinazmente, se han comenzado las restricciones de suministro de energía en Bilbao". Y en el verano estalla con toda su fuerza el problema de las restricciones, que ya no abandonarán a España definitivamente hasta más de un decenio después, con déficits que rondaron el 30% de la demanda total estimada en algunos años, como 1945 y 1949.

3. Impacto de la sequía hidrológica en el sector hidroeléctrico

Si la región donde se instala una central hidráulica sufre una sequía hidrológica, el ritmo de producción de energía hidroeléctrica disminuye. Es uno de los inconvenientes de la producción hidroeléctrica.

En Berga, a principios de los años treinta, tuvieron lugar fuertes fluctuaciones en el coste del agua. Estas obedecían a las variaciones en el régimen del caudal del río que servía a la central de Berga. La producción disminuía durante los meses de sequía. Las variaciones interanuales eran tan severas que en años secos los costes de la fuerza motriz llegaban a quintuplicarse. Según las Memorias de la Compañía, las sequías fueron importantes en al menos tres años del periodo 1928 – 1933.

La evaluación del impacto económico, asociado al déficit hídrico en el área productiva hidroeléctrica, resulta compleja de determinar.

La relación entre el aumento del coste de generación y la naturaleza de la sequía es compleja, por diversas razones: en primer lugar, la sequía no afecta por igual todas las áreas donde se ubican las mayores reservas de agua para generación. En segundo lugar, la sequía puede ser más o menos severa en sí misma, y en tercer lugar, la sequía se producirá partiendo de un estado de embalses inicial. Estos aspectos determinan si el efecto de la sequía es significativo sobre la producción hidroeléctrica.

Las sequías hidrológicas tienen efectos económicos negativos tanto sobre los productores como sobre los consumidores. Interesa determinar la pérdida social del déficit de agua y de energía. Los efectos de pérdida social son, por una parte, los efectos inmediatos sobre los costos de la generación de la energía: al disminuir el caudal en las centrales hidroeléctricas y bajar los niveles de los embalses, la demanda debe ser satisfecha por un número mayor de centrales térmicas, que operan a un mayor costo. Por otro lado, hay un costo de fallo, cuando la energía no alcanza a cubrir la demanda.

El desplome de la producción hidroeléctrica por la escasez de agua es una de las causas que lleva a las compañías eléctricas a elevar la producción mediante otros sistemas.

Por ejemplo, el día 9 de agosto de 2011 el 37,2% de la electricidad que se generaba en España venía de centrales térmicas o de ciclo combinado, por encima del 24,1% de la eólica y del 22,2% de la nuclear, mientras la hidráulica representaba un 4,8%.

La producción hidroeléctrica descendió por la sequía que azotó a la península en el año 2011. Según datos de producción de Red Eléctrica de España, el producible hidráulico en España se situó en 22.506 GWh, un 18 % inferior al valor medio histórico y un 38 % menor que el registrado en el 2010, que fue de 36.174 Gwh. El año 2010 destacó por elevadas aportaciones hidrológicas a las cuencas, que se tradujeron en una elevada producción hidroeléctrica. Según datos de REE las reservas hidroeléctricas del conjunto de los embalses finalizaron el año 2011 con un nivel de llenado del 52 % de su capacidad total, frente al 66 % del año anterior.

En este año 2011 la situación de sequía que padecían los ríos de la cuenca del Ebro causó un desplome de la producción hidroeléctrica y obligó a las compañías eléctricas a elevar la producción con centrales térmicas y de ciclo combinado.

Sin embargo, la realidad demuestra que el déficit hídrico de las cuencas no se puede correlacionar linealmente con el descenso de la producción hidráulica, aunque los porcentajes de reducción sean similares.

4. Propuestas para atenuar los efectos de las sequías hidrológicas sobre la producción hidroeléctrica

La escasez de agua ya genera impactos negativos en el sector energético en muchos lugares del mundo. Las sequías recurrentes y prolongadas amenazan la capacidad hidroeléctrica de muchos países como Sri Lanka, China, Brasil, Venezuela,… y también España.

Entre las medidas preventivas que se proponen, para atenuar los efectos de las sequías hidrológicas sobre la producción hidroeléctrica, destacan:

1) Tomar conciencia de las necesidades hídricas de los proyectos energéticos para reducir la vulnerabilidad a las limitaciones en la disponibilidad de agua.

2) Planificar y gestionar de manera integral los recursos hídricos y energéticos mejorando las herramientas y las soluciones técnicas disponibles para evaluar las consecuencias económicas, ambientales y sociales de las limitaciones hídricas en los planes de expansión de la producción de energía.

