



GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS BAJO AMENAZAS GEOLÓGICAS Y EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS

WATER RESOURCES MANAGEMENT UNDER GEOLOGICAL THREATS AND EXTREME HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS

 LESLIE F. MOLERO LEÓN,  ANA M. SARDIÑAS GÓMEZ

INVERSIONES GAMMA, S.A. Apartado 6246, CP 10600, Habana 6, La Habana, Cuba. E-mail: especialistaprincipal@gmail.com, anuchy54@gmail.com

Palabras clave:	Resumen
presas amenazas geológicas lluvias torrenciales	La gestión integrada adecuada de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) se complica mucho cuando es necesario implementarla bajo condiciones de borde extremas, asociadas a las amenazas y riesgos derivados de la dinámica endógena (vulcanismo, terremotos), exógena (lluvias intensas, inundaciones, penetraciones del mar) y sus combinaciones (movimiento de laderas, subsidencia y hundimientos de terreno). Estos tres grupos de problemas se manejan bajo gran incertidumbre y solo algún pronóstico a corto plazo puede hacerse de ciertos eventos hidrometeorológicos, como los asociados a lluvias intensas y a huracanes, mas no de aquellos que resultan del cambio climático, cuyo comportamiento general es solo descrito como resultado de la modelación de diferentes escenarios y a grandes escalas. Los resultados de la ocurrencia simultánea de erupciones volcánicas, terremotos, lluvias torrenciales y movimiento de laderas y hundimientos ha sido la causante de los mayores desastres de las infraestructuras hidráulicas. Esta contribución describe algunos ejemplos y aborda tanto los enfoques de investigación como los de proyección, construcción y operación de cuencas hidrográficas reguladas artificialmente que presentan vulnerabilidades geológicas e hidrológicas extremas.
Key words:	Abstract
dams geological threats heavy rains	The proper integrated management of water resources (surface and groundwater) is hardly complicated when it has to account under extreme boundary conditions linked to endogenous dynamics threats and risks (volcanism, earthquakes), exogenous dynamics (heavy rainfall, floods, sea penetration) and its combinations (landslides, subsidence, liquefaction). These three groups of problems are managed under very high uncertainty and only few events could be forecasted at short times (heavy rainfall and rainy hurricanes) far away from those related with Climate Change that only can be generally described as a result from mathematical modelling of different scenarios. The simultaneous onset of volcanic eruptions, earthquakes, heavy rains, landslides and subsidence has caused the major disasters of the hydraulic infrastructure. This contribution describes some examples and emphasizes the research, design, construction and operation of artificially regulated hydrographic basins subjected to extreme geological and hydrometeorological extremes.

Introducción

La gestión de recursos hídricos bajo condiciones extremas en que se combinan y actúan en un mismo punto peligros geológicos, hidrológicos y geomorfológicos no suele ser considerada de manera combinada en el planeamiento de la infraestructura hidráulica. Ciertamente, se evalúan sus probabilidades de ocurrencia de manera individual y se diseñan las obras y su operación para casos individuales y no simultáneamente (Molerio, 2021a).

El tipo de evento supercrítico en que sobre un mismo punto vulnerable actúen simultáneamente lluvias intensas, crecidas súbitas e inundaciones (cuya probabilidad haya sido considerada o no), movimientos de ladera (deslizamientos de tierra, subsidencia, desprendimientos de roca), vulcanismo y terremotos es considerado extraordinariamente raro y realmente de una probabilidad muy baja. Sin embargo, no son pocos los casos en que ello ha ocurrido, causando estragos inimaginables y casi fuera de la más remota posibilidad de ser previstos y controlados.

