

# SEDIMENTOS: UNO DE LOS RETOS DE LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

Claudia Sánchez, Hermann Fuquen, Consultores en Innovación Tecnológica

**Abstract**— La acumulación de sedimentos en los embalses es una de las problemáticas que se han generado en los últimos años. Los sedimentos transportados pueden llegar a obstruir las bocas de toma en las presas y generar efectos abrasivos en las turbinas de generación, en sus componentes de operación y en las estructuras de concreto. En foros e investigaciones académicas recientes, se ha resaltado la importancia de la gestión de sedimentos en embalses para generación hidroeléctrica como el reto inmediato a ser enfrentado por los generadores de energía alrededor del mundo. En este artículo se hace un resumen de algunas de las acciones que permitirán realizar una adecuada gestión de sedimentos.

**Index Terms**— Sedimentos, Medición, Modelamiento.

## 1. INTRODUCTION

La generación hidroeléctrica, es una de las fuentes sustentables de energía más reconocidas y usadas en el mundo. Adicionalmente, por tener infraestructura y operación robusta, permite generar planes de largo aliento. Sin embargo, debido a la operación de las mismas, enfrenta retos y grandes riesgos que podrían limitar la continuidad operativa de este tipo de infraestructura. Particularmente la acumulación de sedimentos en los embalses, que es producto natural del transporte de material de manera progresiva a raíz de las corrientes de río que los alimentan, ponen en riesgo la generación hidroeléctrica por razones como las enumeradas a continuación.

- Desgaste abrasivo de los elementos que están involucrados en los sistemas mecánicos de generación (por ejemplo: turbinas, boquillas, agujas, etc).
- Obstrucción de bocatomas recolectoras de afluentes.
- Disminución de capacidad de almacenamiento de recurso hídrico en el embalse.

En las últimas décadas se ha identificado esta acumulación de sedimentos para los centros de generación hidroeléctrica alrededor del mundo, por lo cual se ha dado inicio a esfuerzos de investigación aplicada que ha permitido generar información en el estado del arte y el desarrollo de políticas públicas, que han sido lideradas por el Banco Mundial para gestionar de manera eficiente los sedimentos. (Banco Mundial, 2003).

## 2. EMBALSES Y SEDIMENTACIÓN

### 2.1 TIPOS DE EMBALSES Y RESERVIOS PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

Dependiendo de las características del embalse según Alam (2004) se pueden clasificar los embalses por sus características más significativas como son:

- Embalses pequeños con poca acumulación.
- Embalses en serie con canales excavados para la generación de energía.
- Presas y embalses grandes, con variaciones mínimas de nivel del agua del embalse.
- Presas grandes con embalses de gran tamaño, con variaciones significativas en los niveles del agua del embalse.
- Embalses llenos de sedimentos.

### 2.2 EL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN

Al embalse ingresan corrientes de los afluentes, las cuales llevan consigo una carga de sedimentos. Al ingresar, la velocidad de la corriente con su carga se reduce y por lo tanto, se pueden generar depósitos a la entrada del embalse, que serían originados por acumulación. Con el paso del tiempo, y teniendo en cuenta la cantidad de sedimentos que transporta cada río, la acumulación va progresando y por lo tanto se eleva el lecho y en consecuencia los niveles de agua naturales del río.

## 3. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE SEDIMENTOS

Teniendo en cuenta la problemática, la agencia nacional de energía eléctrica de Brasil, en una de sus publicaciones, plantea la necesidad de hacer monitoreo y control de los sedimentos, y describe algunos de los métodos existentes para medir tanto sedimentación en carga de fondo como los sedimentos suspendidos o carga total, como se puede ver en la Tabla 1.

De acuerdo con la tabla 1, los sedimentos se pueden medir de manera directa (o in situ) o indirecta. Esta medición se realiza con el propósito de posteriormente, en laboratorio, analizar todos los sedimentos para identificar en cada muestra (mezcla de agua-sedimentos) los elementos, sus densidades y tamaños. (AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉCTRICA DE BRASIL - ANEEL, 2000)

