

## CRITERIOS Y CONSIDERACIONES EN ESTUDIOS DE VIABILIDAD DE EMBALSES

### CRITERIA AND CONSIDERATIONS IN FEASIBILITY STUDIES OF RESERVOIRS

Gabriel Lozano<sup>1</sup>, Pedro L. García<sup>1</sup>, Elkin A. Monsalve<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación Desarrollo y Estudio del Recurso Hídrico y el Ambiente (CIDERA). Facultad de Ingeniería. Universidad del Quindío.

Fecha de recibido: Febrero 3 de 2010

Fecha de aceptado: Junio 9 de 2010

Correspondencia: Programa de Ingeniería Civil, Universidad del Quindío. Av. Bolívar calle 12 norte Armenia Quindío. Correo electrónico: galozano@uniquindio.edu.co

---

#### RESUMEN

*El agua es un bien escaso e imprescindible para las diferentes actividades del hombre. Los usos del agua generan demandas del recurso hídrico dentro de una cuenca hidrográfica. Así mismo, cada cuenca hidrográfica presenta una oferta hídrica que en ocasiones resulta ser inferior a las demandas de agua y es en esta situación cuando se recurren a obras hidráulicas como embalses, reservorios, azudes, entre otros para atender a la demanda a pesar de una limitada oferta hídrica. Los embalses constituyen un elemento esencial para la regulación de los recursos hidráulicos y contribuyen de manera muy significativa al progreso de la humanidad. El presente artículo trata sobre algunos elementos técnicos, económicos, sociales y ambientales que son importantes resaltar en la proyección de un embalse. El propósito es orientar y dar elementos de juicio a la opinión pública en general y recordar dichos elementos especialmente a los tomadores de decisión, en lo que se refiere a la proyección y estudios de viabilidad para la construcción de un embalse en determinada región. Como estudio de caso se analiza la posibilidad de un embalse en el Departamento del Quindío, localizada en la región cafetera de Colombia, situación que ha generado diferentes expectativas e incertidumbres en gran parte de la población de la región.*

**Palabras claves:** Embalse, usos del agua, planificación y gestión de Recursos Hídricos.

#### ABSTRACT

*Water is a scarce resource and essential for the various activities of the people. The water uses generate demand for the precious water resources within a watershed. Likewise, each river basin has a water supply that often turns out to be inferior to the demands of water and is in this situation as a resource waterworks such as dams, reservoirs, dams, among others to mitigate the demand on a limited water supply. The reservoirs are an essential element for the regulation of water resources and contribute very significantly to human progress. This article discusses some technical, economic, social and environmental issues that are important to highlight in the design of hydraulic projects such as a reservoir. The purpose is to guide and give evidence to the general public and especially to remember those elements of decision makers in regard to the screening and feasibility studies for construction of a dam in a certain region. As a case study explores the possibility of a dam on the Department of Quindio, located in the coffee region of Colombia, a situation that has generated different expectations and uncertainties in much of the population of the region.*

**Keywords:** Reservoir, water uses, planning and management of water resource

---

#### INTRODUCCIÓN

EL AGUA como elemento vital para los seres vivos es un bien imprescindible en el desarrollo de diferentes actividades del ser humano. Las demandas hídricas generadas por los distintos usos del agua en una cuenca hidrográfica, causan diferentes presiones e

impactos en sus cuerpos de agua y en muchos casos sobrepasan la capacidad propia de producción hídrica en una cuenca (oferta hídrica). Así, cuando la demanda por agua supera la oferta hídrica en una cuenca, se presenta un déficit hídrico y para ello se plantean obras hidráulicas como embalses, reservorios, azudes, que permitan garantizar el suministro de agua y atender

## **- 10 - Estudios de viabilidad de embalses**

esas demandas de agua insatisfechas (1). Los embalses constituyen un elemento esencial para la regulación de los recursos hidráulicos y contribuyen de manera muy significativa al progreso de la humanidad (2).

Entre los principales usos del agua en una cuenca hidrográfica se encuentran: abastecimiento (acueductos), industria, riego (agricultura), generación de energía, recreación, ambiental, minería, entre otros. Cada uno de estos usos demanda ciertas cantidades del recurso hídrico con una variabilidad espacial y temporal según sean las actividades principales. Si bien, el estimar las demandas para los diferentes usos del agua en una cuenca es una tarea difícil, la estimación de la oferta hídrica resulta ser mucho más compleja que la estimación de la demanda, especialmente por la gran incertidumbre en cuanto a la variabilidad hidrológica y climatológica, fenómenos que se ha venido incrementando en los últimos años.

Para conocer el estado con respecto a la cantidad de recursos hídricos (agua) en una cuenca, se realiza un Balance Hídrico el cual consiste en una relación entre la oferta y la demanda hídrica en dicha cuenca. De esta forma, cuando la oferta es mayor a la demanda, se presenta una cuenca estable y sin problemas de presiones por el preciado líquido. En el caso contrario, es decir, cuando la demanda es mayor a la oferta es cuando se presenta un Déficit o stress hídrico en la cuenca. Esta última condición de déficit de agua en una cuenca hidrográfica es una de las principales razones o criterios técnicos para proyectar estructuras hidráulicas como embalses, reservorios, etc., con el fin de atender la demanda y garantizar un mayor desarrollo social y económico para una región.

