



# INCORPORACIÓN DE LA EVIDENCIA ESPELEOLÓGICA DE PALEOSISMOS Y PALEOHIDROLOGÍA A LA SEGURIDAD DE LOS SISTEMAS HIDRÁULICOS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

## INCORPORATING THE PALEOSEISMOLOGICAL AND PALEOFLOOD SPELEOLOGICAL EVIDENCE TO THE SAFETY OF THE WATER SYSTEMS OF LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN

L.F. MOLERO LEÓN

Inversiones Gamma, S.A., CP 10600, La Habana, Cuba. E-mail: [especialistaprincipal@gmail.com](mailto:especialistaprincipal@gmail.com)**Palabras clave: Resumen**

presas Dos grupos de eventos comprometen la seguridad de las obras hidráulicas en América Latina y El Caribe: aquellos relacionados con la torrencialidad de los aguaceros y la formación de avenidas súbitas con el consiguiente efecto secundario de deslaves, subsidencia y movimientos de ladera y los asociados al peligro sísmico y volcánico de la región.

embalses

karst

cuevas Resulta una necesidad actualizar los diseños hidráulicos y geológicos de las obras hidráulicas a partir de: a) la incorporación de la data hidrológica acumulada desde la proyección de la obra y puesta en marcha a la fecha, b) extender la seguridad

seguridad los registros de datos hidrológicos y sísmicos incorporando data proxy correspondiente a períodos anteriores a los de paleosismos

paleosismos registros instrumentales e históricos; sobre todo, para atender los efectos colaterales de un clima cambiante en zonas de paleoinundaciones

paleoinundaciones registros instrumentales e históricos; sobre todo, para atender los efectos colaterales de un clima cambiante en zonas de sismicidad baja a media.

**Key words: Abstract**

dams Abstract Two groups of events compromise the safety of the water works in Latin America and the Caribbean: the heavy rains and the onset of flash floods with the side effects of landslides, subsidence, and slope movements and those linked to the seismic and volcanic hazards. The improvement in the geologic and hydrologic design and operation of dams, reservoirs is a necessity that should account for: a) the inclusion of the new data collected since the design and construction of the water works and b) the extension of the hydrologic and seismic data beyond the historic and instrumental data allowing the consideration of a changing climate in zones of low to medium seismicity.

reservoirs

karst

caves

safety

paleoseismology

paleofloods

**Introducción**

Por su posición geográfica, el Trópico Húmedo América Latina y El Caribe presenta un régimen de precipitaciones en los que la torrencialidad asociada a lluvias de todo tipo (advectivas, convectivas, frontales, orográficas) y, en particular a los efectos de huracanes con alta pluviosidad restringe la efectividad de las obras como elementos seguros y estables para el aprovechamiento de los recursos y para la vida y propiedades de las comunidades vinculadas a estos sistemas hidráulicos (House et al. 2002; Carson, 2013). El notable peligro sísmico y el vulcanismo del área también

comprometen la seguridad de los sistemas hidráulicos de la región. Estos dos grupos de eventos, unos zonales y otros azonales constituyen los dos grupos de procesos que mayor daño causan en la región. El modo en que ellos afectan en particular a la seguridad de las imprescindibles obras hidráulicas ha sido motivo de estudio desde hace muchos años. La necesidad de prolongar los registros de crecidas y de terremotos más allá del registro histórico e instrumental ha sido señalado por algunos organismos internacionales (IAEA, 2010, 2015), sobre todo en zonas de sismicidad baja a media, ante la necesidad de mejorar los diseños y operación de obras complejas.

Recibido: 12 de julio de 2020

Aceptado: 30 de julio de 2020

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

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

Ante tales peligros, la seguridad geológica, hidrológica y estructural de los sistemas hidráulicos es de la mayor importancia. La capacidad de estas obras para enfrentar esos eventos específicos debe ser evaluada rigurosamente, tanto para obras en explotación para nuevos emprendimientos. La resiliencia de los diferentes tipos de relieve y estructuras geológicas constituyen elementos importantes en esa evaluación de la vulnerabilidad regional. Para ello, la información que se deriva del registro de evidencias de la evolución geológica, hidrológica y geofísica del territorio es inestimable. El territorio es inestimable. Y, de todos los entornos geodinámicos, el proyecto el karst y pseudokarst brindan razones excepcionales para ser considerados como escenarios de análisis por varias razones, entre las que pueden mencionarse:

- a. La extraordinaria distribución geográfica de estos fenómenos y procesos (cársticos y pseudocársticos)
- b. La generalmente buena conservación de evidencias paleosísmicas y paleohidrológicas que pueden constituir registros proxy de alta resolución
- c. El desarrollo de técnicas y tecnologías de colecta de datos y procesamiento de información que cubren una amplia gama de recursos y productos de alta precisión para el fechado, cuantificación de los fenómenos a evaluar (sismos, avenidas, deposición de sedimentos)

En este sentido, las cuevas *per se*; es decir su geometría interna, evolución geólogo-geofísica e hidrología y su posición en el sistema geólogo - hidrológico local y regional, los sedimentos que contiene (tanto autóctonos como alóctonos; a saber: espeleotemas, cortezas líticas y gours, estalactitas colapsadas, clastos, eluviones y aluviones y la materia orgánica generada o arrastrada) pueden constituir evidencias de procesos paleosísmicos y paleohidrológicos y proveen, debidamente discriminados, de una fuente invaluable de identificación cualitativa y valoración cuantitativa de la geodinámica endógena y exógena del territorio (Fig. 1). Lo propio es válido para fenómenos pseudocársticos.



Foto Vladimir Otero

**Fig. 1.** Las cuevas constituyen trampas de sedimentos, pequeñas cuencas sedimentarias donde se conservan evidencias de la evolución sedimentaria y tectónica de la cuenca tributaria a la cavidad.

## Identificación del problema

En no poca medida, muchas de las catástrofes provocadas por el fallo de las obras hidráulicas se deben a errores de diseño asociados a un conocimiento incompleto o impreciso de los problemas geológicos e hidrológicos del sitio de emplazamiento y de la cuenca vertiente que luego, en tanto fuentes de incertidumbre, se traducen en errores de proyección, construcción, operación y mantenimiento. Seguimos básicamente la estúpida síntesis de [De Membrillera et al. \(2005, 2015\)](#).

Cada presa de almacenamiento es siempre un prototipo no reproducible y único que ha sido diseñado, construido y -normalmente- operado bajo condiciones muy específicas, en un sitio con condiciones geológicas, geofísicas e hidrológicas y de peligros naturales casi exclusivas y, por lo común, irremplazables. Lo mismo es válido para las infraestructuras vinculadas al proyecto (cursos modificados de ríos, canales, estaciones de bombeo, urbanización e industrias locales desarrolladas en la cuenca regulada para aprovechar los beneficios de la obra). El modo en que estos efectos cambiantes en el territorio pueden afectar o ser afectados por los terremotos o por avenidas no calculadas debe ser abordado cuidadosamente, incluso si las normas, códigos y reglamentos establecidos no cubren las necesidades de seguridad de las presas. Adicionalmente, aunque las conclusiones y métodos de las Mejores Prácticas Internacionales pueden (y deben) ser tomados en consideración, debe tenerse en cuenta la singularidad de cada proyecto hidráulico y, sobre todo, que las observaciones y conclusiones derivadas del comportamiento de otras represas son sólo ilustrativas y no deben usarse para pronosticar el desempeño de una presa en particular. Desde el punto de vista geólogo - geofísico, las fuentes de incertidumbre se encuentran en:

- Las particularidades de la composición litológica y la estructura geológica en la zona de cierre y en la cuenca vertiente
- El tipo y grado de evolución del relieve, el modelado de las vertientes y la forma en que éste y la geología local gobiernan la formación del escurrimiento superficial (y subterráneo), el movimiento de laderas y el transporte y deposición de sedimentos
- El grado de actividad sismotectónica actual y pretérito debidas a la posición estructural (intra o interplacas) del territorio y a procesos asociados de vulcanismo
- El efecto del embalse como agente productor de terremotos
- La existencia de cauces de avenida y, sobre todo, de paleocauces enterrados (o no) abandonados del río principal y los tributarios que serán afectados

El enfoque hidrológico del problema de reducción de incertidumbre se orienta básicamente a la aclaración de los factores hidrometeorológicos que controlan la formación del escurrimiento; particularmente, en cuanto concierne a la disponibilidad de agua, la formación de avenidas súbitas, la representatividad de las estaciones de referencia y la estructura, coherencia, congruencia y longitud de la data básica (lluvia, escurrimiento superficial, escurrimiento subterráneo, crecidas, derivaciones, evaporación y evapotranspiración) y los cambios futuros en el uso de la tierra y el agua

