

Gestión de recursos hidráulicos bajo riesgo de terremotos en Ecuador: 2. Evaluación de seguridad

Leslie F. Molerio León

Inversiones Gamma, S.A, La Habana, Cuba

Email: especialistaprincipal@gmail.com; leslie@div.gamma.com.cu

RESUMEN

En la segunda parte de este trabajo se revisan los criterios de gestión del parque de presas de Ecuador construido y en operación sobre la vertiente sismotectónicamente inestable del Pacífico. Se consideran en particular los requerimientos de monitoreo geológico, geofísico e hidrológico asociados con los eventos sísmicos.

Palabras clave: Ecuador, monitoreo, recursos hidráulicos, rotura de presas, terremotos, tsunami.

Management of Ecuador water resources under earthquakes risk: 2. Security assessment

ABSTRACT

The second part of this study reviews some of the most important management criteria of the operating dams in the seismotectonic unstable Pacific slope of Ecuador. Geological, geophysical and hydrological monitoring associated with seismicity are particularly accounted.

Keywords: Ecuador, monitoring, water resources, dam failure, earthquakes, tsunami.

INTRODUCCIÓN

La gestión de los recursos hídricos se fundamenta en, y tiene como objetivo, la reducción permanente y sistemática de la incertidumbre con respecto a la disponibilidad de agua. El conocimiento de las variables del balance hídrico debe mejorarse mediante el diseño y operación de redes eficientes de monitoreo hidrológico.

Pero en los territorios bajo peligros sísmicos y volcánicos, esta incertidumbre no es sólo hidrológica, sino también geológica y geofísica. Si bien la incertidumbre en los cambios futuros en el uso de la tierra y el agua podría reducirse mediante una adecuada planificación del agua y ordenamiento territorial, los terremotos siguen estando rodeados por un componente dominante de incertidumbre. Sin embargo, todos estos riesgos tienen que ser evaluados y balanceados de conjunto.

La gestión del agua bajo riesgo geológico debe considerarse de dos maneras; a saber, a) la satisfacción a medio y largo plazo de la demanda de agua evitando la escasez o falla del sistema de abastecimiento de agua y b) la disponibilidad inmediata de agua después de un terremoto y sus consecuencias, para así poder responder a los incendios, garantizar el abastecimiento de agua potable (incluyendo agua para cocina), la limpieza y saneamiento (incluyendo baños) y la compactación de escombros.

Para cumplir con las necesidades anteriores, existe un grupo de acciones que deben formar parte de un sistema integral de gestión del agua bajo amenazas geológicas, como:

- Evaluación de la seguridad de la presa
- Implementación de sistemas de vigilancia de seguridad y Sistemas de Alerta Temprana
- Actualización de los datos de diseño
- Desarrollo de recursos hídricos subterráneos y uso de las aguas superficiales y subterráneas como recurso único
- Disponibilidad de agua para responder a los incendios
- Potabilización de las aguas con sistemas de energías renovables
- Evaluación de los procesos de sedimentación

En el caso de Ecuador, una reingeniería de su filosofía de gestión del agua y su modelo conceptual podría ser relevante y eficaz, aprovechando las lecciones que se derivan del terremoto del 16 de abril de 2016.

Requiere una visión nacional actualizada que debe incluir el peligro geológico en la trayectoria de la función que va desde el conocimiento mejorado de la entrada (la oferta hídrica) y la administración sostenible de la salida (suministro de agua).

De acuerdo con los criterios de la UNESCO, el agua sólo es útil si está disponible en el momento preciso, en el lugar correcto, en cantidades suficientes y con la calidad deseada.

Durante años, los administradores de los recursos hidráulicos han sido capacitados para resolver los problemas de la gestión del agua mediante medidas de ingeniería: construcción de presas, desvío de ríos, perforación de pozos de agua, desecación de tierras o protección contra inundaciones. Este siglo requiere un paradigma diferente basado, ahora, en la gestión de la demanda de agua.