Actualmente en el Departamento del Quindío localizado en la región cafetera de Colombia, se están realizando los respectivos estudios de viabilidad para la construcción de un embalse. Dicho proyecto de embalse en principio tendrá múltiples usos, principalmente abastecerá algunos acueductos urbanos y rurales en el Departamento del Quindío. Inicialmente se tenían dos posibles sitios para la construcción del embalse, el primero localizado en la cuenca del río Santo Domingo en el municipio de Calarcá, en el oriente del departamento; y el segundo sobre el río Navarco, afluente del río Quindío y

localizado sobre el municipio de Salento en el norte del departamento. Los últimos estudios sobre la proyección del embalse los han proyectado sobre el río Navarco en el norte del departamento del Quindío.

De otro lado, las expectativas por los beneficios socio-económicos sobre los posibles usos en el embalse han despertado el interés de la comunidad de la región. En general, en los últimos cinco años las expectativas se han incrementando, especialmente en lo referente a su localización del proyecto, usos potenciales y viabilidad en el corto o mediano plazo. Con el propósito de aportar elementos que ayuden a una conveniente y eficiente decisión sobre la construcción del embalse en la región, en el presente documento se hace una relación de los principales aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales relacionados con este tipo de obras hidráulicas, que deben ser considerados en los estudios definitivos de viabilidad del proyecto, y además, dichos aspectos permiten servir de apoyo a la decisión a las autoridades y entidades interesadas en este tipo de proyectos. Es preciso resaltar que este documento no pretende profundizar en lo técnico, con el propósito de poder compartir estas consideraciones con otros actores de la sociedad interesados en el proyecto de embalse en el departamento del Quindío y que les permita contextualizar los diferentes aspectos que implican la viabilidad y construcción de una obra hidráulica como es el caso de un embalse.

### **ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE**

Para efectos del ejercicio de la proyección de un embalse en el departamento del Quindío, se tomará geográficamente el sitio localizado en el río Navarco dentro de la Unidad de Manejo de Cuenca (UMC) del río Quindío. Este río se encuentra en el norte del departamento, en el municipio de Salento y es el principal afluente en la cuenca alta del río Quindío. Este sitio ha sido sugerido en estudios de Prefactibilidad del proyecto a empresas consultoras contratadas por ESAQUIN E.S.P y últimamente se ha retomado en el Estudio de Viabilidad Económica realizado por la empresa consultora Selfinver, cuyo estudio fue contratado por FONADE en el año 2008 y presentado a la comunidad en general en abril del año 2009. En el

estudio realizado por Selfinver (2009) (3) se plantearon cuatro alternativas de una posible localización del embalse en la zona, tal como se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Alternativas de localización embalse en el departamento del Quindío

Alternativa			Area (Km <sup>2</sup> )	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)
A.	Bocatoma EPA	Río Quindío	202.5	3.66
B.	Río Navarco		108.5	1.96
C.	Aguas abajo confluencia ríos Navarco y Quindío		311.0	5.62
D.	Río Quindío, en frente de la ciudad de Armenia			6.31

Fuente: Selfinver, 2009

Como se mencionó anteriormente, la alternativa seleccionada por la firma consultora Selfinver fue la alternativa B, localizada sobre el río Navarco y antes de la confluencia al río Quindío. Las características específicas del embalse propuesto en dicho estudio se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características del embalse del río Navarco (Quindío)

Característica	Valor (Unidad)
<b>embalse</b>	
Altura presa	60 (metros)
Volumen presa	1.5 (millones de metros cúbicos)
Volumen agua	14.3 (millones de metros cúbicos)
Área superficial	75 (hectáreas)

Fuente: Selfinver, 2009

## MATERIALES Y MÉTODO

Dentro de los múltiples aspectos que implica la proyección, viabilidad, construcción y operación de un embalse, se pueden citar las consideraciones técnicas, económicas, ambientales y sociales, las cuales son tratadas a continuación.

## A. CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Dado el alto nivel de complejidad que representa una obra hidráulica como un embalse, uno de los principales componentes en las diferentes fases del embalse, son los aspectos técnicos. A continuación se relacionan algunos de las consideraciones técnicas que de un lado justifican en gran medida la viabilidad de un embalse y de otro lado, se deben considerar como actividades o estrategias complementarias y paralelas a dicho embalse.

### A.1. Usos del agua

Los usos del agua para los que se proyectaría un embalse sin duda es uno de los aspectos decisivos en la proyección de una obra de tal magnitud. Proyectar los usos de un embalse se convierte en la variable de decisión más importante, dado que a partir de la definición de los usos en dicho embalse, se cuantifica o calcula el volumen de agua a almacenar.

En particular, en el proyecto de embalse que se plantea para el departamento del Quindío, se viene empleando el término de "Embalse multipropósito". En ese sentido, dicho término conceptualmente debe ser analizado y difundido a la comunidad con mayor claridad, de tal forma que no se generen falsas expectativas a la hora de entrar en operación dicha obra.

Los usos del agua están directamente relacionados con el abastecimiento de las personas, las demandas de agua para sus distintas actividades socio-económicas y los requerimientos ambientales de los demás seres vivos que demandan el preciado líquido. Así, entre los usos del agua más comunes se tienen los siguientes (4):

- Abastecimiento (Agua para consumo humano)
- Industria
- Agricultura
- Recreación
- Medioambientales
- Minería
- Energía
- Turismo
- Pecuario
- Piscicultura

Entre los anteriores usos del agua existen algunos que

restringen otros usos a saber: por ejemplo, el uso para consumo humano por sus criterios de calidad, restringe el uso para recreación en el volumen de agua del embalse; y a su vez, exige que el uso del suelo en los terrenos contiguos a las laderas que quedan por encima de la cota máxima del embalse, restrinjan ciertos usos especialmente como hotelería y turismo. Es decir, que para el caso del embalse que se proyecta en el departamento donde su principal uso se tiene previsto sea para abastecimiento de acueductos para algunos municipios y también para el abastecimiento de fincas para uso turístico, queda claro que usos como el de recreación sobre la superficie del embalse y turismo por encima de la cota máxima quedarían restringidas por las mismas autoridades ambientales y de salud pública.