Desde el punto de vista operacional, el conjunto de problemas que se enfrenta en la actualidad es el siguiente:

- La demanda de mayores niveles de seguridad para la población y los bienes ubicados aguas abajo de las presas.
- La necesidad de optimizar la gestión de sistemas de recursos hídricos y aumentar la capacidad de regulación de los mismos con objeto de dar respuesta a una demanda creciente de abastecimiento; todo ello en un contexto de aparente incremento de eventos climatológicos extremos (avenidas y sequías).
- La imposibilidad práctica de acometer la construcción de nuevas estructuras por aspectos/restricciones sociales y medioambientales.
- El envejecimiento del parque de presas (la mayoría de las estructuras supera los treinta años de antigüedad y un porcentaje muy amplio los cincuenta años en explotación).
- La existencia de presas que no satisfacen las solicitaciones de naturaleza hidrológica y sísmica recomendadas por la normativa actual.
- La existencia de presas en explotación que no satisfacen el actual estado del arte en la construcción.
- El importante coste que supone lograr que las presas explotadas verifiquen los criterios de seguridad vigentes.
- Una creciente exigencia social por cuantificar el riesgo ligado a eventos catastróficos.
- La concentración de población y actividades ubicadas aguas abajo de las presas.
- El aumento de la aversión social al riesgo, en un contexto de aparente incremento de eventos climatológicos extremos y de expectación por una mayor protección frente a los mismos.
- Dificultad en el manejo de riesgos de muy baja probabilidad asociados a las presas.
- La tendencia a disminuir la inversión pública y hacer que el usuario final pague las infraestructuras que le proporcionan un servicio y que son, cada vez más, gestionadas desde el sector privado.

- La necesidad de priorizar y optimizar al máximo la inversión económica debido a los ajustes presupuestarios.

Los datos de diseño de las presas y obras hidráulicas deben actualizarse sistemáticamente. Esto no sólo debe ajustarse constantemente con el estado del arte de proyectos de ingeniería sino 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 sísmológicos registrados en ciertas regiones.

Vistas en detalle, las más importantes causas ocultas que agravarán los eventos hidrológicos y geofísicos extremos y que pueden aparecer combinadas, son las siguientes:

- Monitoreo inadecuado
- Defectos de construcción
- Diseño insuficiente debido a regulaciones laxas y reducción de costos
- Mantenimiento deficiente
- Inestabilidad geológica del valle, la base de la presa y o reactivación de fallas geológicas
- Bombardeo en situaciones de guerra

Cuando las presas de almacenamiento o las hidroeléctricas se destruyen o fallan parcialmente, el principal problema que se produce aguas abajo está relacionado con las inundaciones, el oleaje -sobre todo la ola de rotura-, y el transporte de rocas y lodo. Pero, aunque los terremotos no provoquen la destrucción de estas obras, los fenómenos geológicos asociados al sismo, tales como hundimientos del terreno, deslizamientos de tierra, caídas de roca y aludes de lodo empeoran la calidad del agua en tanto aumentan la turbidez y la sedimentación, cambian la concentración de los macroconstituyentes y/o la composición bacteriológica del agua, bloquean o interrumpen los cauces fluviales y obstaculizan el drenaje superficial.

Los sismos, en particular, acarrear múltiples peligros en las presas debido a que ([Wieland, 2010](#)):

- El movimiento de tierra causa vibraciones y distorsiones estructurales en las presas, estructuras mecánicas, obras de fábrica, elementos y equipos adyacentes y sus cimientos;
- Se pueden activar movimientos de fallas o de discontinuidades geológicas en la base de la presa cerca de fallas geológicas importantes, causando distorsiones estructurales en el terreno y en la obra;
- El desplazamiento de fallas en el fondo del reservorio puede causar oleaje en el embalse y generar caudales que

sobrepasen la capacidad del aliviadero y la altura de coronación;