Como se ha señalado en este documento en un clima cambiante que introduce nuevos patrones hidrológicos, la infraestructura hidráulica en funcionamiento tiene que ser reevaluada y los nuevos proyectos no deberán ser diseñados, construidos y operados bajo los esquemas antiguos que, a su vez, deben ser actualizados.

Esto no es un problema pequeño o insignificante porque los datos de series temporales disponibles sobre variables hidrológicas no son tan largos o confiables como para permitir la identificación de variaciones o variabilidades en las series temporales, suelen ser estadísticamente incongruentes o exhiben una distribución geográfica deficiente.

Pero de nuevo, el éxito en la operación permanece en a) la capacidad del sistema hidráulico de proporcionar agua adecuadamente, incluso en eventos extremos y b) que las obras sean estructuralmente seguras para prevenir fallas y daños a la población aguas abajo y evitar lesiones irreversibles o irreparables al medio ambiente.

EVALUACIÓN DE SEGURIDAD Y SISTEMAS DE MONITOREO

Las cuencas hidrográficas y no sólo las obras de regulación deben instrumentarse para mejorar y mantener la prevención de eventos extremos geológicos, sísmicos e hidrológicos.

La falta de datos geológicos, geofísicos e hidrológicos aguas arriba de los ríos regulados evita la prevención del mal funcionamiento del sistema hidráulico y el diseño de medidas efectivas de adaptación o mitigación estructural y no estructural.

La mayor parte de la Cuenca del Pacífico de Ecuador muestra, por ejemplo, que los deslizamientos de tierra son una de las características más comunes del paisaje. Los derrumbes producen bloqueo del río y un aumento de la tasa de sedimentación que, a su vez, reduce los volúmenes de agua del embalse.

Cuando se asocian con fallas activas vinculadas con el embalse, o incluso la presa, podrían contribuir a su falla. No existen sistemas de monitoreo de la inestabilidad de las pendientes en el país (figura 1).

En particular, es altamente recomendable desarrollar estudios paleosismológicos para mejorar el conocimiento del período de retorno de los terremotos y sus efectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos sobre las cuencas hidrográficas. Junto con la neotectónica, estas zonas tienen que ser adecuadamente monitoreadas.

ACTUALIZACIÓN DE LOS DATOS DE DISEÑO DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS

Los datos de diseño de las presas y obras hidráulicas deben actualizarse sistemáticamente.

Esto no sólo debe ajustarse sistemáticamente con el estado del arte de proyectos de ingeniería sino, en este caso, con la información de la variación y variabilidad de los parámetros hidrológicos bajo las consecuencias del cambio climático y considerando la aparente reducción del tiempo de recurrencia de los terremotos como parece derivarse de la interpretación de los datos sismológicos registrados en Ecuador.

SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA (SAT)

Los Sistemas de Alerta Temprana deben contribuir a resolver la mayor incertidumbre respecto a cuán temprana debe ser la alerta para que sea efectiva y, por otra parte, cuán temprano puede ser previsto un sismo para ser incluido en tal sistema. Estas preguntas plantean problemas que son muy difíciles de responder.



Figura 1. Desmantelamiento parcial de un tramo del Canal Crucita por soliflucción. Este proceso comprimió las paredes revestidas con hormigón del canal, causando fracturamiento y un estrechamiento de casi dos metros (foto del autor)

Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) es un conjunto de tecnologías, políticas y procedimientos diseñados para predecir y mitigar el daño de desastres naturales y provocados por humanos y otros eventos indeseables. La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD) de las Naciones Unidas recomienda que los sistemas de alerta temprana tengan los cuatro componentes siguientes:

- Conocimiento del riesgo: los datos deben ser sistemáticamente recolectados y analizados y evaluaciones de riesgo realizadas.
- Servicio de vigilancia y alerta: deben establecerse sistemas para vigilar los peligros y proporcionar servicios de alerta temprana.
- Difusión y comunicación: se debe entregar información de riesgo y mensajes de alerta temprana.
- Capacidad de respuesta: deben establecerse sistemas para responder a los eventos.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS 2016) afirma que una advertencia anticipada entre unos pocos segundos a varios minutos puede permitir que las personas y los sistemas tomen acciones para proteger la vida y la propiedad de las sacudidas destructivas.