#### **A.2. Garantía del suministro**

El concepto de garantía del suministro significa que toda empresa prestadora del servicio debe garantizar el suministro del agua en un porcentaje que según sea el criterio empleado, la garantía puede superar por ejemplo el 95% del tiempo de servicio. Este valor se determina mediante fórmulas, en las cuales se tiene en cuenta el número de fallos (cortes de agua) del servicio de agua durante un periodo de tiempo. Es decir este criterio que en otros países se cumple, justifica en muchos casos que se dispongan de reservorios o embalses para garantizar el suministro especialmente en épocas de verano prolongado (4). En el caso de la región, es muy común los cortes diarios de agua y de alguna forma convivimos con esta irregularidad y nos hemos acostumbrado a un constante fallo del servicio, con las consecuentes pérdidas económicas y reducción en la satisfacción del servicio que cada usuario debe soportar.

#### **A.3. Incertidumbre hidrológica**

Está claro que los fenómenos climatológicos tales como el cambio climático, Fenómeno de El Niño o La Niña, afectan a nivel mundial y tienen repercusiones o alteraciones en el régimen climático en determinada región. En el caso de Colombia y en particular de la zona cafetera, el régimen de lluvias se ha modificado y aunque no hay estudios en la región que relacionen esta variabilidad con el mencionado cambio climático, lo cierto es que el clima en los dos últimos años no se

ajusta a un comportamiento bimodal (3 meses de invierno seguidos de 3 meses de verano) propio de esta región históricamente. En el caso concreto del país, aproximadamente desde septiembre del año 2007 no se presenta una estación o época de verano sostenida, en cambio, las épocas de lluvias han sido el principal patrón climatológico en este periodo.

El fenómeno de cambio climático genera una incertidumbre hidrológica en lo que tiene que ver con la planificación y gestión de recursos hídricos. Es decir, que la variabilidad climatológica puede llegar a afectar el dimensionamiento de estructuras hidráulicas como embalses, especialmente en lo que se refiere a la laminación de crecidas (capacidad de amortiguar una crecida que determina el volumen del vaso o embalse), estructuras de alivio (vertedero de excesos), entre otras estructuras.

En cuanto a los fenómenos de El Niño o La Niña en nuestra región, el primero se manifiesta como una época de un verano prolongado, mientras que la segunda se caracteriza por una época invernal fuerte. Cualquiera de ambos fenómenos, son alteraciones climatológicas que afectarían directamente el recurso hídrico de la región y por ende deben tenerse en cuenta al momento de proyectar obras hidráulicas como embalses. De un lado, el fenómeno de El Niño justificaría la construcción de un embalse para garantizar el suministro a los acueductos de la región en épocas de veranos prolongados, mientras que el fenómeno de La Niña genera fuertes precipitaciones (lluvias) que pueden potencialmente generar crecidas e inundaciones en determinadas zonas y es allí donde según sea la proyección del embalse se puede proyectar para laminar dichas crecidas y proteger los seres y bienes aguas abajo del embalse.

#### **A.4. Gestión en las demandas actuales y futuras**

Si bien la proyección de un embalse en determinada región se proyecta precisamente para satisfacer las demandas de agua, es muy conveniente de cara a optimizar los recursos a invertir en dicha obra, que se gestionen las demandas actuales, de tal forma que se logre una reducción del porcentaje de pérdidas en el actual sistema de acueducto, es decir reducción de fugas, agua no contabilizada, entre otras medidas que maximizan la cantidad de agua en el sistema de

acueducto, el cual incluye la captación, conducción, tratamiento y distribución.

Mediante la eliminación de fugas y el logro de un nivel de pérdidas técnicas, por lo menos al porcentaje máximo admisible de RAS-2000 (5), se logrará reducir el déficit que se presenta en la oferta para suplir la demanda en el escenario de ocurrencia de un periodo seco prolongado, como es el caso del fenómeno de El Niño (6).

Con respecto a las demandas futuras y en el caso concreto de la ciudad de Armenia, en su Plan de Ordenamiento Territorial (POT) se tienen proyectadas las zonas de expansión de la ciudad, donde esas zonas necesariamente incrementarán las demandas de agua para el sistema de acueducto de Armenia que requieren un estudio detallado de demandas en la ciudad en los próximos años. Este análisis sería un insumo importante si se tiene en cuenta que el municipio de Armenia potencialmente sería uno de los mayores usuarios del mencionado embalse. De igual forma, las mismas proyecciones de demandas deben ser analizadas detalladamente para los demás municipios del departamento, recordando que en muchos casos, es el recurso hídrico (agua) el que limita el desarrollo y expansión de las ciudades, poblaciones y otras actividades socio-económicas como industria, comercio, turismo, agricultura.

Lo anterior significa que una buena gestión en la reducción de pérdidas en las redes mejora la eficiencia técnica y económica, y por consiguiente reduce tanto las demandas brutas en los sistemas de acueductos, como la cuantificación de los volúmenes requeridos en un reservorio o embalse.

#### **A.5. Uso eficiente del agua**

En Colombia existe una normativa sobre el uso eficiente y ahorro del agua, y en particular la Ley 373 de 1997 (7) promulga el uso racional del agua, exigiendo a los diferentes usuarios del recurso hídrico Programas de usos eficiente y ahorro del agua. Tanto el uso eficiente del agua como la gestión en las demandas actuales, son estrategias a tener en cuenta para una adecuada gestión del recurso hídrico en una cuenca hidrográfica que permita minimizar las demandas de dicho recurso al momento de proyectar obras

hidráulicas tales como un embalse, lo cual contribuiría a optimizar los costos del proyecto.