- Las caídas de rocas y deslizamientos de tierra pueden dañar las compuertas, agrietar los muros del vertedero, volcar los muros de contención, destruir las centrales de generación eléctrica y los equipos electromecánicos, ductos, túneles, mástiles de líneas de transmisión, etc.
- Los movimientos masivos de rocas y tierra que bloquean los ríos pueden formar diques temporales de retención de las aguas que más tarde pueden fallar o desbordarse causando nuevas inundaciones aguas abajo no necesariamente a lo largo de los cauces activos y también pueden provocar grandes olas en el acuatorio;
- La licuefacción o la densificación del suelo puede ser motivo de movimientos de rocas y suelos (desprendimientos, deslizamientos, deslaves) y de subsidencia y asentamientos del terreno, que también causan distorsiones en las estructuras de las presas y sus obras accesorias, así como modificaciones en la forma del embalse;
- El apilamiento de rocas y tierra es una causa adicional de distorsiones en las obras civiles y, sobre todo, en las estructuras de cierre del embalse;
- Los efectos de oleajes menores y de oscilaciones propias del nivel de agua almacenada como las ondas estacionarias del tipo seiches -aunque pueden producirse y deben ser tomadas en consideración- son de menor importancia respecto a las afectaciones que pueden provocar los terremotos sobre las presas.

Los problemas hidrológicos más importantes que se presentan son:

- Inundaciones inesperadas o repentinas no previstas
- Inundaciones que superan la capacidad proyectada y construida de descarga y almacenamiento
- Deslizamientos de tierra debido a fuertes lluvias
- Subsidencia causada por la sobreexplotación de aguas subterráneas o incluso de pozos petroleros
- La erosión de ductos
- Reactivación de sumideros
- Destrucción de los estribos, los aliviaderos y las compuertas

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.

### **Paleosismos: La incorporación de la evidencia geoespeleológica**

La necesidad de prolongar los registros sísmicos en zonas donde los intervalos de recurrencia son largos y exceden el período cubierto por los registros instrumentales e históricos resulta fundamental para garantizar la prevención y la gestión adecuada de los riesgos. Los resultados de las investigaciones sobre las evidencias de sismos marcados en el registro geológico han sido exitosos para complementar los registros instrumentales e históricos. Ellos se han basado en estudios tectónicos y en una cierta variedad de archivos geológicos que contienen evidencias de actividad sísmica, como la deformación de sedimentos lacustres, lentes de arena en sedimentos acumulativos de inundaciones, inestabilidad de pendientes, travertinos, deformación de terrazas y clasticación y colapso de espeleotemas en cavernas. Este último caso provee un volumen de información sumamente importante y confiable que:

- a. Permite sustentar la extensión del catálogo de sismos a épocas geológicas anteriores, más allá de los registros instrumentales e históricos
- b. Facilita la reconstrucción de paleoisosistas y la cuantificación de las intensidades y magnitudes a partir del análisis geomecánico de las espeleosismitas fracturadas, colapsada y las sanas.

Las espeleotemas ([Fig. 2](#)), tanto fracturadas como las que están sanas, pueden tomarse y, de hecho, lo han sido, como evidencias de antiguos sismos y se consideran señales de terremotos de cierta intensidad y magnitud que ocurrieron (o no ocurrieron) en pasadas épocas geológicas. Trascienden así los registros instrumentales e históricos y eventualmente permiten contribuir a reconstruir la historia de la sismicidad de una región dada. Son sobre todo especialmente importantes cuando no pueden reconocerse las fallas y estructuras sismoactivas ([Gilli, 1995](#); [Forti, 2001](#); [Becker et al., 2006](#)).

El modelo teórico en principio es muy simple: las formaciones fracturadas y/o desplazadas son consecuencia de eventos sísmicos pasados, en tanto aquellas que están

sanas prueban que sismos de una magnitud determinada no han ocurrido en la región. Entre ambos extremos hay un espectro bastante amplio de posibilidades, ya que el agrietamiento, colapso, desplazamiento, recristalización y resoldamiento de espeleotemas, así como la clastificación, subsidencia de pisos, recrecimiento de espeleotemas y reexcavación de galerías no necesariamente están siempre vinculadas con eventos sísmicos, sino que pueden deberse a otras causas: desde deformación de las estructuras cristalinas de las propias concreciones hasta la fatiga de los materiales pasando, como lamentable práctica, por la ruptura deliberada de visitantes a las cuevas (Molerio, 2016, 2017, 2020; Núñez, Díaz y Molerio, 2020).