Más aún, el USGS señala que unos segundos de advertencia pueden facilitar acciones protectoras para los ciudadanos, incluidos los escolares, que se retiran o se protegen, permite apagar las estufas y detener los vehículos con seguridad. Asimismo, pudiera permitir que el personal que labora en esos momentos pueda trasladarse a lugares seguros, que los sistemas automatizados garanticen que las puertas de los ascensores se abran y las líneas de producción se cierren.

Algo importantísimo es que los cirujanos, dentistas y otros detengan los procedimientos delicados y se alistén para servir de apoyo en la eventualidad de catástrofe, se activen los bomberos, el personal de defensa civil y se preparen y prioricen las decisiones de respuesta. Incluso, permitiría proteger las centrales eléctricas y las instalaciones de la red contra fuertes sacudidas.

Recientemente, en California, EE.UU, se ha ensayado un SAT contra sacudidas sísmica (ShakeAlert) diseñado para operaciones redundantes y confiables e incluye servidores distribuidos geográficamente, y permite la conmutación automática si se pierde la conexión eléctrica (Given et al. 2014).

DESARROLLO DE LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Este es un capítulo olvidado en los países donde abundan los recursos hídricos superficiales. Sin embargo, es bien sabido que las aguas superficiales son más susceptibles a los efectos hidrológicos negativos (agotamiento, contaminación) que los subterráneos, debido a la forma diferente en que se forman las escorrentías y a las diferencias de resiliencia, memoria y autorregulación.

Las aguas subterráneas conservan su calidad mejor que las aguas superficiales y podrían utilizarse, incluso en acuíferos de baja productividad, para satisfacer la demanda de agua para pequeños agricultores o industrias. Pero, aun así, los recursos hídricos subterráneos podrían contribuir a satisfacer no sólo parte de la demanda permanente, sino que podrían ser la única fuente de agua disponible en caso de colapso del sistema de abastecimiento de agua superficial durante un terremoto.

Esta ventaja de los recursos de agua subterránea es más relevante en situaciones de emergencia. Podría ser incluso socialmente más ventajoso si para esas emergencias en que falla la electricidad, las obras de captación están bien equipadas con sistemas de bombeo basados en energías no renovables como molinos de viento y/o dispositivos manuales.

USO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS COMO RECURSO ÚNICO

Está bien establecido que las aguas superficiales y subterráneas son un solo recurso (Winter et al. 1988). El agua superficial comúnmente está conectada hidráulicamente con las aguas subterráneas, pero las interacciones son difíciles de observar y medir y comúnmente han sido ignoradas en las consideraciones y políticas de manejo del agua de muchos países.

De acuerdo con este hecho, la visión nacional de la gestión de los recursos hídricos en el Ecuador pudiera mejorarse ostensiblemente incorporando un conocimiento firme sobre los sistemas de aguas subterráneas. El desarrollo de éstas debe considerarse debidamente como parte del marco conceptual de la política nacional de gestión del agua.

EXTINCIÓN DE INCENDIOS

Los incendios son una característica común asociada con los terremotos. El más famoso fue el del terremoto de 1906 en San Francisco que causó el 90% de los daños. Los incendios son provocados principalmente por la caída de líneas eléctricas y el escape de gas natural cuando los ductos se quiebran.

Una complicación adicional viene entonces cuando las líneas de agua están rotas y por lo tanto no hay agua para extinguir el fuego. La respuesta eficaz a la extinción de incendios solo se puede cumplir si hay estructuras seguras que puedan proporcionar agua en cantidad suficiente para tener éxito. Por lo tanto, esta es otra razón a tener en cuenta en la gestión del agua de los países bajo riesgo de terremoto.

