

*EMBALSES: ALTERACION Y  
REGULACION DE CAUCES*

RAFAEL SALAS MARTÍNEZ\*

La existencia del hombre, como la de cualquier otro ser vivo, ha estado ligada a la posibilidad de disponer de agua. A lo largo de las diferentes etapas evolutivas de la civilización, esta dependencia ha sido en aumento. En su etapa de cazador, el agua le permite apagar su sed y le proporcionaba cazaderos adecuados donde acechar a sus presas. Cuando se convirtió en pastor necesitó agua no sólo para él sino también para su ganado. Al fijar su residencia y convertirse en agricultor, la posibilidad de agua suponía no sólo garantizar la recolección de sus cosechas, sino además aumentar la producción de las mismas, esto hizo posible liberar a miembros de la sociedad de la necesidad perentoria de asegurar la subsistencia de la comunidad y por lo tanto se pudieron dedicar a otras tareas que desarrollaron la civilización. En su desarrollo industrial el agua le proporcionó la energía motriz que sustituyó a la muscular, alcanzando potencias hasta entonces nunca logradas. Posteriormente, gracias a la energía eléctrica, esa potencia se pudo transportar de manera que el lugar de su utilización no tenía que estar forzosamente situado junto al curso de agua que la generaba. Al mismo tiempo esa sociedad demandó mayores comodidades y al disponer de las máquinas adecuadas, su primer anhelo fue contar con la distribución domiciliaria que les liberara de acudir al pozo o fuente pública así como de disponer de una red de evacuación de sus desechos, todo esto supone necesidades crecientes de agua.

En la actualidad, la humanidad no sólo trata de garantizar los niveles de bienestar ya alcanzados en los que los volúmenes necesarios de agua son cada día mayores para beber, garantizar las cosechas que alimente a una población mayor, para la sanidad de sus ciudades, producción de energía, procesos industriales, refrigeración de las mismas,

\* CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL GUADIANA (Badajoz).

etc., sino que además es más frecuente la utilización del agua con fines puramente recreativos, como la navegación, baño, pesca fluvial, etc.

Está claro pues el interés del hombre por contar con una fuente segura de abastecimiento de agua, pero el agua como todos los fenómenos naturales se presenta de forma discontinua, hay épocas en que las corrientes se incrementan de forma sorprendente, de manera que inundan los terrenos circundantes destruyendo lo que encuentran a su paso y otras en que los ríos se secan haciendo padecer sus consecuencias a todos sus usuarios. Estas circunstancias llevó al hombre a tratar de almacenar el agua creando los embalses, para lo cual construyó diques en los cauces fluviales, diques que imaginamos que en un principio serían arrasados por las aguas periódicamente y vueltos a rehacer.

La primera presa de la que se tiene noticia es la de Marduk (el Nemrod de la Biblia), rey fabuloso de la antigua Caldea. Esta presa estuvo construida a través del Tigris, y se derrumbó a fines del siglo XIII o a primeros del XIV de nuestra era. Parece, por las noticias que de esta presa se tienen, en virtud de una inscripción en una lápida de arcilla, que era de tierra, y se construyó al abrigo de una estructura de madera que debió quedar incluida en la misma presa. No se tiene idea de sus dimensiones.

La presa de mampostería más antigua, de que nos habla la Historia, es la construida por MENES, primer rey de la primera dinastía egipcia, unos cuatro mil años antes de J.C. Estaba situada unos 19 km. al sur de Menfis y desviaba el Nilo del lugar en que MENES construyó la ciudad indicada. La fábrica empleada fue sillería, como indican las ruinas y dice HERODOTO. No se conocen las dimensiones de dicha construcción; pero del ancho del río y altura de sus márgenes, se puede suponer que tendría 450 metros de longitud y unos 15 m. de altura. Se conservó esta presa por más de cuarenta y cinco siglos, y se derrumbó en tiempo de la dominación de los califas, cuando, abandonada aquélla, las inundaciones cubrían periódicamente la parte baja de Menfis, y se arruinaron entonces la mayor parte de los antiguos monumentos, o fueron sepultados en el fango del río.

Muchas otras presas se construyeron en Egipto en época anterior a nuestra Era. Entre ellas, es clásica la que permitió la formación del lago Maeris (1740 años antes de J.C.). Tenía este lago una capacidad de unos 3.000 millones de metros cúbicos, y su construcción empleó el trabajo de varias generaciones de obreros.