Recibido: 28 de junio de 2023

Aceptado: 01 de julio de 2023

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Esos desastres son magnificados por la vulnerabilidad de las obras de infraestructura, debidas a un grupo de “causas ocultas” (De Membrillera et al., 2005; 2015) asociadas - esencial pero no únicamente- a cambios en el uso de la tierra, diseños anticuados, defectos de construcción, cambios en los patrones hidrometeorológicos, inestabilidad geológica del valle, la base de la presa y/o reactivación de fallas geológicas, falta de mantenimiento y financiamiento y hasta bombardeo en situaciones de guerra (De Membrillera et al., 2015; Howard, 2015; Molerio, 2020).

Los escenarios previstos de Cambio Climático y, particularmente, los asociados a los cambios en los patrones hidrometeorológicos de lluvia y, por consiguiente, de escurrimiento superficial (y subterráneo) presuponen un incremento en el peso específico de la amenaza hidrológica actuando sobre un parque de obras hidráulicas envejecido, con poco mantenimiento, con sus reglas de operación desactualizadas y azolovado. La iniciativa de **Reingeniería geológica, hidrológica e hidráulica del Cambio Climático** busca, precisamente, solventar algunas de estas deficiencias y construir resiliencia de la infraestructura hidráulica actual para garantizar la estabilidad de las obras ante eventos extremos (Molerio, 2021b, 2021c; 2022a, 2022b).

La lista de sucesos catastróficos resultado de la superposición de eventos geológicos, geofísicos, geomorfológicos e hidrometeorológicos es extensa y preocupante. Las extraordinarias cifras de pérdida de vidas humanas y bienes ameritan una atención especial al modo en que pueda responderse a estos eventos supercríticos y definir en cada caso, las medidas estructurales y no estructurales adecuadas para minimizar los daños sociales y económicos. Adicionalmente, no es menos importante perfeccionar los métodos de cálculo para ciertos fallos de obras (incluso los fallos globales) y los de pronóstico de eventos hidrometeorológicos extremos.

El cambio en los patrones de lluvia y, por ende, de escurrimiento, es un factor detonante en el fallo de la infraestructura cuando se trata, sobre todo, de eventos de muy baja probabilidad de ocurrencia (Figs. 1-3). Pero la variación (y la variabilidad) climática determinan que indicadores clave, como la intensidad de la lluvia o el tiempo de concentración de las avenidas, asociadas a las modificaciones en el uso de la tierra aguas arriba (pero también aguas abajo) sigan siendo modificados y transforman las respuestas de diseño, creando fenómenos nuevos en magnitud no prevista. La capacidad de autorregulación del sistema de pendientes disminuye cuando, además, el punto de interés está afectado por sismos en el mismo momento. Esta focalización en los eventos hidrometeorológicos extremos de baja probabilidad como factor detonante (triggering) entra en el esquema como factor asociado a escenarios extremos de Cambio Climático.



Figura 1. Fallo de la Cortina de la Presa Malpasset, Francia, en 1959 (Farook, 2013)

Figure 1. Failure of the Malpasset Dam, France, 1959 (Farook, 2013)



Figura 2. Fallo de la presa Vajont, Italia en 1963 (De Membrillera, 2015)

Figure 2. Failure of the Vajont Dam, Italy, 1963 (De Membrillera, 2015)



Figura 3. Presa San Francisco, Estados Unidos, en 1928 (Farook, 2013)

Figure 3. San Francisco Dam, United States, 1928 (Farook, 2013)

Este artículo comenta algunos casos de coincidencia de fenómenos extremos hidrometeorológicos, geomorfológicos y geólogo-geofísicos que han producido grandes desastres en obras hidráulicas. Tanto más importante porque los evidentes cambios en el régimen hídrico en los últimos años encuentran una situación límite con respecto a la infraestructura hidráulica existente (en operación o no).

