



REINGENIERÍA HIDRÁULICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TRÓPICO HÚMEDO

CLIMATE CHANGE RE-ENGINEERING IN THE HUMID TROPICS

✉ LESLIE F. MOLERO-LEÓN*, ✉ ANA M. SARDIÑAS GÓMEZ

INVERSIONES GAMMA, S.A., La Habana, Cuba. E-mail: especialistaprincipal@gmail.com

Palabras clave: Resumen

Cambio climático paleohidrología reingeniería Trópico Húmedo Esta contribución resume la problemática y las acciones propuestas para la implementación de la Iniciativa de Reingeniería Geológica, Hidrológica e Hidráulica de la infraestructura hidráulica construida, en operación y futura en diferentes regiones del Trópico Húmedo con el objetivo de contribuir a la construcción de resiliencia y a la mitigación de los efectos negativos del Cambio Climático en la gestión adecuada de los recursos hídricos. El enfoque conceptual y metodológico reconoce la situación hidrometeorológica, ingeniera y operacional del presente y los escenarios actuales -no previstos en el diseño de las obras- las evidencias paleohidrológicas de eventos catastróficos, incluyendo aquellas de eventos de la geodinámica externa o interna que pudieron aparecer combinados en épocas geológicas anteriores, y las situaciones futuras sobre la base de los diferentes escenarios previstos de Cambio Climático.

Key words: Abstract

Climate Change Paleohydrology Re-engineering Humid Tropics This paper resumes the problems and the proposed actions for the implementation of the Geologic, Hydrologic and Hydraulic Re-engineering of Climate Change Initiative to the Humid Tropics current hydraulic infrastructure. The main goal is the construction of resilience and the mitigation of the negative impacts from Climate Change in the management of water resources. The conceptual and methodological focus recognizes the current hydrometeorological, engineering and operational situation and the present scenarios -not considered when water works were designed-, the paleohydrologic evidences of catastrophic events including those of the internal/external geodynamics and the future situations derived from the forecasted scenarios of Climate Change.

INTRODUCCIÓN

La Reingeniería Geológica, Hidrológica e Hidráulica del Cambio Climático es una iniciativa dirigida a la evaluación y mejoramiento de la capacidad de la infraestructura hidráulica construida y en operación (presas, canales, pozos, estaciones de bombeo y otras) y la que se proyecta en el futuro para adaptar y mitigar los efectos negativos del cambio climático sobre el uso, aprovechamiento y protección del recurso agua. El objetivo central es el de reevaluar los criterios geológicos, hidrológicos y geofísicos con los que las obras actuales fueron proyectadas y la efectividad con la que estas obras se insertan en los escenarios (actuales y previstos) de cambio climático (Molerio-León, 2022a). La iniciativa ha sido objeto

de una divulgación intensa y sistemática en los últimos años (Concepción, 1995).

De la implementación de la iniciativa se deriva la adopción de medidas adecuadas de mitigación y adaptación que la seguridad hídrica en su más amplio sentido. Esas medidas -estructurales (ingenieras, tecnológicas) o no estructurales (reajuste de normativas, educación ambiental, monitoreo, procesamiento y disseminación de la información)- resultan la herramienta adecuada para mejorar la gestión del recurso agua en el cambiante y estresante escenario físico y socioeconómico y reducir las vulnerabilidades de las propias estructuras y el entorno físico y socio-ambiental en el que se insertan las obras hidráulicas.

La infraestructura hidráulica construida en los últimos 100 años, desde que se comenzaron a incorporar al

Recibido: 29 de febrero de 2024

Aceptado: 28 de marzo de 2024

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Conceptualización: Leslie Molerio. **Investigación:** Leslie Molerio y Ana Margarita Sardiñas. **Metodología:** Leslie Molerio.