Los antiguos pueblos asiáticos también construyeron numerosos embalses. El lago creado por la reina Necrotis podría recibir durante veintidós días todo el caudal del Eufrates.

En la India, los embalses se cuentan por millares; algunos de ellos proceden de la más remota antigüedad. Sólo en la Presidencia de Madrás, al establecerse los ingleses en la India, había 53.000 embalses, algunos de proporciones colosales. Uno de ellos, el de Poniary, cubre 20.000 hectáreas y tiene 48 km. de contorno. Se destinaban, como los

embalses egipcios, casi exclusivamente para el riego, con el fin de compensar la desigual repartición del agua de lluvia. La mayor parte de las presas de la India tienen poca altura y son de tierra. Sin embargo, entre las presas antiguas existen algunas de gran altura relativa, como la de Cummun, distrito de Guntoor de 30 m. de altura y sólo 90 m. de longitud en la coronación, y la de Nugar, distrito de Mysere, de 26'50 m. de altura, 300 m. de longitud en la coronación y 180 m. de ancho en la base.

En los tiempos modernos se han construido también en la India numerosas presas de embalse, algunas de grandes dimensiones.

En la isla de Ceilán hay más de 700 embalses cuya construcción es antiquísima.

Los romanos construyeron muchas presas, de las que unas han desaparecido por completo, y de otras sólo quedan las ruinas, demostrando que eran construcciones de mampostería. Parece que las dedicaban preferentemente a abastecimiento de poblaciones y a nauaquías.

En España, los romanos, en tiempos de Trajano, construyeron las presas de Proserpina y de Cornalbo (Revista de O.P., 1933, pág. 449), las dos cerca de Mérida y destinadas a su abastecimiento; se conservan en la actualidad, si bien de la conducción romana no quedan más que restos. En su perfil transversal están formadas por muro de hormigón con revestimiento de granito en el paramento en contacto con el agua, y terraplén en el exterior. La primera tiene una altura máxima de 12 m. y una longitud de 426 m. y puede embalsar 3'5 millones de metros cúbicos. La segunda tiene 18 m. de altura, con 222 m. de longitud y posible embalse de 9 millones de metros cúbicos.

Este rápido y sucinto repaso de la historia nos ha demostrado que la construcción de los embalses fue una de las primeras preocupaciones del hombre. Lógicamente el método de dimensionamiento se basaba en la genial inspiración de los Ingenieros de la época, deducida de la observación de los procesos naturales y de las experiencias acumuladas de las generaciones anteriores, y aunque superado hoy en día, no deja de asombrarnos sobre todo si consideramos los medios con que contaban para su construcción.

Pasemos pues a ver cómo se solucionan hoy en día estos mismos problemas.

Un embalse no es ni más ni menos que un depósito de agua, y en él hay que distinguir tres elementos íntimamente relacionados: la cuenca alimentadora del embalse, el terreno natural que sirve de recipiente al agua y la estructura resistente que contiene el agua o presa.

Planteadas la necesidad de almacenar agua y por lo tanto crear un embalse, lo primero que hay que definir con claridad son las necesidades que hay que satisfacer, lo que nos indicará el volumen de agua que se va a utilizar.

Conocido éste, habrá que estudiar la cuenca y ver las posibilidades que tiene ésta de proporcionar ese agua. El agua que circula por los

arroyos y ríos tiene su origen en las lluvias, esto en algunos casos es evidente, en otros no; que sepamos el primero que estableció el ciclo hidrológico fue Leonardo da Vinci. Anteriormente Platón y Aristóteles se habían ocupado del problema, llegando a la conclusión de que la lluvia caída era menor que el agua de escorrentía, y que esa diferencia la suministraban los manantiales subterráneos, los cuales se alimentaban del agua del mar.

En el siglo XVII, un francés, Perrealt, hace medidas relativas a la lluvia caída sobre la cuenca del Sena y su escorrentía, llegando a la conclusión de que ésta es la sexta parte de la lluvia caída, demostrando la hipótesis de Leonardo en contra de la de Platón y Aristóteles.

Por último, Halley, el conocido astrónomo inglés, demostró que la evaporación de los océanos proporcionaba agua suficiente para el caudal de todos los ríos conocidos.

Admitía la dependencia del volumen de agua suministrado por la cuenca de las precipitaciones ocurridas, veamos cómo se puede cuantificar esta aportación en escorrentía.