Situación actual

Como se la resumido en un trabajo anterior (Molerio, 2022b), estos efectos del Calentamiento Global modificadores de la escorrentía superficial (y también de la subterránea) se están produciendo en un escenario de:

- Un balance hídrico desactualizado, básicamente debido - en el caso de las aguas superficiales- a la discontinuidad de las series de observaciones hidrológicas e hidrometeorológicas, el azolvamiento de los embalses (Laiz y Flores, 2010 han reportado entre el 18,5 y 37,8% de pérdida de capacidad en algunos embalses cubanos y nosotros hemos encontrado pérdidas entre el 20 y 30% en embalses de Ecuador y Panamá,(Costa, Molerio y Upadhyay, 2014; Molerio, 2018a, 2018b), la reducción de las áreas de alimentación y, -en las subterráneas, también la escasa y deficientemente procesada data hidrogeológica, las captaciones no autorizadas, una creciente pérdida de calidad de los recursos subterráneos debido a su contaminación, escasas acciones de creación de datos nuevos cuantitativos (en el que se incluye el mejoramiento del diseño y operación de las redes de monitoreo), ausencia de políticas de reposición de las reservas y el aumento de las presiones sobre el recurso asociadas a urbanizaciones irregulares, migraciones y la intrusión marina creciente en estados insulares y acuíferos costeros continentales (IPCC, 2020)
- Envejecimiento del parque de presas (almacenadoras, derivadoras, hidroeléctricas, de relaves), puentes, viaductos y obras hidráulicas en general, con el incremento del riesgo de fallos estructurales de estas obras
- Modificaciones del uso de la tierra y el agua en las cuencas reguladas (tanto aguas arriba como aguas abajo) con posterioridad a la construcción de las obras reguladoras; entre ellas, la tala de bosques, incendios forestales, urbanización con las consabidas consecuencias en:
 - Aumento de la erosión y de los sólidos transportados por la escorrentía directa y difusa, entarquinamiento de cauces fluviales, embalses y canales

- Eutrofización de embalses y emisión de gases de efecto invernadero
- Reducción de las capacidades de generación de energía hidroeléctrica por déficit de lluvia y, por ende, de escurrimiento
- Urbanización (o suburbanización) creciente, pocas veces planificada, y crecimiento u ocupación desordenada en los cauces de ríos estacionales, planos de inundación y vertientes inestables aguas abajo y en las áreas de embalse, o abandono de las tierras, incremento de los coeficientes de escurrimiento pro pavimentación y, el peligro siempre latente, de canalización y enterramiento de antiguos ríos, tanto contemporáneos como paleoríos (Molerio, 2021d)
- Reducción de acciones gubernamentales de hidrología operativa, particularmente de servicios de monitoreo y prevención hidrológica
- Desactualización de las curvas de despacho de los operadores de embalses, en muchos de los cuales se trabaja con los gráficos de diseño sin considerar el azolvamiento de los embalses ni el desarrollo de la vegetación acuática, entre otros
- Modificaciones de los hidrógrafos de avenida, en particular, con una fuerte alteración de los tiempos de concentración, los picos y forma de las crecidas y los tiempos de tránsito; el fenómeno de crecidas instantáneas (flash floods) imprevisibles

Eventos críticos simultáneos

En el resumen histórico de los 15 fallos de presas de Farooq (2013), trece se deben a eventos de lluvias torrenciales que provocaron crecidas fuera de cálculo, uno de los cuales se combinó con terremotos y movimientos de ladera (básicamente de deslizamientos de tierra). La compilación de la Tabla 1¹ destaca 13 de 18 casos, mostrando el dominio de los problemas hidrológicos en el fallo de presas y sus efectos combinados con movimiento de laderas y la sismicidad.

Catástrofes asociadas a fuerte cambios en el régimen hidrológico en las delicadas etapas de construcción y llenado de las presas exigen evaluaciones más cuidadosas del problema, como ha sido el caso del complejo de Hidroituango, en Colombia, que amenazó la vida de casi 100000 personas durante la crecida del Cauca en mayo del 2018 en pleno proceso de construcción. En 1999, como consecuencia de lluvias torrenciales y extraordinarias crecidas tres presas venezolanas fallaron, una en abril y dos consecutivamente en diciembre 16 y 17 (El Cristo, El Guao y Játira).