3) Desarrollar instrumentos técnicos innovadores y directrices con el fin de ayudar a los países a gestionar sus recursos hídricos y energéticos de manera sostenible.

5. Referencias bibliográficas

1) Gómez, E., 1991. Las sequías. Disminución de la energía hidroeléctrica y efectos consecuentes. Revista de la Real Academia de Ciencias, Tomo 85, núm. 2-3, pp. 315-332.

2) Bartolomé Rodríguez, I., 2007. La industria eléctrica en España (1890 – 1936). Estudios de Historia Económica Nº 50.

3) Espejo Marín, C., García Marín, R., 2010. Agua y energía: producción hidroeléctrica en España. Investigaciones Geográficas, nº 51 pp. 107-129. ISSN: 0213-4691. Instituto Interuniversitario de Geografía. Universidad de Alicante.

4) Thirsty Energy: Asegurar la provisión de energía en un mundo donde la disponibilidad de agua es limitada (29-08-2013)

http://www.bancomundial.org/es/topic/sustainabledevelopment/brief/water-energy-nexus

5) Díaz Morlán, P., San Román, E. Causas de la restricción eléctrica en el primer franquismo: Una aportación desde la historia empresarial. Universidad de Alicante. Universidad Complutense de Madrid.

Sequías en la España peninsular y medidas de prevención para atenuar sus efectos

1. Introducción

El registro oficial de las series meteorológicas en España comenzó alrededor de 1850. Desde entonces, España ha sufrido sequías importantes que han afectado a gran parte de la península, las más recientes en los periodos 1941-1945, 1979-1983, 1990-1995 y 2005-2008, con duraciones que oscilan entre los 4 y los 6 años.

Figura 30. Embalse del Moro. Vista del vaso desde la coronación de la presa.

En los últimos treinta años se han presentado sequías intensas y persistentes. Las sequías de la década de los 80 han sido de larga duración y baja intensidad. La sequía de la primera mitad de los 90 afectó a la mayor parte de las cuencas peninsulares, con valores de lluvia reducidos, especialmente en los años hidrológicos 1993/94 y 1994/95. Y en la primera década del tercer milenio, se ha producido en España una sequía con un déficit de precipitaciones especialmente intenso durante el año 2004/05.

Alicante ha registrado este año 2014 el dato más bajo de precipitación de la red de estaciones de la España peninsular, acumulando una cantidad de lluvia de 70 mm en los últimos 365 días (desde agosto de 2013). Se trata de la peor sequía en 150 años, que está arruinando el secano y obligando a arrancar árboles.

Hasta la fecha, el récord lo tenía Murcia que en 1945 registró un valor de precipitación anual de 89 mm.

Los registros meteorológicos oficiales de los últimos 150 años, que están afectados por la quema de combustibles fósiles, no son suficientes para entender la variabilidad climática natural. Por tanto, las previsiones de ciclos de sequías que se realicen, basadas en estos datos, se caracterizarán por tener una incertidumbre significativa.

No obstante, mediante el análisis de documentos históricos se pueden encontrar datos meteorológicos que permitan identificar periodos de sequía anteriores a 1850. De hecho, recientemente se han hallado documentos que relatan importantes sequías en Al-Ándalus en los periodos 748-754, 812-823 y 867-879 en los que se encuentran referencias a hambrunas asociadas, que incluso hicieron que la gente emigrara hacia el norte de África.

2. Marco legal

En España existe un sólido marco legal para hacer frente a situaciones de sequía, aunque este marco necesita actualizarse. Téngase en cuenta que, para la elaboración del Plan Hidrológico Nacional (PHN, 2001) se trabajó con las medias de las series de datos de los últimos 50 años. En consecuencia, no fue tenida en cuenta la recesión en los valores de las series de los últimos años. Por ejemplo, en la estimación de los caudales se ignoró la reducción de escorrentía superficial debida a la reforestación de las cuencas de cabecera y que implica más evapotranspiración y más infiltración.

A) Legislación estatal

La Ley 10/2001 de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional ha establecido las bases para una gestión planificada de las sequías.

En su artículo 27 Gestión de las sequías, en el apartado 1, se señala que se establecerá un sistema de indicadores hidrológicos para la declaración formal de situaciones de alerta y eventual sequía y dicha declaración implicará la entrada en vigor de los planes especiales de actuación a que se refiere el apartado 2 del citado artículo.

Los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, aunque con retraso, se elaboraron y se aprobaron en 2007, a través de la Orden MAM/698/2007, de 21 de marzo en los ámbitos de los planes hidrológicos de cuencas intercomunitarias.

