

UNA VISIÓN CRÍTICA SOBRE EL DESASTRE DE VARGAS ¿QUÉ SE HA HECHO? ¿QUÉ FALTA POR HACER?

JOSÉ LUIS LÓPEZ

Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela
lopezjoseluis7@gmail.com

Recibido: febrero de 2011

Recibido en forma final revisado: diciembre de 2011

RESUMEN

Las lluvias extraordinarias y consecuentes aludes torrenciales que ocurrieron en el estado Vargas en Diciembre de 1999, causaron el peor desastre de origen hidrometeorológico que haya ocurrido en nuestro país. En este trabajo se realiza una evaluación crítica y constructiva sobre las medidas y acciones de mitigación ejecutadas durante estos 10 años (2000-2010) en Vargas. En una primera parte se presenta una visión retrospectiva a partir de un análisis de la situación existente que resume las causas y efectos del fenómeno hidrometeorológico. En una segunda parte se discuten los avances científicos y tecnológicos alcanzados en este período y se revisan los aciertos y desaciertos sobre las obras, medidas y acciones emprendidas para reducir la vulnerabilidad de las poblaciones asentadas en el estado Vargas. Por último, se presenta una mirada al futuro que se materializa a través de un conjunto de recomendaciones para mejorar la situación actual y reducir los riesgos de un nuevo desastre. Se concluye que, a pesar de que las medidas de prevención y mitigación implementadas en Vargas han reducido la vulnerabilidad de la población, es indudable que todavía falta mucho por hacer para garantizar un margen adecuado de seguridad a sus habitantes. La reocupación de zonas afectadas por los eventos de 1999 y 2005, los efectos potenciales del cambio climático y la rapidez con que se están sedimentando las presas de Vargas, sugieren que un nuevo desastre puede producirse en esa región.

Palabras clave: Lluvias extraordinarias, Desastre, Vargas, Aludes torrenciales, Lecciones aprendidas.

A CRITICAL VISION ON THE VARGAS DISASTER ¿WHAT HAS BEEN DONE? ¿WHAT MUST BE DONE?

ABSTRACT

The extraordinary storm and debris flows that took place along the state of Vargas in December 1999 caused the worst meteorological disaster that has been recorded in Venezuela. In this paper a critical and constructive assessment on the debris-flow mitigation measures implemented between 2000 and 2010 in Vargas is presented. Initially a retrospective vision is offered by summarizing the causes and effects of the 1999 debris flows. Then, a critical but constructive vision is shown by discussing the success and failures of the mitigation measures and actions carried out in the state of Vargas. Finally, a look to the future is endorsed by a set of recommendations to improve the current situation and reduce the risk of a new disaster. In spite of the fact that debris-flow mitigation measures implemented in the state of Vargas have reduced the vulnerability of the population, is clear that more efforts are needed to guarantee an adequate degree of safety in the urban areas. The reoccupation of sectors affected by the 1999 and 2005 floods, the potential effects of global warming and climate change, and the rapid pace that control dams have filled up with sediment, suggest that a new disaster could be triggered in the region.

Keywords: Extreme storm, Disaster, Vargas, Debris flows, Lessons learned.

INTRODUCCIÓN

Las lluvias torrenciales ocurridas en Venezuela en Diciembre de 1999, generaron masivos deslizamientos, inundaciones y

aludes torrenciales, produciendo en la región norte-costera y particularmente en el estado Vargas, el peor desastre de origen hidrometeorológico que haya ocurrido en nuestro país (López *et al.* 2001). A partir de ese momento, una parte

significativa de la comunidad científica y profesional de nuestro país, se volcó al estudio e investigación de los aludes torrenciales y de las formas de reducir la vulnerabilidad de las poblaciones asentadas a lo largo de litoral costero de Vargas. En este trabajo se realiza una revisión de los avances científicos y tecnológicos alcanzados, de las obras, medidas y acciones implementadas para la mitigación del riesgo, y de las enseñanzas y experiencias adquiridas durante estos 10 años luego de haber ocurrido el desastre de Vargas.

Para ello el artículo se ha organizado en tres partes. Primero se presenta una visión retrospectiva, examinando el pasado para resumir las causas y efectos del evento catastrófico de 1999. En una segunda parte, se presenta una visión crítica y constructiva, revisando los aciertos y desaciertos de las medidas y acciones emprendidas en materia de prevención y mitigación. En la última parte, se presenta una mirada al futuro que se materializa a través de un conjunto de recomendaciones para mejorar la situación actual y reducir los riesgos de un nuevo desastre. Las siguientes interrogantes se plantean en el texto y se discuten a los fines de facilitar el análisis y presentación de los resultados del estudio:

¿Cuáles fueron las características más importantes del evento hidrometeorológico?

¿Cómo se originaron los aludes torrenciales?

¿Cuáles fueron los efectos y las consecuencias de los aludes torrenciales?

¿Por qué ocurre el desastre?

¿Qué se ha hecho para reducir los riesgos de un nuevo desastre?

¿Cómo se han comportado las obras hidráulicas construidas?

¿Qué hemos dejado de hacer o hemos hecho mal?

¿Qué debemos hacer a futuro para reducir los riesgos?

UNA VISIÓN RETROSPECTIVA

¿Cuáles fueron las características más importantes del evento hidrometeorológico?

Las lluvias que se produjeron en Diciembre de 1999 en Venezuela, fueron extraordinarias (López *et al.* 2001). La extensión, magnitud y consecuencias del evento hidrometeorológico superan a otros eventos similares ocurridos en Venezuela, durante las épocas registradas. En

escala geológica, se ha encontrado que estos eventos han sido recurrentes en el litoral Vargas desde hace miles de años (Singer, 2010; Urbani, 2010).

El registro oficial de la precipitación total medida en la estación de Maiquetía (ubicada a 43 msnm) para los días 14 al 16/12, fue de 911 mm (CAF-PNUD, 2000). Sin embargo, el total en la estación de Mamo, ubicada a una distancia de 8 km y casi a la misma elevación (81 msnm), fue de 308 mm para el mismo período (3 días). Esta notable discrepancia entre los datos de estas estaciones indica un posible error en algunos de estos registros. Por otra parte, las observaciones del satélite meteorológico GOES 8 y de los auto-estimadores de lluvia preparados por la NOAA-NESDIS para determinar la distribución espacial y temporal de la tormenta del 99 en Vargas (Wieczorek *et al.* 2001) reportan un máximo de 400 mm de lluvia en un período de 52 horas entre el 15/12 (19:45 horas) al 17/12 (23:45 horas). Estos resultados son más consistentes con los registros de Mamo que con los de Maiquetía, por lo que refuerzan la idea de un funcionamiento inadecuado de los equipos de medición en Maiquetía (Foghin, 2001). Algunos investigadores han estimado que esta lluvia ha debido estar en el orden de 800 mm (Córdova & González, 2010). Sin embargo, cualquiera de estos valores es bastante mayor que el promedio anual histórico de 523 mm en Maiquetía. No existían otras estaciones operando en la parte alta de las cuencas de Vargas, por lo que no se conoce la precipitación ocurrida en la montaña. Usualmente se acepta que la precipitación en las partes altas de la montaña es mayor debido al ascenso de las masas de aire por efecto orográfico (CAF-PNUD, 2000). Por ejemplo, los datos de la tormenta de 1951, 529 mm en el Infiernito (parte alta de la montaña en las cabeceras del Río Piedra Azul) y 250 mm en Maiquetía (nivel de mar), sugieren que la precipitación puede ser mayor, en algunos casos casi el doble que en la costa (Sardi, 1959). Sin embargo, las observaciones y datos del satélite GOES durante los días 15 al 17/12, indican que la zona de máxima lluvia se concentró en las partes bajas y medias de las cuencas ubicadas entre Macuto y Caraballeda, decreciendo los valores de precipitación hacia el este y hacia el oeste de este sector, así como hacia el sur (valle de Caracas). Análisis de frecuencia de la tormenta con los datos históricos de Maiquetía indican que el periodo de retorno para las lluvias de 1 y 3 días (410 y 911 mm) está en el orden entre 500 y 1000 años (Bello *et al.* 2003; Córdova & González, 2010).