POTABILIZACIÓN CON SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE

La calidad del agua siempre se deteriora después de un terremoto. Este efecto secundario disminuye las capacidades de saneamiento y contribuye a las epidemias, especialmente cuando los ductos de las plantas de potabilización o de aguas residuales se destruyen.

La manera adecuada de prevenir este problema y resolver este efecto secundario de los sismos debe ser incluida en la política de manejo junto con las medidas y recursos adecuados para hacer que esta agua sea apta para el consumo humano.

Ciertamente, las aguas subterráneas son más seguras que las aguas superficiales. Pero en estas condiciones de emergencia es incluso mejor disponer de aguas subterráneas aptas para el uso, lo que refuerza la necesidad de evaluar los recursos hídricos subterráneos y diseñar métodos adecuados para su desarrollo y captación.

SEDIMENTACIÓN, DESLIZAMIENTOS DE TIERRAS, PROCESOS DE LICUEFACCIÓN Y SUFUSIÓN

El aumento de los procesos de sedimentación es un efecto secundario de los terremotos. La mayor contribución proviene de los deslaves y deslizamientos de tierra, de tal manera que la cantidad de sedimentos que llega al embalse no puede ser anticipada por el modelado hidráulico tradicional del transporte de sedimentos.

Las áreas sensibles tienen que ser identificadas y monitoreadas. Los desprendimientos de tierra también pueden bloquear los cursos de los ríos aguas arriba o aguas abajo, limitando el drenaje normal o, aún peor, desviando los cursos de agua y contribuyendo a inundaciones indeseables en sitios no previstos, sobre todo en aquellos asociados a paleocauces no considerados o urbanizados. Esto último es un caso muy común en el Ecuador (figura 2).

La licuefacción es otro factor que contribuye a los deslizamientos de tierra, el relleno por sedimentos del embalse por sedimentación y la destrucción de las estructuras hidráulicas (figura 3). Particularmente en el caso de los sedimentos que son susceptibles a este proceso o cuando el nivel freático está muy cerca de la superficie, el monitoreo geológico debe considerarlo dentro del programa general de manejo del agua.

Durante el terremoto ocurrido el 16 de abril de 2016 en Ecuador, el nivel de agua subterránea registró una subida de varios metros y afloró a la superficie en algunas áreas de Don Juan, cerca de Jama, Manabí.

La sufusión es la erosión mecánica debida a la dispersión y disolución en el suelo, el regolito y sus materiales originales producidos por el agua subsuperficial en movimiento. Bajo flujo ascendente se lavan los granos más pequeños que rellenaban las grietas más o menos verticales, lo que produce un ensanchamiento de éstas y el consiguiente colapso modificando completamente el relieve creando barrancos y tierras yermas (badlands).

En general, producen una inestabilidad adicional del terreno cuando la resistencia de los sedimentos a la compresión disminuye por la migración de los sólidos de relleno, creando espacios vacíos.



Figura 2. Series de deslizamientos en Puerto Cayo, Manta, Ecuador
(foto del autor)



Figura 3. Pilotes cizallados por licuefacción en Manta, Ecuador,
como consecuencia del sismo de Abril 16, 2016
(foto del autor).

CONCLUSIONES

El modelo conceptual de gestión del agua que se discute en este trabajo se basa en la necesidad de insertar el riesgo geológico asociado con terremotos como elemento discriminante para definir el uso y protección del agua.

Los peligros geológicos son las condiciones de borde que controlan la planificación, diseño, construcción, operación, distribución, monitoreo y reutilización de los recursos hídricos de Ecuador. Por extensión, en aquellos países bajo esta amenaza geológica.

La visión nacional de la gestión de los recursos hídricos bajo estrés geológico y, en particular, de los terremotos deben actualizarse en la mayor parte de los países.