Y en el apartado 3 se cita el deber de redactar los Planes de Emergencia ante situaciones de sequía, por parte de Las Administraciones públicas responsables de sistemas de abastecimiento urbano que atiendan a una población igual o superior a 20.000 habitantes.

El Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA, 2001), en su artículo 58 Situaciones excepcionales, cita como tales las sequías extraordinarias y la adopción de las medidas necesarias para la superación de estas situaciones.

En cumplimiento del citado artículo se han desarrollado medidas legislativas y normativas en nuestro país. Un ejemplo lo constituye la puesta en marcha de baterías de pozos de sequía en la Cuenca del río Segura.

B) Legislación europea

La Comisión Europea (CE) presenta, a través de su normativa, directrices con la finalidad de que se apliquen a la gestión de los problemas de escasez de agua y de sequía, en el ámbito de la Unión Europea.

La Directiva 2000/60/CE del parlamento europeo y del consejo de 23 de octubre de 2000, (Directiva Marco del Agua, DMA) por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, supone un giro sustancial en el enfoque tradicional de la sequía.

La DMA sitúa el énfasis en la calidad del agua, en sus funciones ambientales y en el uso sostenible de la misma y establece el marco para contribuir a paliar los efectos de las sequías e inundaciones y garantizar el suministro suficiente de agua en buen estado.

3. La nueva planificación hidrológica y la sequía

La sequía es un fenómeno natural característico en la península Ibérica que necesita de planificación para minimizar sus impactos.

El modelo de Planificación adaptado a los objetivos de la DMA supone pasar de la "gestión del recurso" a la "gestión del ecosistema", pasar de las "estrategias de oferta" a las "estrategias de gestión de la demanda" y pasar de un "enfoque tecnocrático" a un "enfoque participativo".

Las principales herramientas con las que cuenta la Administración para la planificación y gestión de sequías son:

A) Planes Especiales de Sequía de los Organismos de cuenca

El objetivo general de los Planes Especiales de Sequía (PES) es, según lo establecido en el artículo 27.1 de la Ley 10/2001, minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales de eventuales situaciones de sequía.

Los PES de cada organismo de cuenca incluyen sistemas de indicadores del estado hidrológico que permiten identificar y caracterizar las sequías hidrológicas. Es importante realizar un seguimiento continuo de la evolución de los indicadores, pues una tendencia a la baja en sus valores puede ser indicativa del comienzo de un nuevo ciclo de sequía, lo cual permite anticipar las medidas y actuaciones a aplicar con la finalidad de minimizar los efectos de las sequías.

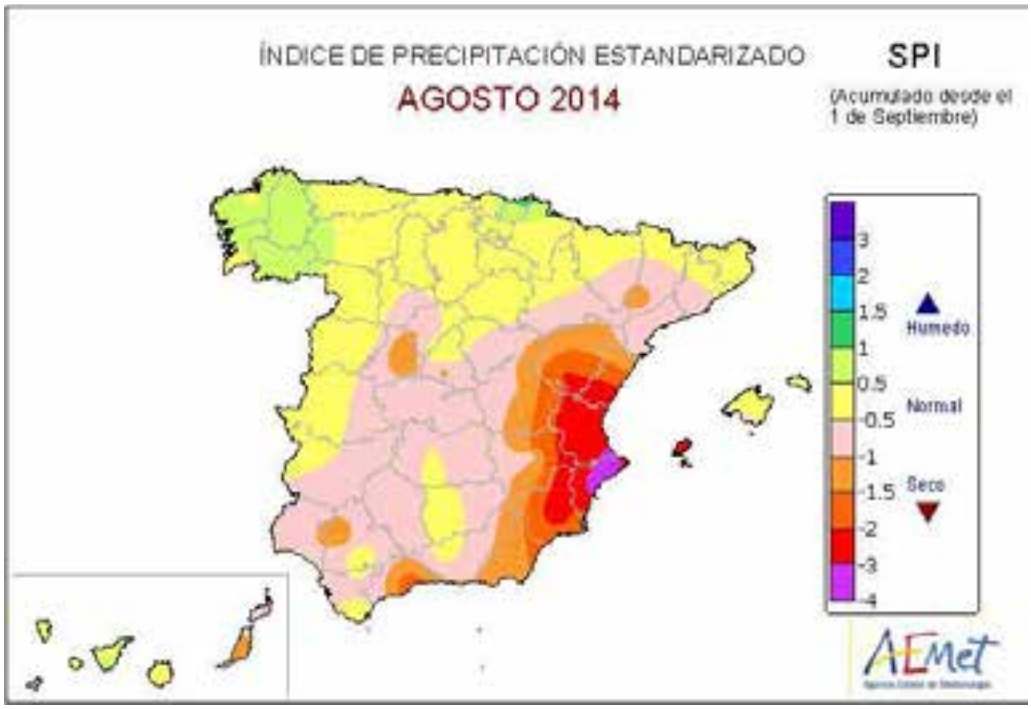


Figura 31. Índice de Precipitación Estandarizado (septiembre de 2013 a agosto de 2014). Vigilancia de la sequía meteorológica. Fuente AEMET