¹Se excluye la presa Edersee (Alemania) bombardeada por la real Fuerza Aérea Británica en mayo 17, 1943 durante la Segunda Guerra Mundial. Tampoco se incluyen, por falta de datos, los bombardeos de Estados Unidos a los diques durante la Guerra de Viet Nam

Tabla 1. Eventos críticos de fallo de presas (según Anderson et al., 1998; Farooq, 2013; DE Membrillera, 2014; Caballero et al., 2015; Suárez y Suárez, 2016 y compilación de los autores). Clave: LL lluvias torrenciales; C, Crecidas; FC, Fallas constructivas; IG, Inestabilidad geológica de taludes o cimentaciones; S, sismicidad; nd, sin datos.

Table 1. Critical events of dam failures (after según Anderson et al., 1998; Farooq, 2013; De Membrillera, 2014; Caballero et al., 2015; Suárez y Suárez, 2016 and author's compilation). Key: LL, heavy rainfall; C, floods; FC, constructive failure; IG, geological instability of slopes or foundations; S, seismicity; nd; no data

Caso	País	Fecha	Causa directa	Pérdidas en vidas humanas
Hidroeléctrica Ambuklao Hidroeléctrica Binga Derivadoras Masiway, Patabangan, Aya Creek Aya Creek 1 y Patabangan s.s.	Filipinas	16/07/1990	S	nd
Kelly Barnes	EE.UU	06/11/1977	LL + C	39
Lower Otay	EE.UU	01/1916	LL + C	44 -100
Austin	EE.UU	30/09/1911	LL + C+ FC	78
Austin	EE.UU	1935	LL +C	ND
Shakidor	Pakistán	02/2005	LL + C	70
Arroyo Bufalo	EE.UU	16/02/1927	LL + C	125
Mill River	EE.UU	05/1874	FC	139
Gleno	Italia	01/12/1923	FC	356
Malpasset	Francia	02/12/1959	LL + C + FC + IG	453
Mina Plakalnitsa	Bulgaria	1966	FC	107-500
San Francisco	EE.UU	12/03/1928	IG	600
Pantano de Puentes	España	1802	LL + C	229
Vajont	Italia	09/10/1963	LL + C + IG + S	2000
South Fork	EE.UU	21/05/1889	LL + C + FC	2209
Napo	Ecuador	05/09/1987	LL+ C + IG	3000 fallecidos 5000 desaparecidos
Machchu II	India	08/1979	LL + C	1800-15000
Banqiao y Shimantan	China	08/1975	LL + C	171000

Temas clave de la gestión bajo amenazas geológicas e hidrometeorológicas

La terrible experiencia muestra cómo hay aspectos fundamentales que no pueden estimarse ni minimizarse. Generalmente el soporte financiero y los presupuestos destinados a la investigación se sacrifican ante los de proyección y construcción, así como se reducen los destinados al monitoreo y mantenimiento de las obras en operación. De esta manera, cinco temas que no pueden descuidarse en lo absoluto para una gestión eficiente y segura de la infraestructura hidráulica serán brevemente abordados; esto es: a) diseño hidrológico; b) avenida de diseño; c) diseño geológico; d) monitoreo y e) mantenimiento (Marengo, 1996; Ramírez, 2011; Tosun, 2015; González Guedes y Rodríguez, 2017; Apaydın, Korkmaz y Ciftci; 2019; Doaemo et al, 2021).

Diseño hidrológico

Los factores hidrológicos a considerar incluyen frecuencia de avenidas, volumen pico y distribución en el tiempo de las avenidas, nivel inicial del embalse antes de recibir la avenida, sedimentos en el embalse, escombros alrededor de la presa y oleaje por viento que, bajo la

variabilidad (o variación) registrada como consecuencia del Cambio Climático deben ser actualizados incorporando la data hidrometeorológica y los resultados del monitoreo a la data original para evaluar la capacidad de resiliencia de la presa y el embalse. Influyen particularmente los aspectos asociados al cambio del uso de la tierra y las aguas en la cuenca superior del cierre de la presa y el modo en que ello han cambiado los coeficientes de escurrimiento y el tiempo de concentración a lo largo del cauce.