Administración del proyecto: Ana Margarita Sardiñas. **Redacción - borrador inicial:** Leslie Molerio. **Redacción-revisión y edición:** Leslie Molerio y Ana Margarita Sardiñas

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/>



conocimiento ingeniero patrones de comportamiento hidrológico asociados al Calentamiento Global y el Cambio Climático no ha sido proyectada tomando en cuenta esos efectos (Fig.1) y en no poca medida ello contribuye a explicar los numerosos casos de colapso de presas, de inundaciones recurrentes (Fig. 2) o de obras inútiles. Existe un largo listado de eventos hidrológicos actuales asociados al cambio climático no previstos en los diseños originales, como sequías intensas, crecidas no calculadas y colapso de estructuras que realzan la necesidad de un reenfoque de los modelos conceptuales de gestión del agua (Molerio-León y Sardiñas, 2023a).

El proyecto actualiza los diseños de las obras de contención principales a partir de: a) la incorporación de la data acumulada desde la proyección de la obra y puesta en marcha hasta la fecha de hoy y b) extender las series cronológicas de datos incorporando data proxy correspondiente a períodos anteriores a los de registros instrumentales e históricos; sobre todo, para atender los efectos colaterales de un clima cambiante. No pocas publicaciones tratan distintas aristas de ese problema (Kochel, 1982; Baker, Webb y House, 2002; Springer, 2002; Pajón et al, 2006, 2019; Bates et al., 2008; Carson, 2013; Doaemo et al., 2021; Milanovic, 2014; Molerio-León et al., 2019; Molerio-León, 2020a, 2020b, 2021a, 2021b, 2021c, 2022a, 2022b, 2022c, 2023a, 2023b, 2023c, 2023d, Molerio-León y González, 2023; Molerio-León y Sardiñas, 2023b).

Los efectos negativos del Cambio Climático 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, et al., 2014; Molerio, 2018),
 - 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



Figura 1. Obras como el Canal de Panamá, construidas y operadas desde hace más de 100 años, consideraron una situación hidrometeorológica estable durante todo el tiempo de vida útil de la obra, sin embargo, como consecuencia del Cambio Climático, hoy busca nuevas fuentes de agua para mantenerse en operación (Foto de los autores)

Figure 1. The Panama Canal was built and operated for more than 100 years ago under the assumption that the hydrometeorological conditions of design would be stable through the whole life span of the water work. However, as a consequence of the Climate Change, new water sources are currently requested to maintain its operation



Figura 2. Remanentes inundados del polje Ariguanabo, en Cuba Occidental (Foto de los autores, julio 27, 2004)

Figure 2. Flooded remnants of the Ariguanabo polje in Western Cuba (July 27, 2004)

- 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 paleo ríos
- Reducción de acciones gubernamentales de hidrología operativa, particularmente de servicios de monitoreo y prevención hidrológica
-
- Modificaciones de los hidrógrafos de avenida, en particular, con una fuerte alteración de los tempos de concentración, los picos y forma de las crecidas y los tiempos de tránsito; el fenómeno de crecidas instantáneas (flash floods) imprevisibles

Construcción de resiliencia de la infraestructura hidráulica

Los efectos del Cambio Climático sobre el régimen hídrico requieren de un enfoque ingeniero diferente adaptado a ellos. Afecta tanto la disponibilidad de agua (demasiada o muy poca) como a los patrones hidrológicos en su sentido más amplio lo que implica la necesidad de reevaluar el diseño y operación de las obras de regulación y captación de las aguas superficiales y subterráneas, así como el de las obras nuevas. Por la semejanza en intensidad y distribución espacial de los patrones de lluvia y escorrentía del Cambio climático con los que ocurrieron en épocas geológicas pasadas, la información sobre paleo crecidas debe incorporarse a estos estudios de reingeniería (Molerio-León, 2022b, 2022c). En zonas de baja intensidad sísmica, en particular, y por los casos en que la sismicidad activa se ha combinado con eventos hidrológicos de gran magnitud, también es importante incorporar estudios de paleosismología y sismicidad histórica como sugiere el

Organismo Internacional de energía Atómica para cierto tipo de obras (IAEA, 2010, 2015).