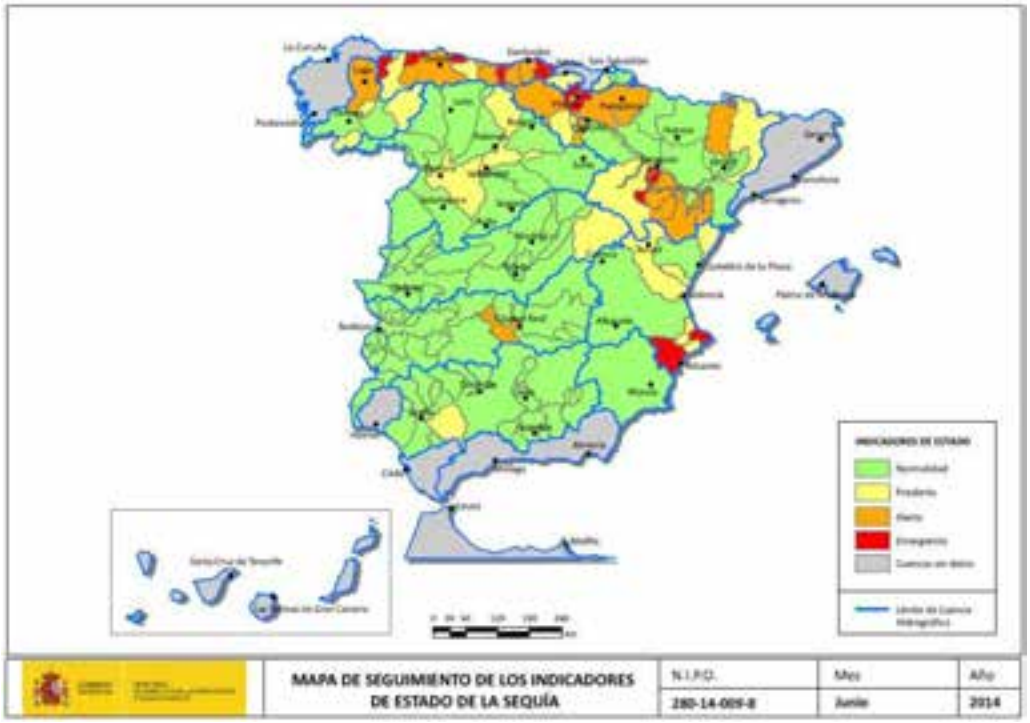


Figura 32. Indicadores de estado de la sequía (junio de 2014). Mapa de seguimiento. Fuente MAGRAMA. Observatorio Nacional de la Sequía (ONS)

B) Planes de emergencia para los abastecimientos urbanos mayores de 20.000 habitantes

Como apoyo al proceso de planificación se redactó la "Guía para la elaboración de planes de emergencia por sequía en sistemas de abastecimiento urbano", elaborada por la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS), en colaboración con la Federación Española de Municipios y Provincias y el anterior Ministerio de Medio Ambiente.

El objetivo principal de la guía es asegurar que todos los planes de emergencia respondan a un criterio unificado y homogéneo de forma que la identificación de las situaciones de riesgo por insuficiencia o incapacidad de los sistemas respondan a los mismos principios y criterios. El borrador del documento se puede obtener en la siguiente dirección:

http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/guia_elaboraci%C3%B3n_planes_emergencia_tcm7-197482.pdf

C) Planes Hidrológicos de los Organismos de cuenca

La gestión de las sequías en el marco de la nueva planificación general supone introducir la sequía en los planes hidrológicos de cuenca como un escenario a tener muy en cuenta y realizar un análisis del riesgo existente, todo ello en concordancia con lo establecido en los PES.

Sin embargo, los planes hidrológicos, recientemente aprobados en España, incluyen nuevas infraestructuras, principalmente presas, que no cumplen con varias de las exigencias de la DMA y que no están debidamente justificadas, según ha expuesto Jorge Rodríguez, técnico de Medio Ambiente de la CE. Este técnico argumenta que la parte de los planes que asigna recursos y planifica obras está desconectada de la evaluación del estado ecológico de los ríos, y que en cuestiones como "caudales ecológicos", "no deterioro" o "recuperación de costes", España NO está haciendo los deberes.