Foto del Autor

**Fig. 2.** Estructura estalactítica cizallada por movimientos sísmicos en la Cueva de Don Martín, Boa de Jaruco, Cuba

### **Paleoinundaciones: Incorporación de la evidencia del paisaje cársico yseudocársico (y terrenos alogénicos)**

Las avenidas también constituyen uno de los efectos más desastrosos que pueden afectar la sociedad y, como tal, también existe una fuerte demanda para minimizar los riesgos derivados de un manejo inadecuado de los recursos hídricos de una cuenca determinada. Cuando estas han sido sometidas a procesos de regulación artificial, como la construcción de presas y canales (particularmente los trasvases) o se han ignorado los paleocauces (y paleovalles) y la urbanización se ha extendido sobre ellos se crea un nuevo problema de gestión social que, en muchos países, resulta en una problemática prácticamente insoluble, tanto por su recurrencia como por la creciente magnitud de los eventos que puede esperarse de los efectos del cambio climático.

El estudio de paleoinundaciones no es nuevo, pero es de reciente factura. House et al. (2002) han señalado que el objetivo primario de la hidrología de las paleoinundaciones (paleocrecidas) es extender la cronología de estos eventos a períodos también más allá de los registros instrumentales e

históricos, incluso, que abarquen entre centenares y miles de años. De esta manera, las cronologías derivadas pueden constituir la base de registros proxy para elaborar aquellas cronologías que producen eventos de inundaciones, proveer información acerca de los cambios en la morfología de los sistemas fluviales (Fig. 3) y servir como estándares para la comparación conceptual de modelos de avenidas y peligros de avenidas en ríos y corrientes específicas. La paleohidrología de estas avenidas e inundaciones antiguas tienen un valor social específico muy importante para la sociedad al constituir la base de estudios de riesgos hidrológicos, peligros naturales fluviales y, en general, de gestión del riesgo.



Foto del Autor

**Fig. 3.** Evidencias de paleoinundaciones en el Salón de Los Gigantes del Sistema Cavernario Majaguas-Cantera, Pinar del Río, Cuba. Obsérvense los depósitos aluviales formando una terraza sobre un antiguo plano de inundación formado por innumerables cantos rodados angulosos. En la parte superior, las huellas de la potente erosión fluvial que modeló las morfoesculturas en la pared y el techo, hoy a unos 10 metros sobre el cauce actual.

La evidencia geoespeleológica se incorpora de varias maneras; a saber:

- a. La cueva *per se*, como cuenca receptora de sedimentos del entorno que constituye su propia cuenca de drenaje superficial y sistema de flujo subterráneo al que está asociada: los llamados indicadores de paleoestado hidrológico (Paleostage Indicators -PSI- de Baker (1987).
- b. La estratigrafía y, por supuesto, la cronoestratigrafía de los sedimentos sobre todo aluviales y también lacustres que se conservan en el interior de las cuevas; muchos de ellos englobados en los llamados por Baker (1987, 1988, 1989, 1994, 1998, 2008) y Kochel y Baker (1982, 1988) Water Deposits (SWD). En este sentido, son particularmente importantes aquellos que se conservan en partes altas de las cuevas que se han conservado sin

alteración y bien conservados en tanto no han sido afectadas por otras crecidas en el pasado geológico reciente. Aquí distinguimos; especialmente: 1) aquellas cuevas originadas por corrientes helicoidales asociadas con flujos lacustres en valles cerrados antiguos (algunos de ellos registrados y documentados a decenas de metros sobre el piso actual de los valles; 2) las que están directamente asociadas a cauces fluviales pretéritos (incluso algunos que han dejado de existir y el valle aguas arriba ha sido fosilizado o, al menos, desactivado hidrológicamente y 3) las que reciben escorrentía lateral difusa con arrastre de sedimentos y que, en la actualidad, han cambiado su función hidrológica de conductoras a absorbentes.

- c. Los registros dendrocronológicos de la vegetación introducida en las cuevas como consecuencia de las avenidas y la fauna fósil -particularmente la de vertebrados- que habitaban el exterior y: a) podían buscar refugio o alimento en el umbral de la cueva, b) la que eventualmente fue arrastrada al interior por las crecidas
- d. Los sedimentos autóctonos; es decir, generados en la propia cavidad, como las espeleotemas y, entre ellas, particularmente las estalagmitas, aunque otro tipo de depósitos no dejan de ser importantes, aunque han sido menos estudiados; como ciertas capas de sínter y aún, la columna deposicional de los gours, cuyos registros isotópicos constituyen evidencia de los cambios en el régimen hidroclimático de la cuenca (o paleocuenca).