La reingeniería de las obras de captación de las aguas subterráneas requiere, ante todo, una redefinición del balance hídrico. La disminución de la recarga natural y la pérdida de anualidad de la recuperación de las reservas reguladoras por reducción de la lluvia básicamente, el aumento del nivel del mar y la penetración de la intrusión marina tierra adentro, el incremento sostenido de la explotación del recurso, muchas veces hasta la sobreexplotación, la limitada incorporación de conceptos y técnicas más recientes que permiten evaluar, con mucha precisión, los tiempos de residencia de las aguas subterráneas, la preferencia de captaciones mediante pozos verticales que se profundizan sistemáticamente para combatir el agotamiento de sequías cada vez más recurrentes, unidos al deterioro de la calidad de las aguas subterráneas son temas de necesaria aproximación para mitigar los efectos negativos del cambio climático.

El deterioro de las redes de monitoreo del régimen y la calidad de las aguas subterráneas, la reducida optimización de su estructura, distribución espacial, contenido y frecuencia del monitoreo conspiran de manera nefasta para la creación/actualización de las bases de datos, el procesamiento y la diseminación de información útil para el pronóstico del aprovechamiento de los recursos hidráulicos subterráneos.

Acciones de reingeniería

Un grupo de acciones de reingeniería que se requieren para minimizar los riesgos de fallo de estructuras han sido propuestas en diferentes escenarios docentes y de investigación fundamental y aplicada orientados en dos direcciones, una para las obras en operación, y otra a las obras en proyecto y construcción, son de tipo geológico, hidrológico y estructural y se pueden resumir a continuación:

- Revisión de los proyectos de obras hidráulicas y de obras en operación, sobre la base de:
 - Actualización de la data hidrológica de diseño, habida cuenta que, en muchos casos, de haberse mantenido las redes de monitoreo, se pudiera disponer de entre 30 y 50 años de datos hidrometeorológicos en los que pudiera identificarse variabilidad o variación del clima en el área de influencia y, con ello, identificar cuáles de los parámetros estructurales de seguridad se mantienen o deberían ser ajustados
 - Comprobar los pronósticos de azolvamiento
 - Actualizar el uso de la tierra y el agua en el área de embalse y en la cuenca aguas abajo
 - Recalcular los parámetros de la avenida por reboso (overflow) o fallo de la obra y la evaluación de las vulnerabilidades aguas abajo