Entonces surgen varias cuestiones ¿los nuevos planes de cuenca recuperan el espíritu del PHN de 2001, apostando por la construcción de grandes infraestructuras para vender agua? ¿Se está incumpliendo lo que se refiere al cálculo de nuevos caudales ambientales que garanticen el buen estado ecológico? ¿El régimen económico financiero establecido por la legislación española en materia de aguas, es suficiente para cumplir en materia de recuperación de costes? ¿Está garantizada la utilización de los fondos europeos del periodo 2014-2020?

4. Impactos ambientales, sociales y económicos de las sequías

Si los gobiernos no invierten en infraestructuras, en mantenimiento de las mismas y en la gestión del agua, la previsión del Banco Mundial es que la intensidad de las sequías se incrementará de aquí a 2050, con efectos graves para la población.

La sequía de 1990-1995 acarreó restricciones al abastecimiento de agua de 11 millones de personas en la península.

En las últimas décadas se ha observado una importante reducción en las aportaciones hidrológicas a los principales embalses de gestión de las cuencas hidrográficas españolas (Lorenzo-Lacruz et al., 2012)

A) Impactos ambientales

Los ecosistemas están naturalmente adaptados a períodos de sequía; sin embargo, el deterioro que sufren como consecuencia de las presiones a las que están sometidos, los hace más vulnerables a períodos de sequía.

Los impactos de la sequía sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres son difícilmente valorables en términos monetarios. Pero se deben tener en consideración a la hora de diseñar medidas de prevención y mitigación de impactos.

Sirva como ejemplo que, debido a la sequía los niveles de salinidad del agua se vuelven insoportables para los peces y les falta el oxígeno. De hecho, más de treinta toneladas de peces muertos han sido retirados de humedales de Calpe, Santa Pola y Elche este verano (2014).

B) Impactos sociales y económicos

La creciente presión de la actividad humana sobre el recurso agua hace que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica, con pérdidas crecientes.

La anticipación en la aplicación de las medidas de prevención es un elemento clave en la reducción de los efectos socioeconómicos de la sequía.

Hay que tener en cuenta que las medidas implementadas para prevenir o paliar los daños provocados por la sequía generan un coste económico en forma de gasto público, que es atribuible también a la sequía. Es importante conocer el coste y también la eficacia de las medidas destinadas a la atenuación de los efectos de las sequías.

La información existente sobre los impactos económicos de la sequía es escasa. Los estudios existentes se centran fundamentalmente en las pérdidas sufridas por el sector agrario y por la producción hidroeléctrica.

Los impactos sobre los abastecimientos urbanos se traducen en pérdidas de bienestar social como consecuencia de las restricciones impuestas. También se traducen en impactos económicos directos sobre el sector de la hostelería que no puede desarrollar su actividad, al cien por cien, en situaciones de restricciones, y sobre las familias que deben comprar agua embotellada para el consumo en estas situaciones. La ausencia de información dificulta la estimación de la magnitud de estos impactos directos.

A pesar del carácter prioritario de los abastecimientos, no existe una estimación completa del coste de las medidas puestas en marcha para hacer frente a situaciones de desabastecimiento. La información disponible es dispersa e incompleta, por lo que la eficacia de las medidas es difícil de valorar.

También los usos lúdicos y recreativos que dependen de los ríos (turismo, navegación, pesca, etc.) se ven directamente afectados por la escasez de agua; sin embargo estos impactos no han sido valorados de forma sistemática.

Estos usos presentan una creciente importancia socioeconómica, por lo que deberían ser considerados a la hora de establecer estrategias de prevención y mitigación de daños por sequía.

5. Medidas de prevención para atenuar los efectos de las sequías

La mayoría de las medidas puestas en marcha va encaminada a hacer frente a las posibles situaciones de escasez de recursos en los abastecimientos urbanos o en los usos agrícolas. Otros usuarios del agua como el medio ambiente o los usos recreativos no son tenidos en cuenta en el diseño de estrategias de prevención y mitigación de daños por sequía.

Se presenta una serie de medidas de prevención con la finalidad de minimizar el impacto de las sequías venideras y afrontarlas con mayores márgenes de disponibilidad de recursos.

1) Establecer un precio real de los servicios de agua.

Un precio que refleje mejor el coste de suministro y los impactos sociales y medioambientales, sin socavar las necesidades básicas de los pobres y los desfavorecidos.