La mejor forma de estimarlo consiste en realizar mediciones directas del agua circulante, en un período de tiempo cuanto más largo mejor, y a este efecto la administración ha construido una serie de estaciones de aforos en los principales ríos. En el caso de nuestro país, las más antiguas disponen de datos recogidos durante más de 60 años.

De no existir estaciones de aforo o ser éstas muy recientes, de manera que el volumen de datos suministrados sea pequeño; para obtener la aportación del río no hay más remedio que estimarla a partir de los datos de lluvia. Estos se obtienen mediante estaciones pluviométricas, muy repartidas por todo el territorio nacional y con gran abundancia de datos, aunque a veces no muy fiables. Para obtener el porcentaje de lluvia que se transforma en escorrentía superficial, existen métodos más o menos empíricos, que basados en los resultados obtenidos en las cuencas donde ha sido posible comparar los datos de lluvia con la medición directa del caudal, tratan de tener en cuenta los múltiples factores que intervienen, como son forma y dimensión de la cuenca, volumen de precipitación, naturaleza del terreno, pendientes, tipo de vegetación existente, densidad de la misma, tipo de labores de cultivo, capacidad de evapotranspiración, etc. La aproximación de los resultados obtenidos depende de la semejanza de los diferentes factores, con los de la cuenca que sirve de apoyo, no obstante, por regla general suele ser suficientemente buenos para el fin que nos ocupa.

Obtenida la aportación del río en una serie de años hidrológicos, de Octubre a Septiembre, bien por medición directa o bien estimada a partir de las lluvias, se observará que normalmente ésta variará mucho de un año a otro, como corresponde a un fenómeno natural, esto nos introduce un nuevo factor de perplejidad: ¿qué valor hemos de considerar? No tendremos más remedio que recurrir a la estadística y obtener de ella la probabilidad de que se presente una aportación menor

que una considerada, los que nos permitirá determinar el volumen de embalse, que con una garantía dada, sea capaz de satisfacer las necesidades de agua que habíamos previsto. Las garantías exigidas normalmente son superiores al 90%, siendo frecuente llegar al 95% o 99% en casos extremos. Evidentemente, cuanto más se aproximen las necesidades de agua a la aportación media del río, necesitaremos un volumen de embalse mayor para obtener la misma garantía. Se entiende por regulación de un embalse o agua regulada con una garantía determinada, el porcentaje de la aportación media que ese embalse es capaz de asegurar.

Deducido el volumen del embalse necesario, es claro que a la hora de fijar definitivamente su volumen, influirán además otros factores, económicos, sociológicos, ecológicos, técnicos y de la consideración de todos ellos se adoptará la solución final.

De los demás elementos que habíamos considerado anteriormente cuando iniciamos nuestra charla como íntimamente relacionados, cuenca, vaso del embalse y presa, hemos visto ya un aspecto de la cuenca como generadora de los volúmenes de agua que se almacenan en el embalse; de la presa entendemos que este no es el lugar adecuado para su consideración, sólo diremos que como cualquier estructura, sus exigencias fundamentales son el ser razonablemente segura y ser lo más económica posible, veamos ahora qué exigencias se le debe exigir al vaso y qué modificaciones sufren vaso y cuenca por la existencia de un embalse.

Empecemos por el vaso del embalse, ¿cuáles serían sus características deseables? En primer lugar que sea estable, es decir que sea capaz de resistir las nuevas condiciones que la existencia del embalse va a producir. Al embalsar el agua, su efecto más inmediato es modificar el nivel de saturación de estas tierras, esto normalmente lleva consigo una disminución de su capacidad resistente al esfuerzo cortante, esta situación se agrava cuando después de estar saturadas esas tierras, el nivel del embalse baja, sin que por su permeabilidad haya dado tiempo a drenar y adaptarse a la nueva situación, en estos casos, si la resistencia no es la adecuada, las laderas pueden deslizarse, habiéndose dado casos en que estos deslizamientos han producido una ola gigantesca que saltando por encima de la presa, han arrasado parte de ella y el valle situado aguas abajo. Otro efecto del agua embalsada es aumentar el peso que el terreno que compone el vaso ha de soportar, el incremento es de una tonelada por m<sup>2</sup> y metro de altura. Esta sobrecarga puede originar asentamiento de los estratos profundos, dando lugar a un hundimiento del entorno.