Avenida de diseño

La intensidad de las precipitaciones asociadas al Calentamiento Global es un hecho observado en muchos sitios respaldado por la termodinámica de la relación de Clausius-Clapeyron. El fenómeno es de especial interés por su asociación con las avenidas súbitas, inundaciones y sus efectos geológicos colaterales. Constituye, en sus componentes de frecuencia y duración, uno de los elementos básicos de diseño de obras de regulación artificial del escurrimiento. Particularmente en las ciudades es un fenómeno a tener en cuenta por sus efectos devastadores ante eventos de lluvia que las redes no pueden evacuar. **El IPCC ha indicado que los eventos de lluvias torrenciales en la frecuencia de 10 y 50 años pueden hasta triplicarse,**

lo que significa que las infraestructuras que se esperan cada 50 años pueden esperarse tres veces en ese período.

Las curvas I-F-D, entonces deben ser reajustadas ante el hecho real del incremento de la intensidad, la frecuencia y duración de las precipitaciones, pero su principal obstáculo es la necesidad de incorporar la data pluviográfica y no pluviométrica, basada esta en mediciones diarias, sino que se necesitan intervalos más cortos. Tamm et al. (2023), particularmente, ha mostrado que la tendencia promedio de las intensidades máximas se ha incrementado aproximadamente un 4% por década independientemente de la duración de la tormenta de diseño en el período 1950-2021.

Diseño geológico

Los estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos se fundamentan por sí mismos dado que sobre los materiales rocosos se edificará la estructura de contención, la toma de agua y se almacenará el agua del embalse. **Cada presa es un prototipo único e irreplicable por sus condiciones geológicas.** Muchos de los fallos globales de presas se producen por ignorar este principio. Particularmente importante es orientar las investigaciones a identificar la presencia y comportamiento bajo carga de capas rocosas débiles, material fisurado, juntas adversamente orientadas, filtración, tubificación, excesiva presión de poro, asentamientos, inestabilidad de taludes bajo condiciones de alta pluviosidad o durante vaciados rápidos en el embalse y los movimientos de ladera, sobre todo, aguas arriba del cierre, muchos de ellos favorecidos por cambios en el relieve además de los que han ocurrido respecto al uso de la tierra aguas arriba.

La sismicidad es un factor determinante para la estabilidad de la obra por los efectos sobre la estabilidad debidos tanto a la respuesta del sólido al campo de vibraciones como del suelo ante fenómenos de licuefacción, oleaje sísmico y cambios en el campo de presiones

Monitoreo

El monitoreo es una asignatura minimizada en la operación de la infraestructura hidráulica. Los mejores sistemas se concentran en el cuerpo de la presa, pero suelen olvidar las condiciones aguas arriba del cierre. El sistema integral de monitoreo comprende aguas terrestres y subterráneas en términos presiones internas, filtraciones, erodabilidad, composición química, transporte de sedimentos y también su papel como emisores de gases de efecto invernadero (GEI) como vapor de agua, dióxido de carbono y metano. Asimismo, la calibración de las curvas de azolvamiento resulta una actividad continua que contribuye a la mejora de calidad del agua y estabilidad de la estructura.

Mantenimiento

Es la segunda asignatura mal aplicada en torno a la infraestructura hidráulica. Muy reducida suele obviar procesos importantes que contribuyen tanto a la buena calidad de las aguas como a la estabilidad de las estructuras. Entre ellas, el dragado sistemático de los embalses y el control de la vegetación acuática son particularmente importantes en las condiciones hidrológicas del Trópico Húmedo.