Para ello, los tramos básicos de una tarifa urbana, por bloques crecientes, deben permanecer en precios asequibles y en los tramos altos la tarifa a pagar debe reflejar la escasez existente o previsible, para activar las opciones de ahorro y eficiencia disponibles para los usuarios.

2) Aplicar con rigor el principio de recuperación de costes.

El principio de recuperación de costes se debe aplicar con rigor a todos los usos, y en especial a cualquier expectativa de nuevos desarrollos.

El desarrollo de nuevos regadíos en zonas de escasez de agua pone en peligro el cumplimiento de los objetivos ambientales de la DMA y debilita la capacidad de gestión de los ciclos de sequía.

Se trata de frenar el crecimiento de nuevas actividades que sólo son viables con aguas subvencionadas.

3) Fijar regímenes ambientales mínimos adecuados.

Los nuevos planes hidrológicos de cuenca proponen regímenes de caudales ecológicos calculados con una base científica que está pendiente de revisión y mejora en los próximos años. En algunos casos, los regímenes de caudales propuestos reproducen débilmente la variabilidad natural de los caudales históricos dentro del año hidrológico, respondiendo más al régimen alterado que impone la elevada regulación existente en los ríos.

Existen trabajos con metodologías basadas en el análisis de estiajes y crecidas en ríos, que utilizan datos históricos de caudales en régimen natural, con el objetivo de proponer nuevos regímenes de caudales mínimos. Se comprueba que los caudales mínimos obtenidos de esta forma son representativos de la variabilidad natural de los ríos a escala mensual, tanto en situaciones de sequía, como en situaciones de normalidad.

Véase por ejemplo el trabajo al que apunta el siguiente enlace:

http://www.tecnoaqua.es/articulos/20140404/articulo-tecnico-planificacion-hidrologica-regimenes-caudal-rios#.VBb6z5R_utZ

4) Abordar un proceso de revisión y actualización concesional.

Las prioridades y objetivos ambientales de la DMA exigen un proceso de revisión y actualización concesional. El proceso debería ir precedido de adecuados cambios en el marco legal que lo faciliten.

Es necesario introducir criterios que flexibilicen las concesiones, especialmente las hidroeléctricas, para ampliar los márgenes de gestión de las sequías.

Las inversiones públicas destinadas a financiar la modernización de regadíos y las redes urbanas deben ir acompañadas de revisión concesional y de aumento de garantía en sequía.

Se ha de superar el sentido de apropiación incondicional de la concesión por parte de los usuarios que se ha asentado en la conciencia social y en la tradición administrativa, y aplicar un criterio independiente, por parte de la Administración hidráulica, de reajuste de derechos concesionales a niveles eficientes.

En ocasiones, la inercia de los derechos adquiridos dificulta llegar a acuerdos razonables que resuelvan los problemas de escasez de recursos hídricos.

En la actualidad siguen existiendo comunidades de regantes que disponen de aguas subterráneas que no usan, porque disfrutan de concesión de aguas superficiales subvencionadas.

5) Controlar más las aguas subterráneas.

Constituir comunidades de usuarios en el ámbito de las aguas subterráneas es clave para que sean los propios usuarios quienes activen controles para un uso sostenible de los acuíferos.

Es importante que sólo puedan ofertar caudales quienes dispongan de concesiones legales. Este hecho contribuye a ordenar la gestión y a establecer un control eficaz que evite nuevas perforaciones.

Está pendiente hacer un censo que refleje la situación real de las aguas subterráneas en España.

6) Elaborar un plan de reconversión del sector del regadío.

La disminución de superficie regada necesita un plan de retirada progresiva, voluntaria y con compensaciones, tanto para regadíos de baja productividad como para zonas salinizadas. Se trata de asegurar un regadío más rentable.

Desde los años 80, los instrumentos de planificación territorial apuntan a una necesidad de reducir regadíos de cítricos. No significa necesariamente abandonar los campos, sino un cambio de cultivo.

7) Practicar una agricultura de precisión y de eficiencia.

Hoy día se dispone de herramientas para predecir con precisión las necesidades hídricas agrícolas, con la finalidad de aumentar la sostenibilidad y la eficiencia de la agricultura.

Mediante un sistema de sensores y válvulas es posible controlar la necesidad de riego de los cultivos evitando gastar más agua de la debida. Esta solución ahorra agua, evita la erosión del suelo y genera beneficios tanto medioambientales como económicos.

En definitiva esta tecnología favorece la elaboración de un plan de riego que permite a los agricultores decidir si es necesario verter más agua al terreno.