- Reevaluar el estado de las obras hidráulicas en la cuenca vertiente regulada, incluyendo el sector situado aguas abajo del sistema de retención
 - Definición de los escenarios críticos de colapso de obras hidráulicas dados por la convergencia de sismos, lluvias torrenciales, crecidas, movimiento de laderas (deslaves, desprendimientos, hundimientos, subsidencia, empantanamientos), vulcanismo y tsunamis
 - Inclusión de los pronósticos de los procesos de formación del escurrimiento en los nuevos proyectos y considerar estos pronósticos en las obras construidas particularmente en la última década y media para:
 - Depurar la data de lluvia de outliers (particularmente considerando el tipo de lluvia en la serie disponible)
 - Garantizar que indicadores básicos, como las curvas de intensidad-frecuencia-duración, estén actualizadas con la nueva data
 - Incorporación de tecnologías adecuadas para evaluar los peligros de movimiento de laderas en las áreas interesadas (tanto aguas arriba como aguas abajo)
 - Ajustar la red de monitoreo con la distribución, contenido, frecuencia de muestre adecuadas a los problemas identificados
 - Actualización de los códigos y normativas de investigación, proyección, construcción, operación, mantenimiento y monitoreo geológico, hidrológico y estructural
 - Incorporar los resultados de las investigaciones paleohidrológicas, particularmente de paleocrecidas y de la hidrología histórica comparativa (no instrumental)
 - Rediseño de los regímenes de explotación de las aguas subterráneas y de los sistemas de interacción agua superficial-agua subterránea, como un recurso único, particularmente en el karst; entre estas acciones:
 - Reevaluación de los recursos hidráulicos subterráneos sobre la base de una categorización en base a la mineralización y al uso de las aguas; sobre todo en acuíferos costeros y en n las pequeñas islas y estados insulares o Rigurosa evaluación de los tiempos de tránsito y los patrones de evaporación e infiltración aplicando técnicas con incertidumbre reducida, como las de hidrología isotópica
 - Valorar con certeza la necesidad y la posibilidad de mejorar los recursos a partir de la reposición artificial de las reservas
 - Redefinir el alcance y validez de las zonas de protección sanitaria de manantiales y sistemas de captación o
 - Perfeccionamiento del inventario de la explotación de las aguas subterráneas
 - Incidir de manera directa con inversionistas y autoridades de planificación física en lo que respecta a la protección de áreas de recarga natural reduciendo las afectaciones en los volúmenes disponibles de alimentación del acuífero y los efectos secundarios de la variación de los coeficientes de escurrimiento y sus consecuencias sobre la magnitud y frecuencia de avenidas e inundaciones.
- Estas acciones son válidas también para la gestión de las aguas subterráneas, razón por la cual se incluyen en la última pleca anterior. Por citar un caso, la elevación sistemática del nivel del mar está afectando los acuíferos costeros promoviendo la penetración tierra adentro de la intrusión marina. Habida cuenta que la intrusión se expresa tanto en la propagación horizontal como en la vertical, se requiere de nuevos modelos de sistemas de extracción (campos de pozos; captaciones horizontales), diseño de regímenes adecuados de explotación y de zonas de protección, obras más eficientes de recarga artificial y renovación de las reservas y recursos, refinamiento de los métodos de cálculo del rendimiento seguro, incluyendo el tiempo de tránsito de las aguas subterráneas que, en fin, garanticen la sostenibilidad en el aprovechamiento del recurso. En el karst, donde es más evidente y directa la relación entre las aguas superficiales y subterráneas, esta es una demanda creciente e imperativa.
- Para el caso de Cuba es determinante, ya que el 66% de la superficie del país es cársica y más del 85% de los recursos de agua disponible se encuentran en estos terrenos. La combinación de la sequía recurrente en los últimos 20 años, con la consabida disminución de las lluvias y la penetración de la intrusión marina constituyen una situación infortunada en algunos acuíferos importantes, como la cuenca MIV, en Cárdenas, Matanzas. Para los pequeños estados insulares la situación llega a ser crítica.
- Para las aguas subterráneas en particular se requiere:
- Revisar los cálculos de diseño y la construcción de las obras de toma.
 - Comparar la situación actual con la proyectada.
 - Redefinir los límites de los sistemas de flujo locales y muy locales y las zonas de influencia de las obras de toma y de las de monitoreo
 - Evaluar la evolución de la composición química y la calidad de las aguas subterráneas en el periodo desde la puesta en operación de las obras de captación
 - Identificar el modo en que ha evolucionado el uso de la tierra y el agua en las áreas de influencia de captaciones y red de monitoreo, con particular énfasis en las zonas de recarga
 - Evaluar los cambios en la actividad del karst (velocidad de denudación)

- Revisión de la evolución de las variables hidrometeorológicas por un periodo no inferior a los 30 años (en esto debemos precisar los periodos adecuados)
- Evaluación de los escenarios de trabajo:
 - Escenarios de cambio climático
 - Escenarios de desarrollo socio económico
 - Escenarios de agotamiento de los recursos / pérdida de calidad (o contaminación) de las aguas subterráneas
- Identificación de prioridades de evaluación

Y, de ahí, un grupo de acciones específicas, a nivel de sistema acuífero, que incluya las siguientes;