Ecuador es un buen ejemplo de cómo una infraestructura hidráulica bien desarrollada y un plan racional de recursos hídricos necesita considerar en toda su magnitud las condiciones geológicas y geofísicas de borde que ponen en peligro todo el sistema de abastecimiento de agua en caso de terremotos.

La eventual combinación de estos eventos junto con un aumento de la actividad volcánica o con fuertes lluvias e inundaciones subsiguientes podría ser desastroso.

El catastrófico terremoto del 5 de marzo de 1987 en Napo ($M_w = 6,9$) ocurrió combinando una fuerte tormenta y grandes deslizamientos de tierra que provocaron 3,000 fallecidos, 5,000 desaparecidos, 75,000 viviendas destruidas y pérdidas económicas por 2 billones de dólares. Los mayores daños fueron causados por deslizamientos, deslaves, desprendimientos de rocas e intensos procesos erosivos.

Si ya se han registrado estos eventos desfavorables en el pasado, es obvio que hay que tenerlos en cuenta para tener éxito en la correcta planificación de los recursos hídricos a futuro y, más aún, en la garantía de vidas humanas y propiedades.

Varias medidas estructurales y no estructurales deben considerarse en el contexto de la gestión de los recursos hídricos afectados por los efectos secundarios de los terremotos y el riesgo geológico asociado.

Entre las más importantes se cuentan la reubicación de la población o evitar su ubicación en zonas propensas a riesgos, la construcción de diques de contención en ciertos tramos de los cursos fluviales y las medidas de protección contra el lavado y la erosión, como revestimiento con hormigón y enrocamiento (incluyendo rompeolas), la compactación dinámica de los suelos, incluida la lechada o incluso utilizando sistemas profundos de cimentación y drenaje, la actualización de las normas y estándares nacionales, códigos para el diseño y la construcción y una supervisión estatal fuerte de los proyectos públicos y privados.

Como resultado de este estudio, las autoridades encargadas de la gestión de los recursos hidráulicos en el país deben proceder del modo siguiente:

1. Iniciar un programa integral de evaluación de la seguridad de las obras hidráulicas basado en el contexto geológico, geofísico, hidrológico, geomorfológico e hidráulico de las áreas de mayor riesgo natural de la vertiente del Pacífico ecuatoriano.
2. Categorizar las presas y embalses del país sobre la base de criterios modernos de seguridad
3. Desarrollar una gestión integral de proyectos (operación, mantenimiento, monitoreo ambiental y estructural) de las cuencas reguladas por las presas, sobre la base de una jerarquización de su categoría de seguridad jerárquica.
4. Revisar y actualizar las normas y reglamentos de diseño y construcción para adaptarlos a la situación de amenaza y al riesgo previsible.
5. Revisar las estructuras hidráulicas en funcionamiento y adoptar las medidas de ingeniería necesarias para satisfacer la necesidad de un funcionamiento eficiente y la seguridad de la infraestructura hidráulica.
6. La implantación de un sistema integral de monitoreo (geofísico-sísmico en particular geológico, hidrológico, hidráulico) en las presas operantes y en las zonas con perspectiva de ser reguladas artificialmente.

REFERENCIAS

- Given D. D., Cochran E. S., Heaton T., Hauksson E., Allen R., Hellweg P., Vidale J. and Bodin P. (2014).** “Technical implementation plan for the Shake Alert production system—an earthquake early warning system for the West Coast of the United States”. U.S. Geological Survey, Open-File Report 2014–1097, Reston, Virginia, USA.
- USGS (2016).** “Earthquake Early Warning”. United States Geological Survey, Denver, Colorado, USA, Extraído de: <http://earthquake.usgs.gov/research/earlywarning/> en Octubre 2017.
- Winter T. C., Harvey J. W., Lehn Franke O., Alley W. M. (1998).** “Ground Water and Surface Water A Single Resource”. United States Geological Survey, Circular 1139, ISBN 0–607–89339–7-79, Denver, Colorado, USA.