Las diferentes formaciones geológicas que se encuentran en el macizo Ávila determinaron las características del material aportado. En las montañas afloran rocas metamórficas correspondientes a las denominadas unidades Esquistos de Tacagua y Asociación Metamórfica Ávila (Urbani *et*

al. 2006). Los esquistos de la Fase Tacagua afloran en las elevaciones más bajas de la cordillera, a lo largo de una banda de ancho entre 700 m y 1500 m paralela a la línea de costa. Al sur de esta banda, a elevaciones mayores, afloran rocas más competentes pertenecientes a los Esquistos de San Julián, Gneiss de Peña de Mora y Meta-granitos (Salcedo, 2000). Los esquistos de Tacagua fueron afectados por flujos y deslizamientos superficiales que aportaron grandes cantidades de material fino a los abanicos aluviales. El alto porcentaje de enormes peñones (métricos y hasta decamétricos) encontrados en los abanicos, pertenecen a las unidades litológicas que afloran a elevaciones medias y altas de las cuencas (Complejo Ávila), donde se produjeron flujos y deslizamientos más profundos que alcanzaron a desplazar grandes bloques rocosos. Sin embargo, la fuente de los grandes peñones aportados por los flujos torrenciales de 1999 parece ser el producto de la erosión y removilización de depósitos antiguos (Salcedo, 2000; Urbani *et al.* 2006).

Fotografías aéreas, imágenes satelitales y observaciones en campo, mostraron que la densidad de las cicatrices de los deslizamientos fue mucho mayor en las partes bajas y medias de las cuencas que en las partes altas (Urbani *et al.* 2006). Esta distribución espacial de los deslizamientos en la montaña, es consistente con la distribución de la tormenta determinada por el satélite GOES, que indicó patrones de lluvia mayores en las partes medias y bajas de las cuencas. Además, en los tramos inferiores de las cuencas, el suelo y las rocas meteorizadas con un manto pequeño de cobertura vegetal, fueron erosionados más fácilmente que las rocas duras (esquistos y gneises) en las partes altas, protegidas por grandes árboles cuyas raíces ofrecen mayor estabilidad a las capas de suelos residuales y al macizo rocoso. Hay que hacer notar también que en zonas de menor elevación, las bajas pendientes inducen a una mayor infiltración desestabilizante. Considerando todas las cuencas, se estima que el área total afectada por la denudación y los deslizamientos estuvo en un orden cercano al 20% del área total expuesta a la tormenta (Arisemendi *et al.* 2006).

¿Cómo se originaron los aludes torrenciales?

Una de las características más resaltantes del macizo Ávila es su topografía abrupta y las fuertes pendientes de sus canales y laderas (López *et al.* 2001). El efecto combinado de la meteorización, actividad tectónica y movimientos sísmicos, ha desestabilizado la montaña, afectándola con numerosas fallas y grietas, produciendo abundancia de rocas fracturadas, sedimentos y suelos inestables. Las lluvias extraordinarias de Diciembre de 1999 aprovecharon este ambiente favorable y produjeron miles de deslizamientos y derrumbes en las faldas y cuestas de la montaña, los cuales, al mezclarse con el agua, se transformaron en aludes

torrenciales que descendieron de las colinas, transportando millones de metros cúbicos de sedimentos a las zonas más bajas de las cuencas (López, 2001). Las altas pendientes en los cauces (mayores a 15°) y laderas (mayores de 35°), la presencia de abundantes sedimentos y la enorme cantidad de lluvia precipitada, fueron los ingredientes necesarios para desencadenar los aludes torrenciales. Muchos de estos aludes ocurrieron como una secuencia de frentes de ondas que alcanzaron posiblemente velocidades cercanas a los 10 m/s (30 a 40 km/h). En el frente de la onda se concentra la mayoría de los peñones y grandes clastos (Hubl & Steinwendtner, 2000), lo cual le otorga un gran poder de destrucción, explicando así el enorme daño que causaron aguas abajo, arrasando numerosas viviendas y haciendo colapsar estructuras de concreto armado (Salcedo, 2000). Los aludes torrenciales tienen también la propiedad de que a medida que se desplazan en el cauce, van erosionando el lecho e incorporando nuevo material, lo cual conduce a una amplificación de la onda de flujo.

¿Cuáles fueron los efectos y las consecuencias de los aludes torrenciales?

Según testigos del evento, los aludes se generaron casi simultáneamente, durante las primeras horas de la mañana del 16 de Diciembre de 1999, en muchas de las quebradas del macizo Ávila (Zhang *et al.* 2006; CAF-PNUD, 2000). El desplome de los taludes, por saturación de los suelos que cedieron ante la elevada cantidad de lluvia, constituyó la fuente principal de sedimentos para los aludes torrenciales que se desplazaron aguas abajo hasta alcanzar las zonas pobladas, destruyendo casas, edificios, carreteras y casi toda la infraestructura construida sobre las terrazas, gargantas y abanicos aluviales (conos de deyección) de las quebradas (CAF-PNUD, 2000).

La cantidad total de sedimentos depositados en los abanicos aluviales de las 24 cuencas se ha estimado en el orden de 20 millones de m³ (López & Pérez, 2010a). La deposición de sedimentos desplazó la línea de costa, en algunos casos, hasta 200 m hacia el mar, generando nuevas playas y zonas potenciales de recreación. La extensión del área ganada al mar ha sido calculada en, aproximadamente, 150 ha. La cantidad de sedimentos depositados en el abanico aluvial del Río San Julián ha sido estimada en 2,6 millones de m³ (Córdova & González, 2003; López *et al.* 2001), siendo este valor el volumen más grande registrado en el mundo para un alud torrencial (Wieczorek *et al.* 2001). Una buena parte del material arrastrado hacia los abanicos aluviales corresponde a sedimentos acumulados en los cauces de las quebradas, arrastrados por eventos anteriores, tal como la tormenta extraordinaria de 1951 (Urbani, 2006; Garner, 1959).

Observaciones personales del autor, indican que muchos de los sedimentos erosionados en los cauces y en las partes altas de las cuencas, no llegaron a los abanicos aluviales y se quedaron acumulados y represados en los tramos superiores de los cursos de agua. Esta ha sido la causa de que, después de Diciembre de 1999, se haya estado observando con mayor frecuencia en Vargas, la colmatación de los cauces y la obstrucción de los puentes con lluvias de menor o regular intensidad. Es de esperar que este fenómeno se siga repitiendo en Vargas, hasta que la cuenca termine por evacuar los sedimentos en tránsito o se estabilice con el crecimiento de la vegetación, lo cual conllevaría al establecimiento de una nueva condición de equilibrio morfológico en los cauces.