- Actualización de la base geológica (redefinición de la heterogeneidad del sistema a partir de los esquemas tectonofaciales; indicadores neotectónicos y de los movimientos relativos del mar y la tierra (Fig. 3))
- Procesamiento de la información relacionada con los cambios del nivel del mar (cambio de las condiciones de descarga de las aguas subterránea, penetración del mar tierra adentro (Fig. 4), reposicionamiento bidimensional de la intrusión marina, efecto de marea sobre el régimen de las aguas subterráneas, la dirección de flujo y la estructura del campo de propiedades físicas de los sistemas acuíferos)
- Procesamiento geoestadístico y geomatemático de la información de entrada-salida de los sistemas (validación de series)
 - Series cronológicas de lluvia (láminas, diarias, análisis de homogeneidad, correlatorio, análisis de tendencia; eventos extremos)
 - Series de temperatura del aire (media, mínima, máxima)
 - Análisis de evaporación en estaciones climáticas
 - Historial de niveles de agua subterránea (análisis autocorrelatorio y espectral, correlación cruzada, análisis de recesión)
 - Validación de los aforos de diseño (caudal, abatimientos, modelo hidráulico, régimen de explotación de diseño régimen actual, efectos en la calidad de las aguas y en la hidrodinámica del sistema)
 - Generalización estadística (definición del efecto del factor de escala sobre la estructura del campo de propiedades físicas del acuífero)
 - Definición de los modelos de anisotropía y validez de esquemas continuos
- Reevaluación de las Zonas de Protección Sanitaria (diseño y modelos reales de validación)



Figura 3. Los movimientos de ascenso neotectónico controlan la dinámica de las aguas terrestres y, particularmente de las relaciones entre los acuíferos y el mar en el ecotono costero (Foto de los autores)

Figure 3. Ascensional neotectonic movements control the dynamics of terrestrial waters and particularly the relations among ground water and the sea in the coastal ecotone



Figura 4. Penetraciones del mar asociadas a tormentas de marea y frentes fríos (Foto de los autores)

Figure 4. Sea penetration associated to storm surges and cold fronts.

- Evaluación de la data de explotación de las aguas subterráneas
- Análisis multivariado de los factores de control del régimen y la calidad de las aguas terrestres
- Evaluación de eventos paleohidrológicos

Nota final

Un resumen de esta contribución fue presentado por los autores, recientemente, a las VII Jornadas de Ingeniería del Agua 2023, de la Universidad Politécnica de Cartagena, España, bajo el Tema monográfico “La Resiliencia de las Infraestructuras Hidráulicas frente al Cambio Climático”; Usos y gestión del agua.

En el momento actual, las oportunidades de adaptación a los efectos negativos del Cambio Climático son cada vez

más reducidas, dando paso a las medidas de mitigación que, por demás, son estructurales en su mayoría. Por tanto, la construcción de resiliencia implica acciones que requieren financiamiento adecuado para construir la resiliencia del parque disponible de obras hidráulicas de regulación.

Mucha de la inversión que se destina a acciones de respuesta a los impactos negativos del Cambio Climático se destina, sin embargo, a medidas no estructurales que no dejan de ser importantes, por supuesto: formación de capacidades nacionales, simposia, congresos, manuales, pero se gana la oportunidad de recapitalizar la infraestructura hidráulica, identificar los fallos debidos al Cambio climático separándolos de errores de proyección, operación y/o mantenimiento de las obras hidráulicas. La construcción de resiliencia pasa por reconocer las debilidades del patrimonio construido y en operación ante contextos climáticos actuales y escenarios futuros que no fueron considerados al momento de proyectar, construir y operar esas obras. En consecuencia, construir el futuro de la gestión del agua sobre la base de una infraestructura hoy conceptualmente (y operacionalmente) sesgada será menos exitosa que lo necesario para garantizar el beneficio de la sociedad produciendo, en algunos casos, como las de los pequeños estados insulares o regiones áridas, situaciones verdaderamente catastróficas donde la vulnerabilidad física y social al impacto negativo del Cambio Climático se multiplica.