TABLA 1  
RESUMEN DE MÉTODOS DE AFORO DE SEDIMENTOS

Descarga de Sedimentos	Tipo	Descripción de la medición
Descarga de sedimentos en suspensión	Directo	Medición de concentración u otra variable (turbidez, ultrasonido, etc.) directamente en la corriente
	Indirecto	A través de la acumulación de sedimentos en un dispositivo de medición (ej. tubo de ensayos graduado) Recolección de sedimentos por muestreo de mezcla de agua y sedimentos: se mide concentración y se hace análisis de granulometría y para realizar cálculos en la descarga de sedimentos. A través de imágenes de satélite, comparando con las medidas de campo simultáneas, para la calibración de los grandes ríos Muestreo en varios puntos de la sección transversal. Se busca determinar su peso en seco, la granulometría y el cálculo de la descarga de arrastre. El medidor se fija en la cama de 2 minutos a 2 horas (para recibir de 30 a 50% de su capacidad)
Arrastre de carga	Directo	Se recoge el sedimento durante el tiempo en que se abren las grietas de cama.
	Indirecto	De las muestras recolectadas, se realiza un análisis granulométrico, se hace medición de pendientes, de parámetros hidráulicos de temperatura y a través de fórmulas se realiza el cálculo de la descarga de arrastre y carga de fondo. A través del uso de un ecobatímetro con alta resolución, se mide el volumen de desplazamiento de la duna.

Fuente: Adaptado de (AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉCTRICA DE BRASIL - ANEEL, 2000)

### 3.1 PROTOCOLOS DE MODELAMIENTO

Para poder establecer control y gestionar los sedimentos, una vez elaboradas las mediciones pertinentes, es necesario elaborar un modelo que permita pronosticar el comportamiento futuro del embalse. Sin embargo, el grado de incertidumbre debido al cambio climático, al periodo de toma de mediciones, al tipo de sedimentación entre otras, evita que el sistema reproduzca un comportamiento predecible y exacto. (Morris & Fan, 1998).

Para elaborar el modelo de sedimentos en embalses, probablemente se debe hacer frente a los siguientes problemas:

1. Rendimiento de agua y sedimentos de la cuenca.
2. Rango y patrón del desplazamiento de sedimentos, disposición y recorrido a lo largo de la represa bajo diferentes normas de funcionamiento.
3. Patrones localizados de deposición y erosión cercanas a las estructuras hidráulicas.
4. Erosión, desplazamiento y deposición de sedimentos en el río debajo de la presa.

El modelado de sedimentos es usualmente realizado usando una curva de medición de sedimentos, modelación erosión o procedimientos relacionados (Morris & Fan, 1998).

### 3.2 PROCEDIMIENTOS PARA EL MODELADO DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN DE EMBALSES

El procedimiento a realizar para elaborar modelos numéricos o físicos de un protocolo, consta de 8 etapas (Anderson et al. 1992):

- Identificación del problema
- Conceptualización del modelo
- Definición del propósito del modelo, su alcance y metodología.
- Construcción del modelo y calibración
- Verificación de las condiciones existentes
- Simulación predictiva

Cuando se ha calibrado y verificado el modelo, la información que arroja puede utilizarse en sistemas hidrológicos y geométricos de tal forma que permitan analizar alternativas de operación para enfrentar las problemáticas planteadas.

## 4. MODELOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

### 4.1 MODELOS NUMÉRICOS

Existen modelos unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales para simular flujos de ríos (Morris & Fan, 1998), pero los modelos que tienen más exactitud son los unidimensionales, por que son mas robustos y porque necesitan un menor uso de tiempo de cómputo y de datos para su calibración. Estos modelos se consideran como prototipos, por el tipo de aproximación al comportamiento del proceso.

#### 4.1.1 HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

Los modelos de sedimentación informáticos incluyen tres principales componentes: enrutamiento del agua y de los sedimentos y módulos de funciones especiales. Incluyen posibilidad de seleccionar la fórmula alternativa de transporte de sedimentos. Se trata de modelos de transporte de equilibrio que tienen como supuesto que el transporte de sedimentos alcanza condiciones de equilibrio durante el paso de tiempo del modelo. (Morris & Fan, 1998)

Existen muchos modelos, pero no hay un modelo de propósito general que se adapte a todas las condiciones. Algunos se describen en la Tabla 2.

#### 4.2 MODELOS FÍSICOS

Este tipo de modelo, consiste en una representación física a escala del sistema a simular. Utiliza un fluido (agua o aire) y sedimento (granos, plásticos o cáscaras de nuez) para simular el comportamiento. Se requiere un tipo de representación geométrica y dinámicamente similar al sistema de estudio, y mantener variables físicas como gravedad, fricción del fluido, viscosidad, tensión superficial, y cohesión de sedimentos, de acuerdo con las relaciones existentes entre las fuerzas que influyen en agua y el movimiento de sedimentos del sistema prototipo. Se clasifican en:

- Modelo no distorsionado de lecho fijo (escala vertical y horizontal iguales).
- Modelo distorsionado de lecho fijo (escala vertical más grande que la horizontal).
- Modelo sin distorsión de lecho móvil
- Modelo distorsionado de lecho móvil.