La mayoría de los daños fueron producidos por inundaciones de agua y flujos de sedimentos, impactos de peñones y escombros, y por erosión fluvial (Salcedo, 2000). De acuerdo al informe de CAF-PNUD (2000), el total de viviendas afectadas se estimó en 40.000 de las cuales fueron destruidas unas 8.000. Unas 240.000 personas, aproximadamente el 70% de los habitantes del Estado Vargas, fueron afectadas por los deslaves. Aproximadamente 100.000 personas fueron evacuadas. Los sistemas de aguas blancas y aguas servidas colapsaron casi en su totalidad. El 80% de la vialidad fue destruida. Los daños materiales superaron los cuatro mil millones de dólares (Genatios, 2006; Genatios & La Fuente, 2006). Sin embargo, la cifra de personas muertas nunca ha sido cuantificada con precisión. El estudio de CAF-PNUD (2000) reporta entre 15.000 y 50.000 víctimas, y un trabajo reciente de investigación estima en un número no mayor a 800 personas el total de víctimas (entre fallecidos y desaparecidos) de los deslaves del 99 en Vargas (Altez, 2010).

¿Por qué ocurre el desastre?

Los cauces o quebradas que descienden del Ávila son torrentes que se caracterizan por poseer una cuenca tributaria donde se colectan las aguas de lluvia y se producen los sedimentos, una garganta o cañón, zona estrecha al final de la cuenca donde se concentran todos los tributarios del torrente, y un abanico aluvial o cono de deyección donde se depositan los sedimentos a la salida de la montaña. La mayoría de las poblaciones del Estado Vargas se han asentado sobre las pocas zonas planas disponibles, que constituyen los abanicos aluviales y gargantas de las quebradas, ocupando un territorio que le pertenece al cauce torrencial. Observaciones geológicas demuestran que los aludes torrenciales se han producido en la región desde hace miles de años (Singer, 2010; Urbani, 2010). Más recientemente, en 1951, enormes cantidades de sedimentos bajaron de la montaña y ocuparon las gargantas

y abanicos de las quebradas de Vargas en forma similar a lo ocurrido en 1999, sin causar mayores daños ya que esas áreas no se habían urbanizado todavía (Sucre, 1951; Garner, 1959). Se trata entonces de eventos de reconocida recurrencia histórica que, en esta oportunidad, encontraron asentamientos urbanos ocupando el territorio del río por lo que causaron un daño mucho mayor.

Por otra parte, casi no existían obras hidráulicas para el control de aludes torrenciales en las cuencas de Vargas. De acuerdo a investigaciones propias, para 1999 solamente se encontraban construidas unas pocas obras: a) la canalización parcial del Río San Julián, obra inconclusa desde 1960; b) una presa de gaviones de 3 m de altura en la Quebrada Curucutí; c) una presa de gaviones de 3 m de altura en la Quebrada Las Pailas; d) una presa de concreto en Paso del Caballo; y e) una presa de concreto ciclópeo de 15 m de altura en la Quebrada Uria. Evidencias personales indican que las tres primeras presas sufrieron daños importantes y la última (Uria) fue destruida totalmente por los aludes. La ausencia de obras hidráulicas de control, se une a la ausencia de estaciones pluviométricas, de sistemas de alerta temprana y de planes de contingencia y evacuación, como factores fundamentales que contribuyeron a la ocurrencia del desastre. La catástrofe, en términos de pérdidas de vidas humanas y materiales, se produce entonces debido a la incontrolada ocupación urbana de los abanicos aluviales, gargantas de las quebradas y laderas de los cerros circundantes, sin la presencia de obras de control para retener y conducir los sedimentos, ni de sistemas de alerta temprana, que hubiesen podido avisar anticipadamente a la población para evacuar las zonas de peligro. Esto es el resultado de un desarrollo urbano no planificado donde la ignorancia, la falta de educación ambiental y, en resumen, la inexistencia de una cultura del riesgo en todos los niveles de la sociedad, jugó un papel preponderante para desencadenar el desastre.

UNA VISIÓN CRÍTICA Y CONSTRUCTIVA

¿Qué se ha hecho para reducir los riesgos de un nuevo desastre?

A continuación se describen las medidas instrumentadas en el Estado Vargas en estos 10 años (período 2000-2010) para la mitigación del riesgo.

Creación de la AUAEV y Corpovargas:

Bajo la coordinación del Dr. Carlos Genatios, en esa época Ministro de Ciencia y Tecnología, el ejecutivo nacional decreta el 5/01/2000 la creación de la Autoridad Única de Área para el Estado Vargas (AUAEV), cuya función fue la de

Estaciones de medición y monitoreo hidrometeorológico:

Después de los deslaves, se instalaron un total de 33 estaciones pluviométricas y nueve estaciones hidrométricas repartidas en diferentes cuencas del Estado Vargas (Figura 2). Estas estaciones se distribuyen en la siguiente forma: a) 19 pluviómetros y cinco medidores de nivel en las cuencas de las quebradas Tacagua, Mamo y La Zorra, instaladas a través del Programa PREDERES (Corpovargas y la Unión Europea), (Rodríguez *et al.* 2010), por el Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica (DIH) y el Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF) de la UCV, con el apoyo del Ministerio del Ambiente (MINAMB); b) siete estaciones pluviométricas y dos hidrométricas en la cuenca de San José de Galipán, instaladas por el IMF y el DIH de la UCV a través del proyecto PROCEDA (UCV); c) tres estaciones pluviométricas instaladas por el MINAMB en el Hotel Humboldt, Naiguatá y Camurí Grande; y d) cuatro pluviómetros instalados por el DIH-UCV en el Río San Julián (2), Naiguatá (1) y Camurí Grande (1), además de dos hidrómetros en San Julián (1) y Camurí Grande (1), mediante un proyecto financiado por el FONACIT. Aproximadamente el 80% de las estaciones (las instaladas por la UCV) son telemétricas; es decir, transmiten información en tiempo real por medio de telefonía celular o radio a un centro de control ubicado en el Departamento de Hidrometeorología de la UCV.

Hay que mencionar que las estaciones de los proyectos PREDERES y PROCEDA fueron transferidas por la UCV al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) el año 2009, para que éste se encargara de su custodia y mantenimiento. Sin embargo, las lluvias extraordinarias de finales del año 2010 evidenciaron los

problemas que confronta el INAMEH para inspeccionar y dar un mantenimiento adecuado a dichas estaciones. Algunas de las estaciones han sido vandalizadas, tales como Cantinas, Alto Paraíso, Carretera Vieja y Junko (instaladas por PREDERES) y Macuto (PROCEDA); otras tienen problemas con la transmisión de datos o no estaban operativas por falta de baterías (Los Venados, San José de Galipán, Humboldt, San Isidro y San Francisco (PROCEDA).

Sistemas de alerta temprana:

Se ha instalado un sistema de alerta temprana (SAT) para proteger a la población de Catia La Mar, cercana a las 100.000 personas, contra la ocurrencia de inundaciones y aludes torrenciales (Courtel *et al.* 2010). El sistema se basa en la información suministrada por las 19 estaciones pluviométricas y cinco estaciones hidrométricas instaladas en las cuencas de Tacagua, Mamo y La Zorra. Como parte del SAT, se ha implementado un Sistema de Interpretación de Datos cuya principal componente lo constituye un modelo hidrológico de lluvia-escorrentía corriendo en tiempo real y un gráfico de evaluación permanente de las condiciones de inicio del alud torrencial. El modelo trabaja actualmente con las mediciones de lluvia transmitidas por la red de monitoreo y, debido al tamaño pequeño de las cuencas, puede pronosticar inundaciones con tiempos de anticipación de 40 minutos, aproximadamente, en la cuenca más grande de estudio (Mamo). Se han elaborado los protocolos para el funcionamiento del SAT y una Sala Técnica está funcionando desde 2008 en la Universidad Marítima del Caribe, con el respaldo provisional de otra sala en el Departamento de Ingeniería Hidrometeorológica en la Universidad Central de Venezuela.