#### **A.6. Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas**

En la planificación y gestión del recurso hídrico en una cuenca hidrográfica, no toda la presión por el recurso hídrico debe centrarse en las aguas superficiales. En ese sentido y como una buena práctica en la gestión del recurso hídrico, el uso conjunto tanto de aguas superficiales (ríos, arroyos, quebradas, lagos, humedales), como de aguas subterráneas (pozos, aljibes, etc.), permiten un adecuado y equilibrado uso del recurso, procurando no generar presiones desiguales sobre alguno de estos dos recursos que lleguen a situaciones de sobreexplotación de los mismos. En el caso del departamento del Quindío el recurso hídrico subterráneo ha sido muy poco usado y estudiado, conociendo su gran potencial hídrico para diferentes usos en la región. El único caso de uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en el departamento, lo presenta el acueducto del municipio de La Tebaida operado por ESAQUIN E.S.P, en el cual se explota el agua subterránea del acuífero denominado Glacis del Quindío mediante cuatro pozos y además existe como fuente de abastecimiento superficial una captación sobre el río Quindío localizada en el sector de La María.

#### **A.7. Análisis de la seguridad de la presa**

La estructura de contención que permite cerrar el vaso para almacenar agua en un embalse se denomina "Presa". Esta estructura hidráulica debe soportar las condiciones extremas de la naturaleza que en forma de avenidas (crecidas) extraordinarias inciden sobre ella. Los embalses constituyen un elemento esencial para la regulación de los recursos hidráulicos especialmente en el caso de laminación de los hidrogramas de las crecidas, lo que significa una reducción real y muy significativa de los daños que las crecidas producirían aguas abajo (2). Pero también estas obras hidráulicas suponen un riesgo potencial para los asentamientos aguas abajo debido a la muy remota posibilidad de su rotura debida al vertido sobre la corona de la presa en situaciones de avenidas (crecidas), lo que daría lugar a caudales que raramente se presentarían en condiciones naturales. Por ello, las técnicas ingenieriles

tratan de asegurar al máximo la seguridad hidrológica de estas obras, reduciendo al mínimo los riesgos potenciales que pueden suponer su rotura (2).

La experiencia histórica muestra que las avenidas extremas suponen un riesgo importante para la seguridad de las presas, y que esta problemática hidrológica-hidráulica debe tener una especial atención tanto en el proyecto de la presa, como en su explotación y operación en situaciones de crecidas (2). El ejemplo más reciente en la cuenca del río Quindío se tiene en la crecida del 14 de noviembre de 2008 donde según las estimaciones de CRQ, en el sector de Boquía (Bocatoma EPA E.S.P) sobre la estación limnigráfica operada por CRQ, pasaron aproximadamente unos 105 m<sup>3</sup>/s de caudal en una de las crecidas más grandes de los últimos 30 años, generando afectaciones en este sector como destrucción parcial del puente peatonal metálico, desbordamiento del cauce por encima de la bocatoma y erosión significativa sobre la margen derecha aguas arriba de la estación limnigráfica y bocatoma.

Ese tipo de eventos máximos deben ser estudiados detalladamente, de cara a la construcción de las obras de evacuación (vertedero de excesos, compuertas, etc) de la presa.

Otro aspecto que debe ser considerado dentro de la seguridad de la presa del embalse, lo constituye la serie de fallas geológicas que se encuentran en la zona donde se tiene proyectado el embalse. Esto si se tiene en cuenta que nos encontramos en una zona de alta sismicidad, por lo cual se recomienda un estudio de microzonificación sísmica en la zona del proyecto. Este tipo de estudios deben ser extendidos incluso en el caso particular del acueducto de EPA E.S.P, a la línea de conducción entre el sector de Boquía hasta la Planta de Tratamiento de Agua Potable localizada en Regivit (Armenia), considerando que dicha conducción está conformada por varios túneles y viaductos, a los cuales se les debe evaluar la vulnerabilidad, amenaza y el riesgo de dichas estructuras.

## **B. CONSIDERACIONES ECONOMICAS**

El tema del desarrollo económico por sí solo es extremadamente complejo, por ello, la planeación de proyectos es tal que requiere la interdisciplinariedad para tomar decisiones sobre las inversiones (8).

Dentro de los estudios de prefactibilidad y factibilidad que permiten conocer la viabilidad de ejecución de cualquier proyecto de infraestructura, sin duda una de las variables decisivas es el análisis económico del proyecto, infortunadamente por encima de otras consideraciones de tipo técnico, ambiental y en algunos casos de tipo social (9). A continuación se mencionan algunas consideraciones económicas.

### **B.1. Viabilidad económica**

La evaluación económica de un proyecto define la viabilidad o no de dicho proyecto. Para ello los diferentes análisis que se deben realizar incluyen: análisis costo beneficio, estudios financieros, y una evaluación económica del costo del recurso (agua), donde adicionalmente se valoran los respectivos beneficios económicos generados por los diferentes usos del agua.

### **B.2. Análisis Costo Beneficio (ACB)**

El ACB es un instrumento económico el cual permite establecer la relación entre el costo del proyecto y los beneficios económicos del mismo, de acuerdo a las diferentes alternativas que se presenten para el proyecto. Las alternativas que presenten el menor valor entre el cociente de los costos y los beneficios, serán las más viables desde el punto de vista económico. Con este instrumento se pueden priorizar económicamente dichas alternativas en un proyecto. Es importante resaltar que los beneficios estimados en este método de análisis, es netamente económico y no involucra ni beneficios sociales, ni beneficios ambientales.