Otra característica que es exigible al vaso es que sea impermeable, o al menos dentro de ciertos límites. En función de la naturaleza del terreno, de su estado de alteración y fisuración, el agua que se escapara por infiltración profunda es variable, pero claro está, el volumen de las filtraciones ha de ser suficientemente reducido como para que sea poco significativo respecto del volumen regulado.

Las otras condiciones que cabría exigir, se refieren a aspectos puramente económicos como su topografía, la cual ha de ser tal que nos permita obtener el volumen deseado con una altura de presa adecuada.

Pasemos a considerar ahora el efecto del embalse en la cuenca y cómo reacciona ésta, para la cual seguiremos el curso del agua desde su nacimiento a su desembocadura y observemos sus efectos.

Al caer el agua de la lluvia sobre el suelo, salpica y esparce pequeñas partículas, y se infiltra poco a poco en el terreno. Si la lluvia continúa o su intensidad aumenta, el agua escurre por la superficie del terreno en láminas muy delgadas que arrastran las pequeñas partículas removidas. Esta acción, normalmente pasa desapercibida para el observador común, pero experiencias llevadas a cabo en Norteamérica demuestran su importancia, valorándose en 25 Tm. por año y por acre en terreno desnudo; para un terreno cultivado de maíz, la cifra se reduce a 16 Tm. y baja drásticamente a 75 kg. para las praderas y cultivos herbáceos como la alfalfa, deduciéndose de aquí la gran importancia que tiene el recubrimiento vegetal.

Estas corrientes laminares se concentran, debido a las depresiones del terreno, en arroyuelos y éstos a su vez en corrientes cada vez más importantes, formando en conjunto la red de drenaje de una región.

Observemos ahora una corriente natural y encontraremos cuatro factores íntimamente relacionados:

- 1.º El caudal o volumen de agua que transporta en la unidad de tiempo.
- 2.º Forma y tamaño del cauce.
- 3.º Carga y cantidad de material que acarrea la corriente.
- 4.º Velocidad de la corriente.

La energía de la corriente contenida en un tramo de observación es proporcional al producto de la masa de agua por su desnivel. Esta energía se consume una parte por fricción interna dentro de la propia corriente, otra por fricción con el fondo y paredes del cauce y otra parte en transportar la carga de partículas.

Si como consecuencia de un aguacero el caudal aumenta en un tramo del río, lo primero que se observa es que el nivel del agua crece, y como consecuencia de la geometría del cauce, el agua inunda una extensión superior, al mismo tiempo la velocidad del agua también aumenta. Este aumento de la velocidad del agua origina una mayor turbulencia, que se traduce en una disipación de energía por fricción. El aspecto del agua también cambia, ahora se vuelve lodosa, su explicación al menos parcial, la tenemos al observar que un trozo de terreno de la margen opuesta cae repentinamente y desaparece bajo el agua. La corriente está modificando su cauce de manera que se vuelva a establecer el equilibrio entre los 4 factores anteriormente expuestos. Si ahora observamos esa corriente desde su nacimiento a su desembocadura, vemos que el caudal va aumentando por afluencia de los tributarios; aumenta igualmente el tamaño del cauce, la velocidad y la carga

aunque las partículas que transporta son de menor tamaño. Esto parece un contrasentido, pues está demostrando que el tamaño de las partículas que el agua puede mover es función de la velocidad, por lo tanto, en los tramos inferiores del río debería arrastrar partículas de mayor tamaño. La explicación de este fenómeno se basa en que es en los procesos de avenidas, en los cuales el caudal de un río se multiplica con frecuencia por 100 veces su valor medio, cuando se produce el arranque y remoción de los fragmentos de roca grandes que se depositan en cuanto baja el caudal y por lo tanto la velocidad y el agua ya no es capaz de transportarlos. Estos fragmentos depositados sufren una continua abrasión y desgaste a lo largo de su recorrido, lo que reduce igualmente su tamaño.

Por otro lado, si consideramos la sección de una corriente de forma simplista como un rectángulo, el producto de su ancho por su calado nos dará su superficie. El perímetro sería la suma de su base más dos veces su calado, si el calado aumenta por incrementarse el caudal, la sección se incrementará en el producto de la base por la elevación del calado y el perímetro solamente en dos veces el aumento de calado. Esto significa que la fricción con el cauce es menor por unidad de caudal transportado cuando la sección es mayor lo que origina que el perfil longitudinal de un río desde su nacimiento a su desembocadura sea un perfil cóncavo, esto es con pendientes decrecientes, ya que la erosión es mayor en los tramos altos que tienen una sección más pequeña.