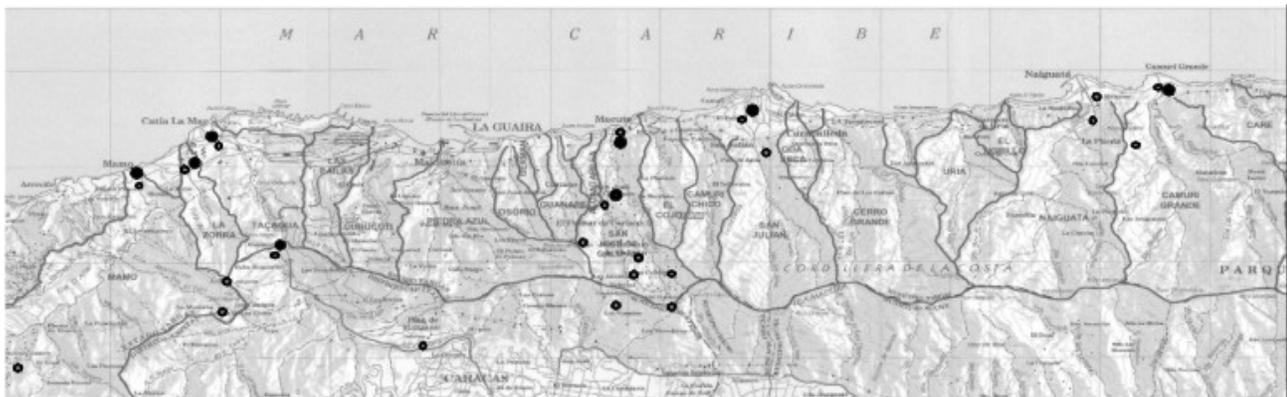


Figura 2. Mapa de ubicación de las principales estaciones hidrometeorológicas instaladas en las cuencas del estado Vargas después de los deslaves de 1999 (no se muestran 12 estaciones ubicadas en la cuenca alta del río Mamo). Círculos claros indican estaciones pluviométricas y círculos oscuros estaciones hidrométricas

Proyectos de planificación y diseño urbano:

Proyectos para la reconstrucción de la estructura urbana del Estado Vargas fueron acometidos por investigadores de las universidades venezolanas en una iniciativa de la Autoridad Única de Área del Estado Vargas (AUAEV) en el año 2000 (Genatios, 2006). El objetivo de esta iniciativa era planificar la recuperación urbana e impulsar el crecimiento económico y social de la región en una zona con gran potencial turístico, con atención a las amenazas ambientales y a la lucha contra la pobreza. De acuerdo a esto, el año 2001 fueron culminados los estudios que se mencionan a continuación.

- El Instituto de Urbanismo (IU) y el CENDES de la UCV realizaron un análisis socio-económico del Estado Vargas y una propuesta de una Red Vial Estructurante, que toma en cuenta las condiciones económico-sociales y las restricciones naturales de la región. La Red Vial es el elemento central para organizar la reconstrucción de la estructura urbana del Estado Vargas y en casos de emergencia permitir la evacuación de la población (Marcano & Barrios, 2001; Marcano, 2006).
- La Universidad Metropolitana a través de la Maestría de Desarrollo Urbano y con el apoyo de la Escuela de Diseño Urbano de la Universidad de Harvard, elaboraron propuestas de diseño urbano para las zonas de Macuto, El Cojo, Teleférico, Camurí Chico, Los Corales, Caraballeda, Tanaguarena y Carmen de Uria (Grauer, 2001).
- El Instituto de Estudios Regionales y Urbanos (IERU) de la Universidad Simón Bolívar ejecutó propuestas para la reconstrucción urbana de las áreas de Camurí Grande y Naiguatá (Genatios, 2006).

Planes de ordenamiento:

- En el año 2000, se propone un Plan de Manejo para la Ordenación y Restauración Ambiental del Eje Arrecife - Los Caracas, elaborado por la empresa Ecology and Environment S.A., en el cual se definen las estrategias, directrices y lineamientos para la administración, uso y manejo del área de Vargas afectada por los aludes torrenciales de Diciembre de 1999 (Ecology and Environment, 2000; Delgado & Gabaldón, 2010). Para el año 2005, se aprueba mediante decreto el Plan de Ordenación y Reglamento de Uso del Área de Protección y Recuperación Ambiental del Estado Vargas (APRA) (Gaceta Oficial, 2005).
- El Plan de Ordenación Urbanística (POU) para el

Municipio Vargas fue formulado por el Ministerio de Infraestructura (MINFRA) el año 2009 (Gaceta Oficial, 2009), y se basa en el plan anterior de manejo del APRA.

- Otros planes elaborados, o en proceso de formulación, han sido el Plan de Ordenación del Territorio del Estado Vargas POTEV (Corpovargas, 2009), y el Plan de Desarrollo Costero del Litoral Metropolitano, Estado Vargas (Consortio Incostas-Nouel, 2000).

Conservación de cuencas:

- El Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB), a través de la Dirección General de Cuencas Hidrográficas, ha organizado cursos de control de cárcavas y torrentes con el objetivo de desarrollar habilidades y destrezas para los servidores públicos del Ministerio vinculados con proyectos comunitarios, a fin de promover y diseñar proyectos ambientales destinados a la planificación, conservación, defensa y mejoramiento de las cuencas hidrográficas. En particular durante el período 2009-2010, se realizaron 3 cursos de 1 semana de duración cada uno, que involucraron en total a 80 funcionarios de las direcciones estatales y central del ministerio, así como del Laboratorio Nacional de Hidráulica y de Hidrocapital (Roa, 2009).
- La Dirección de Cuencas Hidrográficas del MINAMB, elabora proyectos de conservación en las cuencas de Chichiriviche, Caruao y Petaquire, creándose 27 comités conservacionistas sembrándose 527.919 plantas distribuidas en 256 hectáreas (Roa, 2009).

Fortalecimiento institucional:

- En el año 2003 se crea, por resolución de la Asamblea Nacional, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), cuya funciones son integrar los diferentes servicios de meteorología e hidrología del país, modernizar la recolección de datos y generar información regional y nacional. Los dos edificios que constituyen su sede se completaron en el año 2007 y la inauguración tomó lugar en el año 2008.
- Corpovargas, como parte del fortalecimiento institucional, ha establecido convenios con diferentes instituciones (Alcaldía del Municipio Vargas, Ministerio del Ambiente, Ministerio de Educación, Universidad Central de Venezuela, y Universidad Marítima de Caribe) a los fines de apoyar el desarrollo de nuevas capacidades en gestión de riesgos, promover e impulsar el trabajo en red, desarrollar programas de formación para los funcionarios, y fomentar el intercambio de experiencia

entre las instituciones, buscando la complementariedad para la resolución de problemas. A nivel internacional se han establecido convenios con el gobierno Español, la Unión Europea y Cuba. Algunos resultados de estos convenios se han plasmado en la ejecución de proyectos concretos, tales como el Programa PREDERES en las cuencas de Tacagua, Mamo y La Zorra (Rodríguez *et al.* 2010), y la construcción de las presas en el río San Julián.

- A partir de las lluvias torrenciales de Febrero 2005, se crea por decreto la Comisión Presidencial para la Gestión de Riesgos, que sirvió para establecer un espacio semanal de coordinación interinstitucional para la promoción, discusión y diseño de propuestas orientadas a fomentar la gestión de riesgos de desastres en el seno de la estructura del Estado. La Comisión mantuvo reuniones semanales durante un año, aproximadamente, donde asistían regularmente los ministros de las carteras de Ambiente, Ciencia y Tecnología, Vivienda, Infraestructura, Defensa y Relaciones Interiores. Se lograron algunos avances en materia de estudios y proyectos para la gestión de riesgos, pero al final con el paso de tiempo las prioridades cambiaron, los ministros delegaron en representantes que a su vez delegaron en otros representantes y la comisión dejó de reunirse hasta desaparecer finalmente.