### **B.3. Estudios financieros.**

Dado que la inversión en obras de infraestructura hidráulica es bastante elevada, en la mayoría de las ocasiones el recurso financiero total del proyecto no está disponible y se debe optar por gestionar recursos mediante empréstitos a la banca mundial o nacional, según sea la magnitud de la obra. En otras ocasiones la financiación se realiza mediante entidades de desarrollo territorial, tales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), o a nivel nacional

FINDETER, entre otras. En ese sentido y dado que dicha financiación se proyecta a un horizonte amplio de años, es importante analizar la rentabilidad de los diferentes servicios que genere en este caso el proyecto de embalse. Es decir, se debe evaluar económicamente la rentabilidad esperada de cada uno de los usos del agua embalsada; de tal forma que la venta de servicios permita financiar las inversiones realizadas en el proyecto. Si el resultado del ejercicio financiero arroja que los ingresos por servicios del proyecto son menores a los costos financieros, el proyecto no es viable desde el punto de vista financiero y las posibilidades de ser respaldado por entidades del sector financiero se reducen.

Esta es la situación que arrojó el estudio financiero realizado por Selfinver (3) para el proyecto de embalse multipropósito en el departamento del Quindío, donde los usos potenciales de este embalse se determinaron para abastecimiento de la ciudad de Armenia y sus alrededores y en un pequeño porcentaje en el incremento de aproximadamente un 4% para la generación de energía eléctrica de las actuales microcentrales hidroeléctricas ubicadas sobre el río Quindío y una posible a filo del embalse proyectado. De acuerdo a dicho estudio, el costo total de la inversión del embalse multipropósito sería del orden de \$132.916 Millones de pesos, de los cuales el costo de la presa estaría por los \$ 105.000 Millones de pesos. Dentro de los análisis que se presentaron, se estimaron las rentabilidades para el suministro de agua (no rural) del orden del 5% real y 10% nominal, y para el incremento por generación de energía eléctrica, la rentabilidad se estimó en el 15.45% para el inversor, siendo esta última una rentabilidad baja según el estudio. La evaluación económica del proyecto integral con los dos usos, arrojó un déficit financiero considerando que se requieren a la fecha de aproximadamente \$ 90.000 Millones de pesos a flujo perdido, de los cuales el departamento del Quindío tendría aproximadamente unos \$ 40.000 Millones de pesos, girados por la nación como fruto de la venta de las acciones de la antigua Empresa de Energía del Quindío (EdEQ).

De acuerdo a las cifras reportadas en el estudio de Selfinver y dentro de sus conclusiones, el negocio de venta de agua y generación de energía por sí solos no resultan de manera independientemente razonables

para atraer a un inversionista, luego no existiría generación de recursos para apoyar la inversión del embalse en el mediano o largo plazo (3). En ese sentido y para efectos de continuar gestionando el proyecto del embalse multipropósito en el departamento del Quindío, las justificaciones del proyecto podrían apoyarse no solamente en el aspecto financiero, sino que además se puede presentar el proyecto de embalse principalmente como una "Inversión social" para la región. De esta forma se puede gestionar recursos del orden nacional con carácter de recuperación contingente.

#### **B.4. Costo del Recurso Hídrico**

El recurso hídrico independiente de los diferentes usos que tiene en una cuenca hidrográfica, presenta un costo marginal que varía inversamente proporcional a la disponibilidad de dicho recurso en la cuenca. Así, cuando en una cuenca hidrográfica el agua es escasa, el costo marginal se incrementa considerablemente, en el caso contrario, cuando existe una buena disponibilidad del recurso (excedentes), el costo marginal es muy bajo o se hace nulo. Esta última situación se presenta en la mayoría de las cuencas hidrográficas en Colombia, y en particular en la cuenca del río Quindío. Sin embargo, esta situación en un futuro puede potencialmente llegar a variar y presentarse déficit hídrico en la cuenca, incrementándose inmediatamente el costo del recurso hídrico. Como se ha mencionado anteriormente, la oferta hídrica de una cuenca está directamente relacionada con el régimen hidrológico de la región, el cual es susceptible a variaciones espaciales y temporales que pueden desmejorar la cantidad del recurso en la cuenca.

En el contexto nacional, el costo del recurso hídrico es un tema que aún no ha sido evaluado con el suficiente rigor económico. El análisis económico del recurso hídrico permite conocer tanto los costos de oportunidad del agua dentro de una cuenca, como los costos de recuperación de las diferentes obras hidráulicas requeridas para la gestión del agua, como es el caso por ejemplo de embalses o reservorios en una cuenca.

Este tipo de instrumentos económicos pueden contribuir en la justificación económica de la inversión y financiación del mencionado embalse.

### B.5. Beneficios económicos

Los proyectos de obras hidráulicas que permitan garantizar el recurso hídrico para una región de manera eficiente, traen consigo desarrollo económico para dicha región, representado en diferentes beneficios económicos tanto directos como indirectos. Los beneficios económicos directos una vez entre en operación el embalse, se pueden valorar por la venta de los diferentes usos del agua tales como abastecimiento de acueductos urbanos, rurales, generación de energía eléctrica; además de otros posibles usos que no generen conflictos entre los usos citados. Como beneficios económicos indirectos se pueden mencionar los generados por las externalidades positivas que traería el embalse en la región si se tiene en cuenta que al garantizar agua se pueden consolidar actividades socio-económicas como el turismo, la recreación aguas abajo del embalse y potencialmente se genera una región acta para la industria especialmente para el posicionamiento de industrias de bebidas y alimentos; además de otras actividades socio-económicas ambientalmente sostenibles que traigan inversión nacional y extranjera para la región.