Nota final

Los temas abordados en apretada síntesis en esta contribución adquieren una magnitud diferente cuando se enmarcan bajo las condiciones el Cambio Climático. El requerimiento de la Reingeniería adecuada para construir la resiliencia necesaria que garantice la estabilidad de las obras, la seguridad de las estructuras y la minimización de riesgos aguas abajo. Las acciones descritas no son nuevas en lo absoluto, pero el enfoque bajo condiciones extremas derivadas de los diferentes escenarios propuestos debe ser incluida en los nuevos proyectos y en la operación de los actuales. Temas no mencionados y que no dejan de ser importantes incluyen las obras hidráulicas abandonadas, el perfeccionamiento de los métodos de cálculo y la selección de la data, entre otros.

«Cualquier ingeniero que juzgue que una presa es estable a largo plazo simplemente porque ha sido aparentemente segura durante un largo periodo de tiempo ... está cometiendo un error de juicio potencialmente catastrófico...»

Szymanski y Davies, 2004
Tailings Dams: Design Criteria and Safety Evaluation at Closure

Bibliografía

- Anderson, Chuck, Caroline Mohorovic, Larry Mogck, Bitsy Cohen, Gregg Scott (1998): Concrete Dams Case Histories of Failures and Nonfailures with Back Calculations. Structural Analysis. DSO-98-05. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 97:
- Apaydin, Ahmet, Nur Korkmaz, Donmez Ciftci (2019): Water inflow into tunnels: assessment of the Gerede water transmission tunnel (Turkey) with complex hydrogeology. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 52: 346-359. Published online January 28, 2019 <https://doi.org/10.1144/qjegh2017-125>