Fortalecimiento comunitario:

Corpovargas ha emprendido programas para el fortalecimiento de las capacidades comunitarias para la gestión local del riesgo en algunas poblaciones del Estado Vargas (Rodríguez *et al.* 2010). En particular en las cuencas de San José de Galipán, Tacagua, Mamo y La Zorra, se han realizado diversas actividades entre las cuales pueden mencionarse:

- Evaluación de las amenazas existentes en sus comunidades
- Información general acerca de las medidas de prevención ejecutadas o por ejecutar
- Establecimiento de un Comité Local de Riesgo
- Elaboración de un plan local de riesgos y emergencia
- Definición del rol de la comunidad
- Sistema de alerta comunitario (radios portátiles, megáfonos, sirenas, miras)
- Actividades de promoción y divulgación (talleres,

afiches, trípticos, micros radiales, entre otros)

- Simulacros

Otros programas de gestión de riesgos, educación ambiental y preparación de proyectos comunitarios han sido desarrollados por investigadores de la Universidad Pedagógica Libertador (UPEL) en las comunidades de Piedra Azul, y por SOCSAL en Catia La Mar (Barrientos *et al.* 2010). Entre los logros se mencionan haber capacitado en el área de gestión de riesgos al 26,9% de la población estudiantil en la parroquia de La Guaira y al 17,4% de la matrícula escolar en Maiquetía.

En relación con leyes y normas:

- En el año 2001, se creó por Decreto-Ley en Gaceta Oficial la Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres (Gaceta Oficial N° 5557, Nov. 13, 2001), derogándose el modelo del Sistema Nacional de Defensa Civil que existía en el país desde el año de 1971.
- En el año 2006, se promulgó la Ley Orgánica del Ambiente (Gaceta Oficial N° 38692, Mayo 28, 2007), la cual define en su Artículo 1 el objetivo de establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del Estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad.
- En el año 2006, se promulga la Ley de Meteorología e Hidrología Nacional (Gaceta Oficial N° 5833 Extraordinaria, Dic. 22, 2006), en la cual se prevé que el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMEH, será el ente encargado de coordinar e integrar todas las acciones en materia de prestación de servicios meteorológicos e hidrológicos en el país.
- En enero del 2007, aparece en Gaceta Oficial la Ley de Aguas (Gaceta Oficial N° 38595, Enero 2, 2007), que tiene por objeto establecer las disposiciones que rijan la gestión integral de las aguas, como elemento indispensable para la vida, el bienestar humano y el desarrollo sustentable del país.
- En el año 2008, se promulgó la Ley de Bosques y Gestión Forestal (Gaceta Oficial N° 38946, Junio 5, 2008), que tiene como objetivo establecer los principios y normas para la conservación y uso sustentable de los bosques y demás componentes del patrimonio forestal, atendiendo al interés social, ambiental y económico de la Nación.

- En enero del 2009, se aprueba la Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (Gaceta Oficial, N° 39095, Enero 9, 2009), en la cual se establecen los objetivos, lineamientos y formas de implementación de la política nacional de gestión de riesgos.

Formación y desarrollo de personal meteorológico e hidrológico:

En el contexto del Programa VENEHMET se ha efectuado el diseño de un sistema avanzado de formación y desarrollo del personal, con frecuencia calificado como el componente más importante de este Programa, que permitiría la realización apropiada de los necesarios pronósticos meteorológicos e hidrológicos y aseguraría que la inversión en el capital humano estuviese acorde con la significativa inversión hecha en activos físicos. El Proyecto de Diseño de un Sistema de Formación y Desarrollo de Personal para el Pronóstico Meteorológico e Hidrológico en Venezuela, PROMETEO, ha sido conceptualizado y llevado a cabo bajo la coordinación y responsabilidad del Centro de Transformación Sociotecnológica, FORMA, con intervención de un destacado grupo de profesionales, vinculados, en su mayoría, con el Departamento de Hidrometeorología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (Yajure, 2010). El Proyecto PROMETEO estaría llamado a contribuir al desarrollo de la capacidad nacional de pronóstico y alerta meteorológico e hidrológico mediante la formación de todo el personal tanto del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMEH, y de todo el Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología, SINAMEH. Sin embargo, el proyecto se encuentra suspendido actualmente debido a restricciones presupuestarias y a cambios en la orientación gerencial del programa VENEHMET.

Otras acciones en materia de educación e investigación:

- El Ministerio de Ciencia y Tecnología crea el año 2000 una agenda en el área de prevención de desastres a los fines de financiar proyectos de investigación y generar planes educativos para la gestión de riesgos, prevención y atención de emergencias. El programa de investigación aplicada en gestión de riesgos y reducción de desastres se mantuvo operando como uno de los programas bandera de ese ministerio entre los años 2000 y 2005, siendo después discontinuado.
- Universidades y centros de investigación, diseñan e inician el dictado de cursos en gestión de riesgos e impulsan la creación de la cultura del riesgo. Entre varias iniciativas se destacan los esfuerzos realizados por la Comisión para la Mitigación de Riesgos COMIR en la UCV, el Centro de Investigación en Gestión Integral de

Riesgos (CIGIR) en Mérida y el Centro de Investigación de Riesgos (CIR), adscrito a la Universidad de Falcón (UDEFA).

- A partir del 2000, el Instituto de Mecánica de Fluidos (IMF) de la Universidad Central de Venezuela y el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CHIDRA) de la Universidad de los Andes, fortalecen sus proyectos de investigación de campo, de laboratorio y numérica, para mejorar el conocimiento sobre los aludes torrenciales y sus medidas de prevención. Los resultados se plasman en numerosas tesis de pregrado y postgrado, y en publicaciones en congresos y revistas científicas (López, 2004).
- El Ministerio de Educación inicia los trámites para incorporar el tema de la gestión de riesgos en el diseño curricular de la educación básica, primaria y secundaria. Se elabora un software sobre gestión de riesgos para la educación inicial.
- La Misión Ciencia se inicia el 2007, impulsada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, la cual permite a instituciones con experticia reconocida en materia de evaluación y gestión del riesgo, asesorar a actores locales en el marco de varios componentes: a) componente “Investigación y Desarrollo”; b) componente “Transferencia de Tecnología”; c) componente “Fortalecimiento a Redes”; y d) componente “Formación de Talento Humano”. La Misión se desarrolla actualmente en Mérida, Valencia, Maracay, Barcelona, Puerto La Cruz y Valle de la Pascua.
- Corpovargas desarrolla el Sistema de Información Geográfico para el Estado Vargas, SIGVARGAS, y el software VISUAL VARGAS, herramientas para permitir o mejorar el acceso a información social, económica, ambiental sobre el estado Vargas.

¿Cómo se han comportado las obras hidráulicas construidas?

- Las lluvias torrenciales de Febrero de 2005, ofrecieron la oportunidad para someter a prueba a las 21 presas que habían sido construidas para ese momento en las quebradas de Vargas (López *et al.* 2010c). Dos presas construidas en Anare, las cuales eran diques cerrados de gaviones, fueron destruidas por las crecientes, una de ellas debido a fallas en el empotramiento del estribo izquierdo. Otras presas cerradas sufrieron daños menores, por erosión o abrasión del flujo, que no pusieron en peligro la estabilidad de las obras. En relación con las presas abiertas construidas en gaviones,

éstas no sufrieron daños estructurales significativos, debido tal vez a que no fueron sometidas al impacto directo de un alud torrencial con predominancia de peñones. Por otra parte, el funcionamiento hidráulico de las presas abiertas, ya sea de gaviones o concreto, ha sido satisfactorio, cumpliendo la función de dosificar el transporte de sedimentos y retener las fracciones más gruesas.