Se trata de lograr que el productor sea viable aun en épocas de sequía. No hacerlo dependiente a través de subvenciones, que pueden producir el efecto contrario.

8) Garantizar capacidades de regulación hiperanual.

Si en años de normalidad se abusa de los recursos regulados (acuíferos, embalses,…) este hecho constituye una fragilidad del sistema de explotación ante sequías.

La Administración hidráulica debe garantizar capacidades de regulación plurianual, cuyo coste debe reflejarse en las tarifas ordinarias, para garantizar normalidad en ciclos de sequía ordinarios.

Para ello es necesario controlar el uso del agua regulada en años de normalidad y no gastar de forma imprudente.

Nuestros embalses suelen cubrir estrategias de regulación anual. Se trata de optimizar las capacidades reguladoras desde perspectivas de regulación plurianual que permitan tratar con normalidad ciertos periodos de sequía.

Una estrategia de regulación plurianual encarece el coste del metro cúbico regulado, que deberá contrastarse con los beneficios esperables para que pueda justificarse.

9) Gestionar de forma integrada los acuíferos y los recursos superficiales.

Una forma interesante es mediante la realimentación artificial de acuíferos en periodos húmedos.

En situaciones de sobreexplotación de acuíferos se deben reducir los usos habituales a niveles que permitan respetar las reservas, en años de normalidad, para poder gestionar los años de sequía.

En casos de infrautilización de acuíferos se deben preservar en cantidad y calidad como reservas estratégicas para la gestión de sequías.

10) Crear un sistema de seguros adecuado contra la sequía.

Se trata de regular y prever capacidades financieras que permitan compensar los impactos de las sequías intensas o de los ciclos prolongados de sequías, allí donde no es posible disponer de agua o es excesivamente caro reservar caudales o generar nuevos recursos.

El riesgo de sequías extraordinarias debe prevenirse mediante sistemas de seguros que se paguen en años de normalidad por parte de los interesados. La Administración debería establecer la correspondiente normativa e incentivar a los interesados a contratar los seguros.

11) Aplicar una política de ordenación del territorio con sentido común.

Se trata de condicionar el desarrollo urbanístico a la disponibilidad de agua y de limitar la construcción urbanística dispersa, apostando por modelos más eficientes y orientados al uso sostenible del recurso agua.

Es preciso hacer las reformas legales necesarias para que todo permiso de nueva urbanización requiera de forma vinculante el certificado de disponibilidad de caudales por parte del organismo responsable de la gestión. La certificación de disponibilidad de caudales debería incluir la garantía de abastecimiento en periodo de sequía.

Recordemos que el crecimiento del regadío ilegal y el crecimiento urbanístico descontrolado pueden conducir a la insostenibilidad.

12) Reutilizar más agua.

El vertido de los retornos a los ríos, tras un adecuado tratamiento, cubre una función ambiental muy importante.

Los esfuerzos de regeneración y reutilización de caudales deben permitir reducir los consumos globales, liberando tales ahorros para mejorar la garantía del abastecimiento y el estado de ecosistemas y acuíferos, y no dedicarse a desarrollar nuevos usos.

Apuntar que en España, según datos del Instituto Nacional de Estadística, el porcentaje de reutilización del total de aguas que se producen en las EDAR es inferior al 2%.

Resulta interesante la instalación de doble red en los nuevos desarrollos urbanísticos, por normativa municipal, ya que permite cubrir buena parte de los usos con caudales regenerados a costes asequibles que pueden amortizar las inversiones en la doble red.

13) Desalar con eficiencia.

El desarrollo de nuevas tecnologías de membranas semipermeables está haciendo emerger nuevas opciones que permiten obtener agua de calidad por desalación de aguas marinas de forma eficiente. Una propuesta interesante consiste en aplicar la energía solar para alimentar desaladoras de electrodiálisis.

14) Captar, drenar y gestionar el agua de lluvia.

Es recomendable el drenaje separado de las aguas de lluvia contaminadas y su tratamiento natural en humedales artificiales, antes de verterlas a los ríos.

Apostar por la permeabilización de superficies urbanas y la captación del agua de lluvia en aljibes, por normativa municipal, en todo nuevo desarrollo urbanístico. Medidas también a incentivar en zonas ya urbanizadas, por ejemplo reduciendo la tarifa del agua a ciudadanos, comercios e industrias que adoptan tales medidas.

Además de reducir los problemas de degradación de los ríos y de reducir los riesgos de inundación, se generan reservas suplementarias (aljibes, humedales artificiales, infiltración a acuíferos,…) que contribuyen a reducir los riesgos de sequía.