## C. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Sin duda los aspectos ambientales son las consideraciones más sensibles en la toma de decisiones cuando se proyecta la construcción de una obra hidráulica tal como un embalse. A nivel mundial hoy por hoy existe gran presión por parte de organizaciones o grupos ambientalistas que se oponen a la construcción de nuevos embalses e incluso existen cuencas hidrográficas donde se han desmontado algunas de las presas sobre el río, con propósitos de garantizar la continuidad de los ecosistemas acuáticos en dichas cuencas.

Debido a que son varias las afectaciones que un embalse o reservorio generan a nivel ambiental en una región, a continuación se hace referencia a algunos de las presiones e impactos en la construcción de este tipo de obra hidráulica.

### C.1. Presiones

A nivel de presiones entre otras se pueden mencionar los generados por los diferentes vertidos tanto puntuales como difusos que se localicen aguas arriba del embalse o que viertan directamente al espejo de agua de dicho embalse, los cuales aportan al deterioro de la calidad del agua en el embalse y aguas abajo de esta obra hidráulica. Los vertidos puntuales pueden tener su origen en asentamientos urbanos u hoteles, vertidos industriales o piscícolas que aportan materia orgánica y en algunos casos metales pesados (procesos industriales) a la masa de agua del embalse. En cuanto a los vertidos difusos normalmente provenientes de los cultivos o actividades agrícolas en la cuenca, aportan nutrientes como nitrógeno y fósforo, que potencialmente pueden generar procesos de eutroficación principalmente en el hipolimnion (capa inferior) y posteriormente en el epilimnion (capa superficial) del embalse. Adicionalmente en ocasiones se presentan vertidos de compuestos fitosanitarios o de suelos contaminados por actividades de minería entre otras.

Las expectativas que generan la construcción de un embalse, pueden incrementar los vertidos por actividades turísticas por encima del espejo de agua del embalse, situación que entraría en conflicto con el uso para abastecimiento humano de las poblaciones aguas abajo que se vayan a beneficiar del embalse. Este hecho hace que la proyección de un embalse para abastecimiento de agua para consumo humano, restrinja los usos del suelo para ciertas actividades por encima de dicho espejo de agua sobre el embalse y que debe ser concertado e incorporado en los respectivos Planes o Esquemas de Ordenamiento Territorial municipal o departamental en la región.

Otro tipo de presión que genera un embalse sobre un río son las alteraciones morfológicas representadas principalmente por: el efecto barrera, el efecto remanso y la extracción de áridos. El efecto barrera se origina cuando se construye una obra hidráulica tal como una presa sobre el río, situación que genera una discontinuidad para el tránsito de las especies ictiológicas (peces, macroinvertebrados, etc.) que se encuentran en el río antes de la regulación del cauce. El caso más representativo se presenta con las diferentes especies de peces que en época de desove, viajan aguas arriba hasta la cuenca alta del río donde pueden desovar (deposición de huevos) y que ven truncado su



paso con la construcción de una estructura hidráulica sobre el río.

El efecto remanso generado por la alteración hidrodinámica del cauce una vez construida la presa del embalse, modifica las características hidráulicas del cauce, especialmente relacionadas con la reducción de la velocidad, incremento elevado tanto de la lámina o calado (profundidad), como de la sección transversal. Dicho efecto remanso altera el ecosistema de la zona del río, en algunos casos desplazando unas especies y en otros facilitando la incorporación de nuevas especies en la masa del embalse. Así, otra incidencia o presión en la ictiofauna por el embalsamiento de agua se puede presentar con la incorporación de especies alóctonas (introducidas) en el embalse que potencialmente pueden alterar la sinergia o cadena trófica de las especies autóctonas (nativas) del río, generando amenazas por la competencia de alimento, hábitat y en general por el equilibrio de los ecosistemas naturales y para la biodiversidad (10).

La alteración morfológica por la extracción de áridos genera una presión sobre la hidráulica fluvial del cauce del río, principalmente por la gran cantidad de material pétreo que puede requerir una obra hidráulica como una presa ya sea de materiales mixtos o de concreto.

Una presión no endógena en un embalse sobre un río determinado lo constituye el nivel de erosión de la cuenca por encima de la cota de dicho embalse.

En la medida que los procesos erosivos sobre la cuenca alta estén muy avanzados, la consecuencia directa sobre el embalse se verá reflejada en la reducción de la vida útil de la capacidad de almacenamiento del embalse. En ese sentido, es preciso dentro de los estudios hidrológicos e hidráulicos un modelo detallado de la simulación de sedimentos tanto en el río como en el vaso del embalse.

## C.2. Impactos

La construcción de un embalse genera impactos ambientales tanto negativos como positivos, siendo los más resaltados los impactos negativos. Así mismo, dentro de los impactos se pueden distinguir entre impactos comprobados e impactos probables.

Los impactos comprobados se pueden determinar mediante el estado químico de las aguas y según la normatividad sobre calidad de aguas para los diferentes usos tales como: abastecimiento (agua para consumo humano), recreación (baño), pesca, entre otros. El impacto probable hace referencia al estado ecológico de la masa de agua en el embalse y puede determinarse mediante diferentes índices tales como: índice biológico (IBMWP, etc.); índices hidromorfológicos (QBR, caudal ambiental o ecológico); índices físico-químicos (DBO5, Déficit Oxígeno, etc.), y también se puede identificar por el estado químico (sustancias tóxicas).