- De las 63 presas construidas, se ha determinado que aproximadamente el 50%, están totalmente sedimentadas. Todas las presas cerradas (14) construidas entre los años 2002 y 2004 se sedimentaron, la mayoría de ellas debido a la creciente extraordinaria de Febrero del 2005. Pero otras se sedimentaron antes del 2005, sin que hubiesen ocurrido crecientes significativas. El rápido proceso de sedimentación se asocia con la elevada producción de sedimentos de las cuencas de Vargas, y a la ausencia en el cuerpo de las presas cerradas, de ventanas o aberturas que permitan el paso de los sedimentos finos arrastrados con las crecientes ordinarias de frecuencia anual. Un ejemplo de esto lo constituye la presa de Macuto. Sin embargo, la colmatación de las presas origina una reducción de la pendiente del lecho aguas arriba, contribuyendo a disminuir la velocidad del flujo, el transporte sólido y la energía del alud torrencial.
- La retención total de los sedimentos en las presas cerradas ha originado, en algunos casos, procesos erosivos en los tramos aguas abajo debido al efecto del flujo con una capacidad de transporte no saturada. Ejemplo de estos procesos de degradación del lecho se han observado en los cauces de las quebradas Curucutí y Quebrada Piedra Azul aguas abajo de las presas cerradas. Observaciones recientes (2011) indican que nuevos procesos erosivos se están presentado al pie de los diques en las quebradas de Camurí Grande, Migueleno, Cerro Grande y Camurí Chico, con descensos del lecho del cauce, en algunos casos, de hasta 3 m (Camurí Chico), poniendo en peligro la estabilidad de las estructuras (diques y contradiques).
- Las canalizaciones de los cauces han presentado, en algunos casos, tendencias a la erosión y sedimentación del lecho. Problemas de abrasión en los revestimientos de concreto se han observado en el fondo de canales de alta pendiente, debido a las altas velocidades que alcanza el flujo durante las crecientes. También se ha observado la abrasión del concreto en los vertederos y en los revestimientos de las aberturas de las presas de gaviones. Problemas de sedimentación se han observado en los tramos inferiores de las canalizaciones construidas en gaviones o en fondo móvil, donde la vegetación ha colonizado el lecho de los canales

reduciendo su capacidad e induciendo a la deposición de los sedimentos arrastrados. Observaciones recientes (2011) encontraron fracturas y fallas en algunas de las losas del fondo y muros laterales de las canalizaciones de Naiguatá y Camurí Grande.

¿Qué hemos dejado de hacer o hemos hecho mal?

- En el año 2000, se aprueba un plan de manejo para la ordenación y restauración de las zonas afectadas por los deslaves en Vargas, y el año 2001 las universidades (Central de Venezuela, Metropolitana y Simón Bolívar) presentaron proyectos para la reconstrucción de la estructura urbana del Estado Vargas. Ninguna de estas iniciativas fueron implementadas en el Estado Vargas.
- En el año 2003, el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) plantea la necesidad de formular la Estrategia Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastre en el Desarrollo (ENRRDD). Dicha estrategia, estaba llamada a introducir una innovación en la forma como se viene concibiendo el tratamiento de tales temas en la región andina, al establecer un estrecho vínculo entre impactos socioeconómicos y prioridades de prevención y al ofrecer orientaciones que permiten llegar a un nivel de instrumentación más preciso. La ejecución de La Estrategia Nacional fue asignada al IGVSB, institución que conformó el equipo de coordinación y de trabajo y dio inicio a las actividades. Posteriormente, debido al cambio de autoridades dentro del MINANB y en el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB), se cambiaron las prioridades y se detuvo el avance del proyecto (Moreau & Jiménez, 2010).
- Se han observado ciertas deficiencias e inconsistencias en algunas de las presas construidas en Vargas. Por ejemplo, en la Quebrada Curucutí, la primera presa aguas arriba es una presa cerrada y la siguiente presa aguas abajo es abierta. Esto contradice el principio de que se deben filtrar los tamaños de los sedimentos en dirección hacia aguas abajo; es decir, atrapar o retener primero los sedimentos más gruesos aguas arriba, con las presas abiertas, y los más finos aguas abajo con las presas cerradas. Un caso similar se presenta en la Quebrada Dos Comadres, afluente de Piedra Azul, donde se han construido dos presas abiertas, teniendo la presa aguas arriba aberturas de 1 m, menores que las de la presa aguas abajo, con aberturas de 2 m. En estos dos casos faltó una planificación y coordinación adecuadas para concebir el tratamiento de la cuenca en forma integrada y no individual.

- Se ha hecho un uso excesivo del gavión para la construcción de las presas de retención de sedimentos, en particular de las presas abiertas. A pesar de que las presas abiertas de gaviones no sufrieron daños de consideración durante la crecida de Febrero del 2005, no se considera conveniente que se sigan construyendo presas abiertas, específicamente del tipo ranuradas, con este material, ya que no están diseñadas para resistir grandes impactos, tal como el impacto directo de un alud torrencial con predominio de peñones (flujo de detritos).
- Algunas de las canalizaciones construidas no han sido finalizadas, teniendo tramos inconclusos, tal es el caso de las quebradas Curucutí, Mamo, Piedra Azul, Quebrada Seca, Camurí Chico, Osorio y El Cojo. En algunos casos se han encontrado deficiencias en la construcción, tal como el caso de la canalización del Río Cerro Grande, cuya rasante fue colocada por encima de la rasante de proyecto.
- Algunos de los puentes que fueron reconstruidos se han sedimentado con crecientes posteriores al evento de 1999. Se menciona en particular el puente de Camurí Grande, el cual se obstruyó por los arrastres torrenciales de la crecida de Febrero del 2005. La causa de la falla se asocia con la baja altura del puente el cual no parece haber sido diseñado para permitir el paso de los flujos de sedimentos y restos de vegetación que acompañan a las crecientes extraordinarias (25, 50 y 100 años de período de retorno).
- No se han establecido programas ni se han ejecutado visitas sistemáticas para el mantenimiento de las canalizaciones y las presas, las cuales están siendo afectadas por la sedimentación y la invasión de vegetación. La ausencia, en la mayoría de las presas, de caminos de acceso o vías de penetración para el paso de maquinarias complica la situación. Estos programas deben elaborarse y adoptarse como parte fundamental de los proyectos de minimización de riesgos, a fin de detectar, con suficiente antelación, posibles fallas y garantizar de esta forma el funcionamiento adecuado de las obras hidráulicas construidas.
- Se ha observado que se han desarrollado nuevas construcciones de viviendas en zonas que fueron afectadas por los aludes torrenciales de 1999 y de 2005. En particular se mencionan los desarrollos habitacionales al borde de las quebradas San José de Galipán (Macuto), Camurí Chico y Camurí Grande. Estas construcciones no han respetado la franja de protección de ancho mínimo (80 m) que se debe dejar en las márgenes de las quebradas, de acuerdo a la Ley de Aguas (Gaceta Oficial, 2007).
- Las autoridades han estimado que el número de viviendas que requiere la población radicada en zonas de alto riesgo en el Estado Vargas es cercano a las 12.000 unidades. Entre los años 2000 y 2009 se construyeron solamente un total de 343 viviendas.
- La alta rotación de funcionarios con posiciones claves en organismos e instituciones del estado vinculados con la gestión de riesgos (ministros, viceministros, directores generales, directores de institutos, gerentes, entre otros.) hace que se abandonen esfuerzos, iniciativas o proyectos que requieren de continuidad de acciones que deben sostenerse en el tiempo, a mediano y largo plazo. Para ello es fundamental contar con una política nacional para la gestión de riesgos en nuestro país, que no dependa del criterio de los funcionarios de turno en las instituciones del estado o del gobierno.
- Los problemas de inseguridad personal que sufren los habitantes de Vargas, han influido en la implementación de las medidas de prevención y mitigación de riesgos. Se han reportado atracos y robos al personal durante los trabajos de campo. Algunas estaciones hidrometeorológicas han sido vandalizadas y sus equipos sustraídos, tales como las estaciones de Cantinas, Alto Paraíso, Carretera Vieja, Junko y Macuto. En algunos sectores la situación es tan grave, que los trabajos de inspección y monitoreo de las obras ha requerido de la presencia de la Guardia Nacional para garantizar la seguridad del personal técnico.