### Nota final

El proyecto ha demostrado la necesidad insoslayable de actualizar 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 a la fecha y b) extender los registros 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. Otro tanto ocurre con la incorporación de registros de paleosismos; sobre todo en zonas de sismicidad baja a media, pero no únicamente en este caso, sino aun, en aquellas de sismicidad alta en que los efectos pueden combinarse, bien sea por la presencia de enjambres sísmicos, incremento de la actividad volcánica o la peligrosa combinación de sismos y avenidas extraordinarias.

### Bibliografía

Baker, V.R. (1987): Paleoflood hydrology and extreme flood events. *Journal of Hydrology* 96, 79-99.

- Baker, V.R. (1988): Flood geomorphology and palaeohydrology of bedrock rivers. In: Dardis, G.F., Moon, B.P. (Eds.), *Geomorphological Studies in Southern Africa*. A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 473-486.
- Baker, V.R. (1989): Magnitude and frequency of palaeofloods. In: Beven, K., Carling, P. (Eds.), *Floods, Their Hydrological, Sedimentological and Geomorphological Implications*. John Wiley and Sons, Chichester, pp. 171-183.
- Baker, V.R., (1994): Geomorphological understanding of floods. *Geomorphology* 10, 139-156.
- Baker, V.R., (1998): Paleohydrology and the hydrological sciences. In: Benito, G., Baker, V.R., Gregory, K.J. (Eds.), *Palaeohydrology and Environmental Change*. Wiley, Chichester, pp. 1-1
- Baker, V.R. (2008): Paleoflood hydrology: Origin, progress, prospects. *Geomorphology* 101 (2008) 1-13
- Becker, A., C. A. Davenport, U. Eichenberger, E. Gilli, P.Y. Jeannin, C. Lacave (2006): Speleoseismology: a critical perspective. *J Seismol* (2006) 10:371-388
- Carson, E.C. (2013): *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology*. P. Kyle House, Robert H. Webb, Victor R. Baker, and Daniel L. Levish (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)
- De Membrillera M. G.; Escuder I.; González J. y Altarejos L. (2005): Aplicación del Análisis de Riesgos a la Seguridad de Presas. Universidad Politécnica de 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. 3<sup>rd</sup> International Forum on Risk analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management*, CRC Press, Taylor & Francis, Valencia, España, 395:
- Forti, P. (2001): Seismotectonic and paleoseismic studies from speleothems: the state of the art. *Geol. Belgica. Vol Karst & Tectonics* 4(3-4):175-185
- Gilli E. (1995): Recording of earth movements in karst. *Actes 5th Int. Conf. Seism. Zonation* 17-18 oct 1995. Nice
- House, P. Kyle, Robert H. Webb, Victor R. Baker, Daniel R. Levish (2002): *Ancient floods, modern hazards: principles and applications of paleoflood hydrology*. Water Science and Application 5, American Geophysical Union, Washington, 380:
- 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 Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations. International Atomic Energy Agency IAEA-TECDOC-1767, Vienna, 212:
- Kochel, R.C., Baker, V.R., (1982): Paleoflood hydrology. *Science* 215, 353-361.
- Kochel, R.C., Baker, V.R., (1988): Paleoflood analysis using slackwater deposits. In: Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, P.C. (Eds.), *Flood Geomorphology*. Wiley, NY, pp. 357-376.
- Molerio-León, L.F. (2016): Paleoseismology and Speleothems: Looking for the Speleological Record of Earthquakes in Western Cuba. *NSS News*, May 2016, National Speleological Society, 174(5):8-11
- Molerio-León, L.F. (2017): Evidencias espeleológicas de paleosismos en el Occidente de Cuba. *Gota a gota*, nº 14 (2017): 76-88 Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.) <https://sites.google.com/site/espeleovillacarrillo/home/gota-a-gota-no-14-2017?overridemobile=true&tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- Molerio León, L.F. (2020): Caves and Dam Safety. Improving Design with Evidences from Paleoseismology and Paleohydrology. *ResearchGate*, 5: <https://www.researchgate.net/publication/341794335>
- Núñez Haugh, L., Díaz Luque, J.A. Y Molerio-León, L.F. (2020): Indicadores de paleosismicidad derivados de espeleotemas fracturadas en cavernas del campo gasopetrolífero de Boca de Jaruco, Mayabeque, Cuba. *Gota a gota*, nº 21: 1-9. Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.)
- Wieland M. (2010): Dam safety and earthquakes. *International Water Power and Dam Construction. Newsletter*, ISSN: 0306-4000, London, UK, 20 September 2010.