Como medida de mitigación en cuanto al impacto ambiental que genera la regulación de ríos mediante embalses, se resalta la necesidad de garantizar un caudal ambiental o ecológico aguas abajo de cada aprovechamiento y especialmente aguas abajo de un embalse. Dicho caudal ecológico garantiza el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema hídrico del río.

Algunos impactos ambientales positivos en la construcción de un embalse que se mencionan entre otros son: considerando el gran volumen de agua que se almacena, esto ayuda por fenómenos de infiltración a la recarga de acuíferos y manantiales que se encuentren aguas abajo del embalse sobre la cuenca hidrográfica, lo cual favorece al incremento de caudal base tanto en el río regulado como en los manantiales (nacimientos), que favorecen al ecosistema. Así mismo, una vez pase el tiempo de llenado del embalse, este puede gestionarse de tal forma que en los meses de estiaje (verano), se suelte agua del embalse por encima del caudal medio de los meses más secos, situación que sigue favoreciendo y garantizando el ecosistema acuático aguas abajo de la regulación del recurso hídrico en la cuenca.

## C.3. Valoración del Riesgo

Considerando que un embalse es una obra hidráulica de grandes proporciones, la valoración del riesgo por fenómenos naturales o antrópicos se hace imprescindible. A continuación se hace referencia a algunos de estos riesgos y se relacionan con el caso de estudio para el proyecto de embalse en el Departamento del Quindío. A nivel de riesgos por

fenómenos naturales se pueden resaltar los ocasionados por el riesgo sísmico por fallas geológicas, placas tectónicas, erupciones volcánicas o avenidas (crecidas) extremas de los ríos por encima del nivel del embalse debido a tormentas convectivas de alta intensidad y-o al deshielo del casquete glacial en ríos nipluviales. Dentro de los riesgos por fenómenos antrópicos se puede mencionar los posibles derrames de sustancias tóxicas provenientes de actividades industriales o mineras aguas arriba del embalse.

Para el caso de estudio del embalse a proyectarse en la zona de la cuenca alta del río Quindío, donde la presa estaría localizada cerca a la confluencia de la Quebrada Boquerón con el río Navarco, los principales riesgos estarían representados por la misma amenaza, vulnerabilidad y riesgo sísmico alto de la zona del embalse; las eventuales avenidas máximas en la cuenca del río Navarco y quebrada Boquerón, surgidas por efectos del cambio climático, fenómeno de La Niña o tormentas con períodos de retorno (500, 1000 años) por encima del periodo de retorno usado en el diseño del proyecto hidráulico. Otro riesgo potencial por fenómeno natural es la posible erupción del volcán Machín, localizado en la cordillera central y con influencia directa sobre los Departamentos de Tolima y Quindío, especialmente en las cuencas de los ríos Navarco y Quindío. El impacto ambiental probable de ese evento repercute en la calidad de las aguas superficiales, siendo de alto riesgo para la salud pública el consumir agua con trazas de cenizas volcánicas. Una situación eventual de estas, restringiría inmediatamente el consumo de agua en los acueductos de la zona afectada. En este sentido, es importante para la región contar con planes de contingencia que permitan tomar el agua para consumo humano de otras fuentes como por ejemplo y previos estudios una opción podría ser el recurso subterráneo por lo menos en los primeros días de emergencia, dependiendo de la magnitud del desastre.

Como riesgo de origen antrópico se puede mencionar el generado por el vertido accidental de algún proyecto industrial o minero por encima de la cota del espejo de agua, donde se utilicen sustancias como metales pesados (mercurio, cianuro, cromo, etc.) para los procesos industriales, que potencialmente pueden llegar al vaso del embalse y generar una contaminación

hídrica sin precedentes en la región. Este tipo de posibles situaciones hacen que se deban fortalecer los aspectos de conservación, preservación de las cuencas productoras de agua que abastecen a las poblaciones de una cuenca hidrográfica, garantizando que dichas cuencas productoras del recurso hídrico, no entren en conflicto con otros usos del suelo en los respectivos Planes o esquemas de Ordenamiento Territorial en la región.

De otro lado, y en general con respecto a las consideraciones ambientales, es importante resaltar, que si bien este tipo de obras hidráulicas impactan el medio ambiente físico, biótico y abiótico, existen diferentes medidas o actuaciones que permiten mitigar, corregir, compensar o reducir los impactos ambientales negativos que pueda generar el proyecto, soportados sobre una legislación ambiental amplia que aplican en el seguimiento y monitoreo de las obras las autoridades ambientales en nuestro país.

#### **D. CONSIDERACIONES SOCIALES**

Las consideraciones sociales de un proyecto hidráulico como un embalse, al igual que lo ambiental, presentan diferentes aspectos sociales positivos y negativos, que se mencionarán algunos de los más relevantes, dado lo extenso de las consideraciones sociales y el alcance del presente artículo.

Sin duda el aspecto social más desfavorable es el generado por el desplazamiento de las familias asentadas sobre la zona de inundación del embalse, ya que se vulnera el sentimiento de arraigo por la tierra y se modifican sus estilos de vida. Directa e indirectamente se generan expectativas sociales y económicas en la población aledaña al proyecto, que incluso en muchos de los casos se llega a fenómenos de especulación por terrenos sobre el área de influencia del proyecto.