UNA MIRADA AL FUTURO

¿Qué debemos hacer para reducir los riesgos?

En relación con las obras hidráulicas:

- Deben construirse mas presas en las cuencas de Vargas, ya que las presas existentes disponen de volúmenes insuficientes para almacenar los sedimentos arrastrados por las crecientes extraordinarias. El número de presas y la altura y capacidad de las mismas, van a depender de la cantidad de material sedimentario disponible y potencialmente arrastrable en los tramos aguas arriba de las presas, para lo cual deben hacerse los estudios pertinentes de producción de sedimentos en las cuencas. En la medida de lo posible, dependiendo de las condiciones topográficas, se recomienda construir presas de mayor altura que las construidas actualmente a los fines de aumentar la capacidad de almacenamiento de sedimentos.

- Las características y dimensiones de las presas deben obedecer a un plan maestro de construcción de obras a fin de evitar algunas improvisaciones y deficiencias que se han observado en algunas de las obras existentes. El plan maestro de obras de mitigación debe elaborarse en el marco de un plan global para la prevención de desastres por inundaciones y aludes torrenciales en el Estado Vargas. El plan de obras debe reevaluar los criterios de diseño, establecer los objetivos y las metas, los proyectos prioritarios, estudios requeridos, recursos necesarios y cronograma de acciones y de obras a ejecutar. Por ejemplo, el plan debe intentar definir el número de presas requeridas por cuenca, sus características (abiertas o cerradas, tipo de material, entre otras.), alturas y capacidades (volúmenes de almacenamiento), y programa de construcción en el tiempo, para garantizar un grado de protección aceptable a las zonas urbanas de Vargas.
- Se deben construir presas cerradas si el objetivo es control de erosión y estabilización del cauce. En este caso las presas escalonadas en un tramo de río sujeto a procesos erosivos, actúan levantando el fondo del cauce, estabilizando las laderas y reduciendo la pendiente del lecho y el transporte sólido. Si el objetivo es la retención de los sedimentos, se deben construir presas abiertas (ranuradas) y semiabiertas (con ventanas u orificios). En este caso, no se recomienda la construcción de presas totalmente cerradas (sin aberturas u orificios). Las presas abiertas cumplen la función de interceptar y retener los materiales gruesos, troncos y grandes restos vegetales, atrasando y atenuando el pico del caudal sólido. Las presas semiabiertas tienen la función de retener la mayor proporción del caudal sólido dejando pasar a través de las ventanas los flujos normales de agua y sedimentos, evitando de esta forma su sedimentación prematura. Con esta previsión se aumenta la vida útil de las estructuras y se reduce la erosión aguas abajo.
- Se recomienda que las primeras presas aguas arriba sean presas abiertas del tipo ranurado. Ellas deben construirse de concreto armado, ciclópeo o con tubos de acero, descartándose el uso del gavión. Las siguientes presas aguas abajo deberán ser semiabiertas, no cerradas; es decir, con ventanas u orificios en el cuerpo de la presa. Ellas pueden ser de gaviones o concreto. En todos los casos, deben construirse contradiques al pié de las presas y la separación entre ellas debe ser tal que evite la generación de procesos erosivos aguas abajo de las mismas.
- Se recomienda que el revestimiento que se ejecute en las márgenes de las canalizaciones o como protección en topes de vertederos o topes de traviesas construidas en gaviones, se realice con roca cementada o encachado hormigonado a fin de disponer de un revestimiento resistente a la abrasión producida por el escurrimiento del flujo con arenas y gravas.
- Es necesario monitorear periódicamente el desempeño y funcionamiento de las presas, en el marco de un programa de monitoreo hidrometeorológico global para las cuencas de Vargas, a los fines de identificar y evaluar problemas de erosión y abrasión, y grado de sedimentación de los vasos. Esto debe complementarse con levantamientos topográficos de los tramos adyacentes aguas arriba de las presas y muestreos de los sedimentos del lecho, al menos una vez al año.
- Deben diseñarse y ejecutarse planes preventivos de mantenimiento periódico en las presas, que contemplen la limpieza y extracción de los sedimentos en los vasos de las presas cerradas, y la extracción de vegetación y materiales gruesos acumulados en las ranuras o ventanas en las presas abiertas. Deben proveer vías de acceso a las estructuras para permitir la limpieza y remoción de los sedimentos acumulados en los vasos de las presas. En algunos casos estos caminos han permitido la entrada de invasores y la construcción de ranchos, por lo que las autoridades deben tomar las medidas pertinentes para controlar este problema.
- Debe efectuarse la limpieza y remoción periódica de la vegetación y los sedimentos depositados en los tramos inferiores de las canalizaciones y en su descarga al mar, sobre todo al inicio del período de lluvias.
- Debe revisarse la normativa para el diseño hidráulico de puentes en nuestras quebradas torrenciales y ríos de montaña. Muchas de las inundaciones y desbordes ocurridos con las lluvias de 1999 y del 2005, en Vargas y en Mérida, se han producido por obstrucciones de puentes debido a arrastres abundantes de material flotante (troncos y restos de vegetación), acompañado de enormes cantidades de sedimentos, arrastres de peñones y material grueso. Las normas existentes estipulan determinar la crecida de diseño basándose solamente en el flujo de agua, no en aludes torrenciales o flujos de detritos. Las experiencias en Vargas sugieren que es necesario multiplicar el caudal líquido por un factor de corrección para tomar en cuenta el efecto de la presencia de grandes concentraciones de sedimentos en las crecidas de nuestros ríos de montaña, las cuales incrementan el volumen del flujo. El factor de corrección puede variar entre 1,6 y 3, dependiendo de la concentración de sedimentos del alud torrencial. Una

recomendación adicional es evitar el uso de pilas en los puentes de regiones montañosas, a fin de impedir la formación de obstáculos y disponer del mayor espacio posible para el paso de las crecientes. La luz del puente debe aumentarse proporcionalmente para otorgar un borde libre adicional y permitir el paso de grandes restos de vegetación.

En relación con la conservación de las cuencas:

- Se deben elaborar e implementar planes para el manejo integral de las cuencas (suelos y aguas), incluyendo medidas de restauración y conservación en las cuencas más degradadas a fin de disminuir la posibilidad de derrumbes y deslizamientos, y controlar la erosión y los aportes de sedimentos. Se han incrementado las intervenciones antrópicas, agrícolas y humanas, en la parte alta de las cuencas de San José de Galipán y Piedra Azul (sector Hoyo de la Cumbre). Sectores medios de las cuencas de Mamo y Tacagua han sido fuertemente intervenidos para la construcción de la Ciudad Camino de Los Indios. Se debe procurar que los programas de desarrollo habitacional actualmente en ejecución en este sector, no resulten en un incremento de los fenómenos de degradación torrencial que afectan ciertas microcuencas como las de El Tigre, El Pozo y El Piache. A tal efecto, se deben minimizar los movimientos de tierra para fines de urbanismo, de manera de evitar la producción de fuentes adicionales de aportes sedimentarios, los cuales pudieran comprometer la vida útil de las obras hidráulicas construidas y proyectadas para la protección de las poblaciones e infraestructuras en las zonas bajas de las cuencas.
- Conviene elaborar mapas de suelos indicando tipos, espesores y capacidad de retención de agua en las cuencas del macizo Ávila. Estos mapas contribuirían a un mejor conocimiento sobre los procesos hidrológicos en las cuencas y a la determinación de coeficientes de infiltración y percolación. Esta información es un insumo importante para la construcción de modelos matemáticos de simulación de los procesos lluvia-escorrentía, así como para la determinación de la producción de sedimentos en cuencas.