Se usan por lo general para analizar problemas que implican geometría compleja, morfología del río, o curvatura de flujo.

**TABLA 2**  
HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA MODELACIÓN DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

Nombre	Características	Uso
<b>HEC-6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo de flujo unidimensional, de frontera móvil y canal abierto.</li> <li>Simula la interacción entre el sistema hidráulico de la corriente y la tasa de transporte de sedimentos</li> </ul>	Se ha usado en análisis de río y el comportamiento de la represa a largo plazo
<b>GSTARS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modelo de flujo unidimensional, no uniforme y estable</li> <li>Simula aspectos de flujo bidimensional</li> </ul>	
<b>TABS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programas informáticos generalizados y</li> <li>Códigos de servicios</li> </ul> <p>integrados en un sistema de modelado numérico para el análisis hidráulico de dos dimensiones, transporte y problemas de sedimentación</p>	Ríos, embalses, bahías y estuarios

Fuente: Adaptado de (Morris & Fan, 1998)

## 5. GRUPOS DE INVESTIGACIÓN EN COLOMBIA

Con respecto al estudio de los sedimentos y el modelado del transporte de sedimentos hacia embalses, no se encontró en Gruplac información relacionada con avances específicos en el tema. (SCIENTI, 2013).

De los grupos relacionados con el área medioambiental o con la generación de energía, se identificaron algunos (Ver Tabla 3) con investigaciones puntuales, con temas como evaluación de elementos químicos específicos, el impacto de los sedimentos sobre los ecosistemas, estudio de los sedimentos en puntos geográficos específicos entre otras.

## 6. CONCLUSION

La gestión adecuada de sedimentos puede facilitar el desempeño de los embalses y los equipos requeridos para la generación hidroeléctrica. Se requiere para gestionarlos realizar procesos de medición, que faciliten información para la toma de decisiones y para la gene-

ración de modelos tanto de la sedimentación existente como del transporte de sedimentos desde los diferentes afluentes, con el fin de establecer planes que permitan manejar adecuadamente los recursos para la generación de energía.

**TABLA 3**  
GRUPOS CON INVESTIGACIONES PUNTUALES RELACIONADAS CON SEDIMENTOS.

Grupo de Investigación	Entidad
Diagnóstico y Control de la Contaminación	Universidad de Antioquia
Zona Costera	DIMAR
CAMHA/ Calidad de Aguas y Modelación Hídrica y Ambiental	UPB SEDE MONTERÍA
Grupo de Investigación en Gestión y Modelación Ambiental (GAIA)	Universidad de Antioquia
OCEANICOS - Grupo de Oceanografía e Ingeniería Costera de la Universidad Nacional	Universidad Nacional Sede Medellín
Grupo Biotecnológico Ambiental	Corporación Universitaria De La Costa
Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos	Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín

Fuente: Elaboración Propia, Datos: Gruplac Red Scienti

Actualmente en Colombia no se han identificado grupos con investigaciones en los temas propuestos en este artículo. Sin embargo, hay algunas iniciativas que pueden dar pie a profundizar en los temas relacionados, con el fin de fortalecer el sector energético y facilitar datos y modelos que permitan una toma adecuada de decisiones por parte de las empresas generadoras.

## BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉCTRICA DE BRASIL - ANEEL. (2000). Biblioteca Virtual/ descargas/ libros. Recuperado el 11 de JUNIO de 2013, de Sitio Web de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica ANEEL: [http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/guia\\_ava\\_engl.pdf](http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/guia_ava_engl.pdf)

Banco Mundial. (2003). Reservoir Conservation Vol.1 .

Morris, G. L., & Fan, J. (1998). Reservoir Sedimentation Handbook (2009 ed., Vol. Versión Electrónica). New York: McGraw-Hill Book Co.

SCIENTI, R. (30 de ENERO de 2013). Recuperado el 21 de Mayo de 2013, de RED SCIENTI: [www.colciencias.gov.co/scienti](http://www.colciencias.gov.co/scienti).