A nivel general en las diferentes comunidades o poblaciones que se benefician del recurso hídrico almacenado en el embalse, hay una mejora en la calidad de vida por cuanto entre otras se les garantiza el suministro de agua para sus diferentes actividades de las generaciones presentes y futuras, se reduce el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) en la

población con problemas de falta de cobertura y continuidad del servicio. Por ser el agua un elemento que interviene en la macroeconomía de una región, se genera mayor oferta de bienes y servicios tal como la promoción del departamento como una región con un alto potencial hídrico regulado, situación que puede traer mayor confianza en inversión nacional y extranjera, contribuyendo a la disminución de los niveles de desempleo en la región; y de esta forma incrementando el desarrollo socio-económico y la competitividad de la región y como consecuencia de estos al ser el agua el motor de desarrollo de cualquier actividad, se ve incrementando el Producto Interno Bruto (PIB) regional y nacional.

### CONCLUSIONES

El agua y sus problemas configuran un debate abierto y permanente en nuestra sociedad (11). Desde el punto de vista de la planificación gestión de los recursos hídricos, la construcción de un embalse en una cuenca hidrográfica es de por sí un proyecto de inversión social con beneficios en el corto, mediano y largo plazo, que se proyecta principalmente para garantizar el suministro a los diferentes usos en la cuenca o para potenciar nuevos usos del agua que permitan un mayor desarrollo socio-económico en la región. Su principal objetivo es el incremento en la calidad de vida de las poblaciones y actividades beneficiadas. Sin embargo, en la proyección de estas obras directamente se ven afectadas las personas que habitan la zona de inundación del embalse, alterando su estilo de vida y vulnerando su sentimiento de arraigo.

Con la construcción de un embalse en una cuenca hidrográfica, se ven modificados los bienes y servicios ambientales en el sector de influencia del proyecto. Esta situación propicia una serie de impactos ambientales tanto negativos como positivos para el medio ambiente físico, biótico y abiótico.

La conservación del recurso hídrico en cuencas productoras independiente de la necesidad o no de construir un obra hidráulica tal como un embalse, se hace cada vez más prioritario para garantizar la

sostenibilidad del recurso hídrico en dicha cuenca, complementado con una mayor gestión en la demanda del agua para las diferentes actividades humanas, propendiendo por un uso racional del recurso hídrico con criterios de sostenibilidad y eficiencia económica. De esta forma, se debe propiciar un desarrollo socio-económico si se garantiza una región hídricamente segura, atractiva para la inversión de capitales nacionales y extranjeros, al ser el agua el motor de desarrollo de cualquier actividad.

Los tomadores de decisiones en cuanto a la planificación y gestión de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas, disponen de Sistemas Soporte de Decisión, metodologías, modelos de optimización y simulación de la calidad y cantidad del agua (12), e instrumentos económicos y jurídicos, para apoyarse en sus decisiones, y en el caso particular en este caso sobre la viabilidad o no de la construcción de un embalse en el Departamento del Quindío.

Con respecto al cuestionado proyecto de embalse multipropósito en el Departamento del Quindío, más allá de las voluntades de algún sector de la población, el emprender un proyecto hidráulico de gran envergadura en dicha región, requiere del consenso de los diferentes actores involucrados y de los diferentes estudios técnicos, ambientales, sociales y económicos, que soporten la decisión de la viabilidad o no de dicha obra hidráulica, dentro del marco de desarrollo sostenible y eficiencia económica. Si dichos estudios conducen a la viabilidad del proyecto, el Departamento estará asegurando el recurso hídrico para las generaciones actuales y futuras. De otro lado, en el caso en que los diferentes estudios que faltan por realizar, no diesen la viabilidad al proyecto del embalse multipropósito en el Quindío, se debe reforzar las diferentes campañas y estrategias de uso eficiente del agua, reducción de pérdidas técnicas y comerciales en los sistemas de acueductos, implementación del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas y principalmente fortalecer los proyectos de reforestación de la cuenca alta del río Quindío, para que en el mediano y largo plazo se garantice la oferta hídrica en la región.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Antón, Danilo J., 1996. Ciudades sedientas. Agua y ambientes urbanos en América Latina. Montevideo: Ediciones UNESCO-CIID-Nordan comunidad.
2. Comité Nacional Español de Grandes Presas CNEGP, 1997. Guías Técnicas de la Seguridad de Presas. Guía No. 4: Avenida del Proyecto. Madrid: Edi.: Comité Nacional Español de Grandes Presas.
3. Selfinver, 2009. Consultoría para la estructuración del Proyecto Embalse Multipropósito del Quindío. Bogotá. Estudio realizado para el Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo FONADE.
4. ReVelle, C. y McGarity, A., 1997. Design and Operation of Civil and Environmental Engineering Systems. New York: Edi: John Wiley & Sons, Inc.
5. Universidad de los Andes, 2000 "Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS-2000", Ministerio de Desarrollo Económico.
6. Guerrero, J., Peña, L.E y Muñoz, P.A., 2007. Diagnóstico y Formulación de Planes de Reducción de Pérdidas de Agua en Acueductos de Pequeñas Localidades Departamento de Risaralda. Pereira. Edi.: Universidad Tecnológica de Pereira-Gobernación de Risaralda.
7. Congreso República de Colombia, 1997. "Ley 373 de 1997". Ministerio de Desarrollo Económico.
8. Shaner, W.W., 1979. Project Planning for Developing Economics. New York. Edi.: Praeger Publishers.
9. Bellut, Serge, 2002. Estimar el coste de un proyecto. Madrid: Ediciones AENOR.
10. Kalipedia. Santillana. Recurso en línea. <http://co.kalipedia.com/ecologia/tema/especiesautoctonas-especies-aloctonas.html>. Marzo 2010.
11. Balairón, Luis, 2000. Gestión de Recursos Hídricos. Barcelona: Ediciones UPC.
12. Singh, V.P., y Frevert, D.K., 2006. *Watershed Models*. Boca Raton, FL. Edi.: CRC Press. Taylor & Francis Group.