

## 07 Dilemas en el Diseño y Construcción de una Presa

### **Dr. Fernando J. González Villarreal**

Ingeniero Civil, Universidad Autónoma de México  
Maestro en Ciencias y Doctor por la Universidad de California en Berkeley  
Primer Director General de CONAGUA y Fundador del IMTA  
Asesor principal de Agua y Desarrollo Rural en el Banco Mundial y miembro del Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua  
Presidente del Colegio de Ingenieros Civiles de México y de la Asociación Mexicana de Hidráulica  
Recibió el Premio Nacional de Ingeniería 2013 y la Medalla Nezahualcóyotl  
Coordinador Técnico de la Red del Agua de la UNAM  
Director General del Centro Regional de Seguridad Hídrica  
Presidente del Consejo de Ética del Colegio de Ingenieros Civiles de México

### **Introducción**

En la cadena de valor de una presa pueden presentarse numerosos dilemas éticos a los que tendrá que hacer frente el ingeniero civil. En este caso, se presentan dos situaciones recurrentes en el desarrollo de presas que son fundamentales para que el proyecto se lleve a cabo de forma exitosa y se garantice la seguridad de las poblaciones aguas abajo. La primera de estas situaciones sucede en la etapa de diseño de la presa, donde se debe evaluar una serie de factores de seguridad para determinar el rumbo del proyecto. La segunda ocurre en la fase de construcción.

Los dilemas éticos tienden a presentarse en escenarios de alta incertidumbre, donde convergen múltiples intereses y expectativas sobre el trabajo del ingeniero civil. Tanto en la toma de decisiones como en la conducción del proyecto, es necesario adoptar los principios del Código de Ética del Colegio de Ingenieros Civiles de México, que favorecen un ejercicio responsable de la profesión, en especial aquellos que elevan los estándares de seguridad y protegen la vida y los intereses de la sociedad.

### **Presentación de los dilemas éticos**

Durante la construcción de una presa, el proceso de cimentación es una etapa particularmente crítica. En este proceso se requiere dejar seco el cauce con el propósito de remover los materiales sueltos y cimentar sobre roca firme, lo que permite garantizar la estabilidad y la impermeabilidad de la cortina. El tratamiento de la cimentación consiste, normalmente, en un inyectado de mezcla de lechada de cemento con algunos otros productos, lo que permite que la cimentación y la pantalla de inyección de la presa sean resistentes e impidan la filtración del agua.

La prioridad es dejar el cauce seco, para ello, se necesita construir una obra de desvío. En algunas ocasiones, este desvío es un túnel, a través del cual se redirige el cauce del río durante la etapa de construcción. Generalmente, estos túneles son de un gasto de diseño relativamente limitado; sin embargo, el ingeniero proyectista, al que nombraremos “Pepe”, debe diseñar la obra de desvío de tal manera que la probabilidad de que el agua llegue a sobrepasar la altura de las ataguías o de la cortina en construcción sea mínima, con probabilidades de falla de uno en cien o de uno en cincuenta. Las ataguías son estructuras de protección empleadas durante la construcción de la cortina. En el diseño del túnel se considera, por lo general, la avenida máxima histórica. Con esta información, “Pepe” debe

calcular la velocidad de construcción considerando que las avenidas no sobrepasen las ataguías o la cortina durante la temporada de lluvias. El recinto que se forma entre las ataguías, la cortina y la capacidad del túnel garantizan la seguridad de la presa durante esta fase.

Durante la etapa de diseño de la presa, “Pepe” tomará decisiones en las que se puede presentar un primer dilema. La primera decisión importante consiste en dimensionar la capacidad de la obra de desvío en función de la fecha de inicio y la velocidad de la construcción. Durante esta fase, se presentará una carrera para reducir la posibilidad de que el agua sobrepase la altura de las ataguías o de la cortina en construcción. “Pepe” tendrá que asignar una probabilidad de falla durante la construcción.

En la fase de diseño, “Pepe” se enfrentará no solo retos estructurales, sino también a los intereses del dueño de la presa. “Pepe” debe procurar que la probabilidad de falla se minimice, pero ello elevaría los costos, pues implicaría otras alternativas como: construir un túnel de mayor diámetro, desarrollar dos túneles, o incrementar la inversión para aumentar la velocidad de construcción. “Pepe” podría indicar que se requieren factores de seguridad adicionales para reducir las probabilidades de falla, aun cuando esto suponga una elevación de los costos y más tiempo para la construcción.

Si las avenidas llegan a causar una elevación del agua que sobrepase las ataguías o la cortina, se presentan dos consecuencias de relevancia. En primer lugar, se pierde gran parte del trabajo de la construcción de la cortina y, en ocasiones una parte de la cimentación, lo que representa una pérdida económica importante. En segundo lugar, la ruptura libera súbitamente el almacenamiento en la parte alta del vaso, lo que puede provocar una avenida súbita de grandes proporciones. Este evento puede provocar daños severos en las poblaciones aledañas e incluso la muerte de personas.