15) Fomentar programas de ahorro de agua en usos urbanos e industriales.

A pesar de que suponga un porcentaje reducido del total de agua que se consume. No es tanto la cantidad como el tomar conciencia por parte de la población.

De media, en una red de abastecimiento de agua potable en España, de cada 100 litros, al menos 20, se pierden en forma de fugas.

16) Efectuar una educación pública permanente sobre la sequía.

La promoción de una cultura de ahorro de agua mediante actividades de información, educación y formación que permitan sensibilizar tanto a las empresas como a los consumidores.

Estos programas deberían ser permanentes y no sólo coyunturales, en situaciones de emergencia.

Los objetivos: posibilitar la participación ciudadana en la puesta en marcha de los planes de emergencia y hacer comprender a la ciudadanía la necesidad de desarrollar estrategias para reducir los efectos de las sequías.

17) Fortalecer las asociaciones de usuarios.

Una adecuada organización de los usuarios disminuye la necesidad de intervención estatal y crea conciencia de la responsabilidad local e individual. Si se fortalecen las organizaciones de usuarios, podrán planificar y ejecutar las medidas de contingencia durante una sequía de forma más eficaz.

18) Facilitar las negociaciones entre usuarios.

Se trata de activar mecanismos que faciliten la reasignación rápida y eficaz del recurso entre usuarios a través del arriendo de derechos o la venta de volúmenes de agua.

19) Potenciar y rentabilizar el Observatorio Nacional de la Sequía (ONS).

Para aglutinar y coordinar realmente a todas las administraciones hidráulicas españolas con competencias en materia de aguas, con el fin de constituir un centro de conocimiento, anticipación, mitigación y seguimiento de los efectos de la sequía en el territorio nacional.

http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/

6. Conclusiones

España ha sufrido sequías importantes que han afectado a gran parte de la península, las más recientes en los periodos 1941-1945, 1979-1983, 1990-1995 y 2005-2008. En los últimos treinta años se han presentado sequías intensas y persistentes.

En España existe un sólido marco legal para hacer frente a situaciones de sequía, aunque este marco necesita actualizarse.

El diseño y aprobación de los Planes Especiales de Sequía ha supuesto un cambio significativo enfocado a la prevención de impactos y a la adaptación al riesgo de sequía. Ahora bien ¿los Planes Especiales de Sequía evitarán los conflictos entre los usuarios del agua y la Administración hidráulica? La respuesta a esta pregunta la tendremos en el siguiente ciclo de sequía.

A día de hoy, tan sólo unos pocos municipios españoles disponen de un Plan de Emergencia ante situaciones de sequía. Es importante apuntar que ante situaciones de emergencia por sequías, la improvisación se suele traducir en medidas poco eficientes y costosas para la población.

Si se realizan actuaciones planificadas se dispondrá de sistemas de explotación adecuados y se mantendrán las demandas de agua en límites razonables.

Se han presentado una serie de medidas de prevención con la finalidad de minimizar el impacto de las sequías venideras y afrontarlas con mayores márgenes de disponibilidad de recursos.

La prevención de sequías debe basarse en la planificación hidrológica y debe tener en cuenta el principio de precaución ante la incertidumbre que introduce el cambio climático.

El ahorro de agua generado por la reutilización y por la modernización de redes urbanas y de riegos debe traducirse en la recuperación de caudales ambientales y en aumentar la garantía en periodos de sequía.

7. Referencias bibliográficas y enlaces de interés

A continuación se muestra un listado de referencias bibliográficas y enlaces a sitios web de interés relacionados con la sequía:

1) Comité de expertos en sequía, 2005. La sequía en España. Directrices para minimizar su impacto. Ministerio de Medio Ambiente.

2) Comunicación de la Comisión 414/2007, de 18 de julio. Afrontar el desafío de la escasez de agua y la sequía en la UE.

3) Herrero Miñano, R. 2014. La nueva planificación hidrológica y los regímenes de caudales ambientales en los ríos. Revista Tecnoaqua.

4) Noticia 16 de agosto de 2014: Los planes hidrológicos del Gobierno no se ajustan a la normativa europea.

http://www.eldiario.es/sociedad/Agua-rios-planes-Europa-normativa-Espana_0_292220970.html

5) Noticia 3 de septiembre de 2014: La península ibérica sufrió tormentas tropicales en el siglo XVIII y duras sequías en el periodo musulmán.

http://www.agenciasinc.es/Noticias/La-peninsula-iberica-sufrio-tormentas-tropicales-en-el-siglo-XVIII-y-duras-sequias-en-el-periodo-musulman