Agradecimientos

Por su amable cooperación en los trabajos de campo y en muchas sesiones de trabajo, los autores expresan su agradecimiento a los siguientes colegas y amigos: Eduardo Planos (Instituto de Meteorología, Cuba), María del Carmen Martínez, Orestes Sardiñas, Adrián Gómez (INVERSIONES GAMMA, S.A., Cuba), Amneris Carreras, Fabiola Bueno, Carlos A. Luaces, Evelyn Garriga (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, Cuba). A las autoridades de la Universidad de Panamá, Rubén Sousa y Néstor Luque, gracias a cuyo entusiasmo la Iniciativa de Reingeniería de Cambio Climático ha formado parte de sus ciclos docentes y conferencias. Al antiguo Director de la Empresa Pública del Agua (Ecuador), Raúl Sánchez, por su confianza y apoyo. A la Universidad Tecnológica de Papua-Nueva Guinea por su cooperación. A nuestros compañeros de la Sociedad Espeleológica de Cuba con quienes hemos compartido experiencias y exploraciones para este tema: Vladimir Otero, Efrén Jáimez y Jesús Pajón.

Bibliografía

Baker, V.R., R. H. Webb, P. Kyle House (2002): The Scientific and Societal Value of Paleoflood Hydrology.

Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology. American Geophysical Union. *Water Science and Application* Volume 5:1-19

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, [Eds.] (2008): El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224.

Carson, Eric C. (2013): Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology. P. Kyle House, Robert H. Webb, Victor R. Baker, and Daniel L. Levis (Editors), 2001, American Geophysical Union, Water Science and Application Series, Volume 5, Washington, DC, vi 386 pp. Book reviews. *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 18, No.2, 283-286 (2003)

Concepción, Eloy (1995): garanticen Preocupante proceso de inversión del régimen de lluvia en Cuba. Entrevista a Eduardo Planos y Leslie Molerio. Periódico Trabajadores, mayo 29, 1995:4

Costa Posada, C. R., L.F. Molerio-León y D. Upadhyay (2014): Revisión de metodología para la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático de los sistemas hidroeléctricos. RG-T1840, Baastel & Banco Interamericano de Desarrollo, Quebec, Canadá, 77:

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>

IAEA (2010): Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Guide. IAEA Safety Standards Series No. SSG-9. Vienna, 80:

IAEA (2015): The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations. International Atomic Energy Agency IAEA TECDOC-1767, Vienna, 212.