En la fase de construcción, quienes están a cargo de la obra, tratarán de desarrollar el proyecto a la velocidad estimada por “Pepe”. No obstante, pueden presentarse numerosos contratiempos difíciles de prever en el diseño. Por ejemplo, el tratamiento de la cimentación puede demorarse y complicarse más de lo esperado, también un aumento de las precipitaciones podría retrasar la construcción por dificultades en la explotación de los bancos de materiales. Otro factor que pudiera estar fuera de la proyección original de “Pepe” es que se presente una huelga de transportistas de camiones. Entonces, existen incontables imponderables fuera de su alcance. En la etapa de construcción, el ingeniero que desarrolle la infraestructura, al que nombraremos “Rafa”, se enfrentará a un segundo dilema: cumplir con las prioridades del contratante de bajar los costos del proyecto, o con la responsabilidad de ejecutar una obra más segura con menores riesgos.

Otro dilema se presenta también en la fase de construcción, se trata de la decisión crucial de decidir el momento adecuado para cerrar el desvío y que el agua se empiece a almacenar en el vaso. Una vez que se cierra el túnel, el nivel del agua se incrementa en el embalse. A partir de ese momento, es indispensable aumentar la elevación de la construcción a mayor velocidad que el incremento del nivel del agua en el vaso, ya que no habrá forma de desalojar el agua de la presa. “Rafa” deberá contemplar una serie de factores antes de decidir el momento de cerrar el desvío, ya que hacerlo de forma precipitada conllevaría numerosos riesgos, pero no hacerlo implicaría pérdidas económicas, no solo para los dueños de la presa, sino también para los usuarios que dependen de su funcionamiento.

Dependiendo del contrato, “Pepe” (que participó en la etapa de diseño) podría continuar con su participación en la etapa de construcción y tomar una decisión conjunta con “Rafa” para hacer los ajustes pertinentes al proyecto original. Además, “Rafa” (que participa en la etapa de construcción) deberá contemplar las posibles sanciones establecidas en el contrato con respecto al tiempo de construcción de la presa.

En esta etapa de construcción, “Rafa” se enfrentará al tercer dilema: cerrar la obra de desvío de inmediato o esperar al próximo año. Si decide esperar al siguiente año, se incumplen los contratos de construcción y se pierden una serie de beneficios económicos y sociales de la presa por un año, por ejemplo, para los agricultores que están esperando el agua para regar sus cultivos. Sin embargo, si las lluvias provocan un aumento en el nivel del agua en el vaso mayor a lo estimado, se pone en riesgo la presa y la población aguas abajo.

Un cuarto dilema se presenta una vez que se ha cerrado el desvío. Ante una precipitación extraordinaria que amenaza con llevar el nivel del vaso por encima de la elevación de la cortina en construcción, “Rafa” tendrá que decidir, entre la opción A: dar la voz de alarma y evacuar a la población aguas abajo, así como detener la construcción (lo que aumentaría la probabilidad de una ruptura y pérdida de la presa); o la opción B: continuar con la construcción con sección reducida, con altos riesgos, bajos factores de seguridad y afrontar las consecuencias en caso de provocar una catástrofe que podría significar incluso la pérdida de vidas humanas.

### **Principios éticos fundamentales**

Con base en los estatutos del Código de Ética del Colegio de Ingenieros Civiles de México, “Pepe” y “Rafa” deberían adoptar los siguientes principios:

Durante toda la cadena de valor de la presa deberán priorizar aquellas decisiones que:

*protejan la vida, la seguridad, la salud, el patrimonio y demás intereses presentes y mediatos de todos los integrantes de la sociedad* (principio 1).

En el proceso de planeación y diseño de la presa, “Pepe” deberá *comprometerse a aplicar buenas prácticas de ingeniería en todas las actividades y procesos en que participe, y hacer notar los casos en que éstas no se respeten* (principio 3). Es responsabilidad de “Pepe” *profundizar en el conocimiento y comprensión de la amplia gama de opciones tecnológicas disponibles para seleccionar la que en cada caso convenga aplicar, teniendo en cuenta las consecuencias para la sociedad* (principio 4). Además, deberá mediar la presión o los intereses particulares de la parte contratista que puedan sesgar su juicio o acciones (principio 9).

En la etapa de construcción, “Rafa” deberá, ante todo, garantizar la vida de las personas priorizando la seguridad. Por ello, deberá *cuidar sus determinaciones profesionales con base en información y datos objetivos, interpretados mediante su saber técnico* (principio 2) y apegarse a los criterios establecidos en el principio 3.

### **Posibles cursos de acción**

Tanto “Pepe” como “Rafa” deberán conducir sus decisiones bajo los preceptos de una ética deontológica (conjunto de deberes y principios éticos que conciernen a cada profesión), que

prioriza la seguridad y la vida de las personas. En particular, deberán mantener el principio 1 del Código de Ética del CICM como parte integral de su ejercicio profesional. Al mismo tiempo, aun en escenarios de alta incertidumbre, deberán orientarse por los razonamientos consecuencialistas para maximizar los resultados positivos de sus acciones en beneficio de la sociedad.