- Caballero, F. Javier, Ricardo M. Monteiro, Rafael Morán, Miguel A. Toledo, Jesús Guerrero González (2015): Estudios de rotura de presas y balsas. El avance en las herramientas y técnicas disponibles para modelación de propagación de las avenidas y la asignatura pendiente de la rotura del dique- IV Jornadas de Ingeniería del Agua. La precipitación y los procesos erosivos, Córdoba, 21 y 22 de octubre 2015, D.24.
- Costa Posada, Carlos Rufino; Leslie F. Molerio-León, Drona Upadhyay (2014): Revisión de metodología para la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático de los sistemas hidroeléctricos RG-T1840, Baastel & IADB, Quebec, Canadá, 77:
- De Membrillera Romero, Roberto Miguel (2014): Vaiont 1963: Crónica de un deslizamiento anunciado. 3º Grado de Geología. 2013-2014 UGR, 12:
- De Membrillera M. G.; Escuder I.; González J. y Altarejos L. (2005): Aplicación del Análisis de Riesgos a la Seguridad de Presas. Univ. Pol. Valencia Editorial UPV Ref.: 2005.2522, 104:
- De Membrillera M. G.; Escuder I.; González J. y Altarejos L. (2015): Risk Analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management. Proc. 3rd International Forum on Risk analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management, CRC Press, Taylor & Francis, Valencia, España, 395:
- Doaemo, W., L. Wuest, P.T. Athikalam, A. Souza Moraes, L.F. Molerio-León (2021): Rainfall characterization of the Bumbu watershed, Papua New Guinea. Theoretical and applied climatology. Springer Nature, 15: <https://www.researchgate.net/publication/355415496>
- Farook, Rafay (2013): Top 15 Worst Dam Disasters Ever. <https://chilopedia.com/top-15-worst-dam-disasters-ever/>
- González Haramboure, Yoermes, Osny Guedes Sosa, Sheyla Rodríguez Díaz (2017): Las fallas en presas de tierra. Caso de Estudio: falla por estabilidad de taludes en función de las condiciones de drenaje. Centro de Investigaciones Hidráulicas, Reporte Técnico, La Habana, 116: <https://www.researchgate.net/publication/321587038>
- Howard, Brian Clark (2015): 4 Hidden causes of dam failures. <https://www.nationalgeographic.com/science/article/151007>
- IPCC (2020): Resumen para responsables de políticas. En: El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres [P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendía, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (eds.)].36: www.ipcc.ch
- Laiz Averhoff, O.y E. Flores Valdés (2010): Pérdida de capacidad de almacenaje en embalses cubanos: un efecto de la sedimentación. Aqua-Lac: Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, 2(2),12-14
- Marengo Mogollón, Humberto (1996): Análisis de riesgo de falla en presas, estadísticas y parámetros de referencia. Ing. Hidráulica en México, XI(2):65-77, mayo.-agosto.
- Molerio-León, L.F. (2018a): Gestión de recursos hidráulicos bajo riesgo de terremotos en Ecuador: 1. Sismotectónica. Ing. Hidráulica y Ambiental, La Habana, VOL. XXXIX, No. 3, Sep-Dic 2018, p. 3-17
- Molerio-León, L.F. (2018b): Gestión de recursos hidráulicos bajo riesgo de terremotos en Ecuador: 2. Evaluación de seguridad. Ing. Hidráulica y Ambiental, La Habana, VOL. XXXIX, No. 3, Sep-Dic 2018, p. 18-27
- Molerio León, L.F. (2020): Incorporación de la evidencia espeleológica de paleosismos y paleohidrología a la seguridad de los sistemas hidráulicos de América Latina y El Caribe. Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo, 20(38), 2020, 7:
- Molerio-León, L.F. (2021a): Introducción a la Seguridad de las Presas (Seguridad geológica, hidrológica, estructural y medidas estructurales y no estructurales), Universidad de Panamá, La Habana, 669:
- Molerio-León, L.F. (2021b): Problemas geológicos de la seguridad de las presas y embalses de Panamá: Cuenca del Canal. Geoinformativa, Centro Nacional de Información Geológica, Inst. Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba, La Habana, 14(2):51-63 <https://www.researchgate.net/publication/358869181>
- Molerio-León, L.F. (2021c): Problemas geológicos de la seguridad de las presas y embalses de Panamá: Cuenca del Canal. Geoinformativa, Centro Nacional de Información Geológica, Inst. Geol. Pal., Servicio Geológico de Cuba, La Habana, 14(2):51-63 <https://www.researchgate.net/publication/358869181>
- Molerio-León, L.F. (2021d): Paleosismología, neotectónica y seguridad del parque de presas de Panamá. XXX Congreso Científico Nacional, Octubre 4-8, 2021, Universidad de Panamá, 26:
- Molerio-León, L.F. (2022a): Reingeniería del cambio climático. Presentación de proyecto. <https://www.researchgate.net/publication/365952133>
- Molerio-León, L.F. (2022b): Reingeniería geológica, hidrológica e hidráulica del cambio climático. Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo Vol. 22, No. 42, enero-junio, 2022 <https://cmad.ama.cu/index.php/cmاد/article/view/317/685>

- Ramírez, Aldo I. (2011): La seguridad de presas desde la perspectiva hidrológica. Conferencia Enzo Levi 2010. Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México, vol. II, núm. 2, abril-junio de 2011:157-173
- Suárez Villar, Luis Miguel, Diego Suárez Barrera (2016): Lecciones Aprendidas de los Incidentes y fallas en las Presas de Venezuela. Caracas, Venezuela, 425:
- Tamm, Ottar, Egle Saaremaa, Kristiina Rahkema, Jaak Jaagus & Toomas Tamm (2023): The intensification of short-duration rainfall extremes due to climate change - Need for a frequent update of intensity-duration-frequency curves. *Climate Services* 30 (2023) 100349
- Tosun, Hasan (2015): Chapter 7. Earthquakes and Dams. *Earthquake Engineering - From Engineering Seismology to Optimal Seismic Design of Engineering Structures*, <http://dx.doi.org/10.5772/59372>, :189-202

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses

Declaración de contribución de los autores: **Conceptualización:** Leslie Moleiro. **Investigación:** Leslie Moleiro y Ana M. Sardiñas.

Escritura-borrador original: Leslie Moleiro. **Redacción, revisión y edición:** Ana M. Sardiñas. **Curación de datos:** Ana M. Sardiñas