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

Kochel, R.C., V.R. Baker (1982): Paleoflood hydrology. *Science* 215, 353-361

- 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
- Milanović, P (2014): Hydraulic Properties of Karst Groundwater and Its Impacts on Large Structures. In/J. Mudry et al. (eds.), H2Karst Research in Limestone Hydrogeology, Environmental Earth Sciences, Springer International Publishing, Switzerland:19-48
- Molerio-León, L.F. (2018): Gestión de recursos hidráulicos bajo riesgo de terremotos en Ecuador: 2. Evaluación de seguridad. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, La Habana, VOL. XXXIX, (3), Sep-Dic 2018,18-27
- Molerio León, L.F. (2020a): 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: <https://cmad.ama.cu/index.php/cmاد/article/view/9>
- Molerio-León, L.F. (2020b): Empresas, Empresarios, Calentamiento Global y Cambio Climático: Estrategias de Convergencia, <https://piramideinformativa.com/2020/11/empresas-empresarioscalentamiento-global-y-cambio-climatico-estrategias-de-convergencia/>
- Molerio-León, L.F. (2021a): Las cuevas como focos puntuales de nitrificación de las aguas subterráneas en el karst. <https://sites.google.com/site/espeleovillacarrillo/home/gotaagota-no-24-2021>
- Molerio-León, L.F. (2021b): 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. (2021c): 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. (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>
- Molerio-León, L.F. (2022c): Problemas geológicos de la seguridad de las presas y embalses de Panamá: Cuencas del Oeste Geoinformativa <https://www.researchgate.net/publication/367180750>
- Molerio-León, L.F. (2022d): Evaluación de los recursos hídricos de Cuba (I). Aguas subterráneas en el karst de montaña: Métodos de cálculo. *Gota a gota*, nº 27 (2022): 69-78. Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.)
- Molerio-León, L.F. (2023a): Karst en fracturas de distensión del litoral norte de Artemisa-Matanzas. Consecuencias ingeniero-geológicas e hidrogeológicas. *CubaGeográfica, Cuadernos de Geomorfología de Cuba* (4):19-33. <https://www.researchgate.net/publication/367251013>
- Molerio-León, L.F. (2023b): Contribución de la dinámica del karst subterráneo a los procesos de nitrificación de las aguas subterráneas. GEOLOGÍA'2023 VII Taller sobre Aguas subterráneas, Gestión y Contaminación GEO11-O1. DÉCIMA CONVENCION DE CIENCIAS DE LA TIERRA, "Memorias de Geociencias, Trabajos y Resúmenes", La Habana, 2023 <https://www.researchgate.net/publication/370285372>
- Molerio-León, L.F. (2023c): Reingeniería del cambio climático: registros paleohidrológicos en el karst. GEOLOGÍA'2023 VII Taller sobre Aguas subterráneas, Gestión y Contaminación GEO11-O13. DÉCIMA CONVENCION DE CIENCIAS DE LA TIERRA, "La Habana, <https://www.researchgate.net/publication/370285427>
- Molerio-León, L.F. (2023d): Importancia del rediseño de los regímenes de explotación de las aguas subterráneas para prever efectos del cambio climático sobre las obras hidráulicas. *Argentina Subterránea* 23(53): junio-julio,: 5-7, <http://www.fade.org.ar/Bibliografia.html>
- Molerio-León, L.F. (2023e): De inundaciones repentinas, el cambio climático y otros demonios. <https://medium.com/juventud-t%C3%A9cnica/de-inundaciones-repentinias-el-cambio-clim%C3%A1tico-y-otros-demonios-3985a1cb1049>
- Molerio-León, L.F., E. J. Balado Piedra, L. Núñez Haugh, C. Aldana Vilas (2019): La incorporación de la evidencia espeleológica al registro de paleosismos en Cuba. Octava Convención de Ciencias de la Tierra, Geociencias 2019, XIII Congreso de Geología (GEOLOGÍA'2019), Geomorfología y Paisajes Cársticos GEO7-P10. La Habana, Resumen: 127
- Molerio-León Leslie F., Carlos M. González Ramírez (2023): Respuesta impulsional de Tritio y Radón 222 por el efecto de las lluvias intensas en un karst litoral. 1. Análisis cualitativo. *Maya. Revista de Geociencias*, UNAM, México, Número Especial 9, Febrero:88-113. <https://www.researchgate.net/publication/368535400>
- Molerio-León, L.F. y Ana M. Sardiñas (2023a): Gestión de recursos hídricos bajo amenazas geológicas y eventos hidrometeorológicos extremos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo* Vol. 23, enero-diciembre 2023, 8.

- Molerio-León, L.F. y Ana M. Sardiñas (2023b): Evaluación de los recursos hídricos de Cuba (II): Dominio de los acuíferos cársicos, regionalización y recursos potenciales de agua subterránea. *Gota a gota*, n° 29: 33-46. Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.) <https://www.researchgate.net/publication/370601094>
- Pajón-Morejón, J.M., Curtis, J., Tudhope, S., Metcalfe, S., Brenner, M., Guilderson, T., Chilcot, C., Grimm, E., Hernández, I., (2006): Isotope records from a stalagmite from Dos Anas Cave in Pinar del Río Province, Cuba. Paleoclimatic implications. CD-Rom "Fifth International Symposium on Nuclear and Related Techniques-NURT-2006".
- Pajón Morejón, J. M., J. J. Valdés Ramos, V. Otero Collazo, I. Hernández de la Oliva, L. F. Molerio León, J. Macle Cruz (2019): Evaluación del paleoflujo de las aguas karsticas a partir del análisis de simetría de scallops, en el Sistema Cavernario Majaguas Cantera, Sierra de San Carlos, Pinar Del Río, Cuba. Octava Convención de Ciencias de la Tierra, Geociencias 2019, XIII Congreso de Geología (GEOLOGÍA'2019), Geomorfología y Paisajes Cársticos GEO7-P2. La Habana, Resumen: 119
- Springer, G.S. (2002): Caves and Their Potential Use in Paleoflood Studies. *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology*. American Geophysical Union. Water Science and Application Volume 5:329-343