El nivel límite, por debajo del cual una corriente ya no puede erosionar, se denomina nivel base. El nivel base final es el mar, y para cada corriente tributaria el nivel base viene marcado por el nivel del río principal en el punto de su desembocadura. Veamos pues el efecto sobre el cauce de la construcción de un embalse. La primera consecuencia es elevar el nivel base de los afluentes situados aguas arriba; el cauce de ellos inundado por el embalse se hace mucho mayor, la velocidad se hace mínima y por lo tanto se empieza a depositar en la desembocadura las partículas que transportaba en orden decreciente de peso; la forma que adoptan estos depósitos se asemeja a la de un tronco de cono. Como en la parte del cauce no afectada de los tributarios, la corriente sigue erosionando, el resultado es que la corriente poco a poco irá modificando su perfil haciéndolo más suave, hasta alcanzar la nueva situación de equilibrio.

Aguas abajo de la presa, el problema se origina precisamente por quedar detenido en ella los acarreo que transporta el río. Como todos los demás factores que influían en el equilibrio del sistema no varían, el agua tiene un exceso de energía, la que empleaba en transportar los arrastres, el resultado de ello es que su poder erosivo será mayor y profundizará el lecho del río e irá igualmente suavizando su perfil hasta llegar a un nuevo equilibrio. Este efecto aguas abajo se ve compensado en parte por el hecho de que la presencia del embalse laminará las

puntas de avenida, por lo que la erosión será menor, pero como el efecto de aquélla fundamentalmente es ensanchar el cauce, el resultado es que se erosionará más el fondo y el cauce adoptará más la forma de un cañón.

Para terminar, me gustaría dar una idea del volumen de aterramiento que cabe esperar en un embalse. No existen datos incuestionables. La carga de material que transporta un río puede ir disuelta en el agua, en suspensión o arrastrada por el fondo. La parte disuelta es despreciable frente a los demás factores y además no se deposita. La parte que mejor se conoce es la que va en suspensión por ser la más fácil de cuantificar, ya que cualquier instrumento que se introduzca supone una perturbación que modifica las condiciones iniciales, pero todo hace suponer que no es mayor que la que va en suspensión.

Existen desde luego, hipótesis de diversos autores que apoyados en experiencias más o menos locales, tratan de evaluarla, así el profesor del Aguila la estima en ocho diezmilésimas del peso de la aportación líquida, para terrenos primitivos, en la cuenca del Guadalquivir, este criterio aplicado en el estudio de la presa de Los Molinos en el río Matachel, suponía 44.000 m<sup>3</sup>/año para un área vertiente de 1.200 km<sup>2</sup>.

En Estados Unidos, se ha estimado que la cantidad de material removido hacia el mar anualmente, es de ochocientos millones de toneladas métricas, que equivalen aproximadamente a 40 m<sup>3</sup> por km<sup>2</sup>, muy próximo al valor estimado para la cuenca del Guadalquivir.

En el estudio del embalse de Villar del Rey, la aportación anual de material sólido se estimó en 35 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, sin embargo, en el embalse de Nogales se ha estimado en 1'5 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>. Esta estimación se ha obtenido aplicando un método muy elaborado, desarrollado en 1976 en Estados Unidos por el profesor Musle, que es una adaptación del programa U.S.L.E. desarrollado en los años cincuenta en ese país.

En cualquier caso, se observa que son valores reducidos y que salvo en embalses pequeños, su importancia práctica a efectos de la disminución de la capacidad del embalse, no es de preocupar, sobre todo si tenemos en cuenta que sólo una fracción de este volumen se deposita en el embalse, la correspondiente al material sólido y una parte del que va en suspensión, estimándose que como máximo el 75 % de la aportación total de sólidos es la que se deposita.

Hemos dado un rápido repaso a la problemática suscitada por la ejecución de un embalse, y considerado su influencia sobre el medio físico que constituye la red de drenaje de una región. Evidentemente quedan muchos aspectos por contemplar, como son los técnicos de construcción de las presas, sociológicos y ecológicos que darían nuevas tonalidades a este panorama que hemos expuesto, pero todos ellos tienen la suficiente importancia como para merecer una charla aparte.