En los dilemas uno y dos, en los que se deberá prever los posibles riesgos y plantear los factores de seguridad necesarios, “Pepe” se enfrenta a los siguientes escenarios:

1. a) Recomendar factores de seguridad adicionales para reducir las probabilidades de falla, aun cuando esto suponga una elevación de los costos, más tiempo de construcción y, por lo tanto, una posible sanción para la empresa constructora.
2. b) Priorizar los intereses, presupuestos y recursos de la parte contratante, evitar las posibles sanciones establecidas en el contrato por el retraso en la construcción de la obra y optar por esquemas de seguridad bajos para el desarrollo del proyecto.

Considerando la postura de una ética consecuencialista, “Pepe” debería optar por minimizar el riesgo para la mayoría de las personas (pobladores aledaños y trabajadores de la obra, entre otros), aun cuando esto resulte en perjuicio económico de la parte contratante. El ingeniero civil tiene la obligación de explicar a sus clientes la importancia de adoptar elevados estándares de seguridad y los impactos negativos de no hacerlo, bajo argumentos económicos (reparación de daños, multas, indemnizaciones), sociales (seguridad de las poblaciones, marcos normativos, entre otros) y propios de la profesión (integridad y reputación de la ingeniería).

En los dilemas tres y cuatro, en los que se ha decidido cerrar el desvío en un contexto de altas precipitaciones no previstas durante la etapa de diseño, “Rafa” deberá afrontar los siguientes escenarios:

- a) Continuar con la construcción aguas arriba, aun cuando esto represente factores de riesgo muy altos y condiciones de seguridad bajas. Al continuar con la construcción, no se avisa a las poblaciones aledañas sobre el riesgo que representa la obra bajo estas condiciones.
- b) Detener la construcción de la presa, lo cual implica un aumento de riesgo de ruptura con elevadas pérdidas económicas, además de que se perderán los beneficios estimados de la presa para otros grupos (por ejemplo, para los agricultores). Se da alarma a la población para evacuar ante el riesgo de una avenida.

En esta situación, la responsabilidad del ingeniero civil debe ser salvaguardar y priorizar la vida de las personas aún sobre otros intereses, presiones o necesidades. En este caso, asumir el riesgo de continuar con la construcción de la presa puede derivar en pérdidas humanas. Además, si no se alerta y evacua a la población aguas abajo, se incurre en una violación al principio 1 del Código de Ética, por no informar con claridad las condiciones de seguridad y las medidas de prevención necesarias para preservar la integridad de las personas.

## Reflexiones finales

El Código de Ética del CICM es un instrumento fundamental para coadyuvar a resolver los dilemas a los que se enfrentan los profesionales en materia de seguridad durante el desarrollo de un proyecto de ingeniería en todas las etapas de la cadena de valor. Primeramente, porque actúa como un mecanismo preventivo, al orientar la toma de decisiones, y priorizar la vida y los intereses de la sociedad en su conjunto. Segundamente, porque permite al ingeniero orientar y justificar sus acciones, recomendaciones y proceder técnico cuando existan disputas entre múltiples intereses. Como se observó en las situaciones planteadas, implementar un comportamiento ético en la profesión garantiza la adopción de las mejores prácticas en contextos de alta incertidumbre.

## Referencias

1. CICM. (2019). Código de Ética. <http://cicm.org.mx/codigo-de-etica/>
2. Starrett, S. K.; Lara A. M. and Bertha, C. (2017) Engineering Ethics: Real World Case Studies.
3. ICOLD. (2006). Code of Ethics. Special Note 1. <https://www.icold-cigb.org/userfiles/files/CIRCULAR/CL1740Ethics.pdf>
4. ICOLD. (2019). World Declaration on Dam Safety. [https://www.usdams.org/wp-content/uploads/2020/01/World-Declaration-on-Dam-Safety\\_final.pdf](https://www.usdams.org/wp-content/uploads/2020/01/World-Declaration-on-Dam-Safety_final.pdf)
5. Zielinski, P. (2011). Concept of safety and safety requirements for dams. Proceedings of the International Symposium on Dams and Reservoirs under Changing Challenges 79 Annual Meeting of ICOLD.

## Links relacionados

Descarga la infografía relacionada con este dilema ético:

<https://cicm.org.mx/wp-content/uploads/Infograma-Dilema-7.pdf>

Escuche el podcast en inglés relacionado con este dilema ético en Spotify:

[https://open.spotify.com/episode/4GpadlRPCTL51mjk7qAGWD?si=eTFztklkRpGRI\\_tRDIEfgA](https://open.spotify.com/episode/4GpadlRPCTL51mjk7qAGWD?si=eTFztklkRpGRI_tRDIEfgA)