En relación con los sistemas de información, monitoreo, pronóstico, y alerta:

- Es necesario densificar la red de monitoreo hidrometeorológico en el flanco norte y sur del Macizo Ávila, así como retomar la publicación periódica de boletines hidroclimáticos para difundir la información correspondiente.

- Se considera conveniente instrumentar una red de cántaros o pluviómetros caseros que complementen la red primaria de estaciones automáticas que maneja el INAMEH. Esta red de cántaros actuaría como una red secundaria que mediría la lluvia diaria, por medio de equipos a ser distribuidos entre las escuelas y comunidades organizadas, tanto del litoral como del valle de Caracas. El propósito sería medir las lluvias a nivel diario, ya que se ha demostrado que éstas, en el Litoral Central, tienen mayor influencia que las lluvias horarias en la generación de aludes torrenciales. En esta forma se dispondría de una información valiosa para conocer la distribución espacial de las tormentas, calibrar modelos de lluvia-escorrentía de las cuencas e identificar umbrales críticos de lluvia acumulada para la generación de aludes. Igualmente esta actividad contribuiría a la educación y concientización de las comunidades en el manejo del riesgo.
- Deben instalarse estaciones para la medición de niveles y caudales en las quebradas de Vargas. La información de las estaciones pluviométricas, por sí sola no es suficiente para las labores de prevención. Es necesario realizar aforos periódicos del caudal líquido en los cauces y medir los niveles de la superficie del agua, al menos en una sección ubicada a la salida de cada una de las cuencas. Esta información es indispensable para calibrar los modelos de simulación para predicción de caudales y para la implementación de los sistemas de alerta.
- En particular, deben colocarse a la brevedad estaciones para la medición de niveles y caudales en el Río Guaire. Es lamentable que siendo el Río Guaire el principal drenaje de la ciudad de Caracas, y habiendo sufrido ésta inundaciones frecuentes, no se disponga de una estación de aforos en el Guaire. Al menos dos estaciones deberían colocarse, una en Ciudad Universitaria, antes de la confluencia con el Río Valle, y otra en Puente Veracruz, en Las Mercedes. También se recomienda terminar la canalización del Río Guaire hasta el Encantado.
- Deben medirse los caudales sólidos en los cauces y los volúmenes de sedimentos arrastrados durante las crecientes. Debido a la dificultad de medir el caudal sólido en el momento de la crecida, se recomienda realizar mediciones indirectas a través de la cuantificación de los volúmenes de sedimentos acumulados en los vasos de las presas. Lo más recomendable es, cada vez que ocurra una creciente de importancia, enviar a la brevedad una cuadrilla para levantar topográficamente los tramos aguas arriba de las presas y determinar de esta forma los nuevos perfiles del lecho y los volúmenes acumulados de sedimentación.

- Se deben mejorar los sistemas de pronóstico y alerta. La red de radares meteorológicos Doppler instalada en el país debe producir información cuantitativa sobre las características de las tormentas. El INAMEH debe suministrar información cuantitativa de los niveles esperados de lluvia, adicionalmente a la información cualitativa que sí suministra. La operación de la red de radares meteorológicos Doppler es fundamental para la obtención de datos en tiempo real sobre las características físicas (volumen de agua que transporta, velocidad y dirección de desplazamiento, entre otros), de las tormentas, los cuales deben ser utilizados como insumo para los modelos de simulación de crecidas a fin de emitir oportunamente (mínimo con 3 horas de anticipación) una alerta sobre la posibilidad de ocurrencia de inundaciones rápidas y aludes torrenciales en áreas como el arco andino-costero donde se ubica más del 60% de la población del país. En particular, el radar Doppler instalado en Jeremba, Colonia Tovar, pudiera efectuar pronósticos cuantitativos de la precipitación esperada en la región de Vargas, a los fines de mejorar el funcionamiento y confiabilidad del sistema de alerta temprana desarrollado para proteger a la población de Catia La Mar. Igualmente para proteger a la población de Caracas de las crecidas del Río Guaire.
- Deben destinarse recursos para fortalecer el Sistema de Alerta Temprana (SAT) desarrollado para Catia La Mar. Es necesario: a) mejorar progresivamente los aspectos institucionales y operativos del sistema (protocolos); y b) ajustar y calibrar las herramientas predictivas (modelo hidrológico y curva de umbrales) a medida de que las estaciones de medición generen información en las cuencas.
- Se debe extender el Sistema de Alerta Temprana (SAT) desarrollado en Catia La Mar a otras cuencas de Vargas y el valle de Caracas.
- Se deben implementar sistemas de información para que toda ese gran volumen de datos e información generada (mapas de amenaza y riesgo, datos hidrológicos, entre otros.) pueda bajarse, descargarse o compartirse con todos los niveles locales y regionales de la población, autoridades, entre otros.
- Se debe solicitar a las autoridades competentes declarar la información hidrometeorológica y su análisis como un bien público y colocarla en internet para uso de cualquier persona, organismo o institución.

En relación con los mapas de amenaza y riesgo:

- Deben elaborarse nuevos mapas de amenaza por inundaciones y aludes que tomen en consideración las nuevas condiciones surgidas debido a las obras construidas para la mitigación del riesgo. Los mapas de amenaza que se elaboraron en el marco del Proyecto Ávila fueron generados para las condiciones existentes para el año 2000; es decir, ellos fueron delineados para la condición de cauce natural (sin presencia de obras). Se hace necesario ajustar los mapas a las nuevas condiciones existentes en las cuencas. Esta actualización de los mapas de amenaza debería hacerse periódicamente para ajustarlos a la nueva realidad a medida de que se construyan más obras. Los mapas deben conducir a una reglamentación en el uso de la tierra y a medidas de prohibición, reubicación o restricciones en las viviendas, edificaciones y líneas vitales.
- Deben elaborarse mapas de amenaza geotécnica en las zonas urbanas del Estado Vargas y del valle de Caracas para determinar taludes con probabilidad de deslizarse y tomar las medidas correctivas pertinentes. Las lluvias de 1999 mostraron que pueden generarse aludes o flujos de detritos superficiales en laderas. El caso del sector La Veguita, en Macuto, donde 60 personas perecieron tapiadas por un alud en ladera es un ejemplo aleccionador. Igualmente, la lluvia extraordinaria del 20/11/08 en el Área Metropolitana de Caracas desencadenó múltiples deslizamientos superficiales y numerosos flujos de detritos en laderas de colinas al sur de la ciudad capital. Este tipo de procesos, aun cuando generalmente involucra masas de suelo con poco espesor, puede ser responsable de daños materiales significativos y lamentables pérdidas de vida, principalmente en desarrollos urbanos cercanos a laderas susceptibles a los mencionados procesos. Especialistas en geotecnia deben considerar en sus análisis la potencial ocurrencia de estos flujos y abocarse a la identificación de áreas susceptibles a estos procesos y a la identificación de medidas de mitigación. Algunos avances han sido realizados en este sentido, tales como el estudio de JICA (2005) en el cual se elaboraron mapas preliminares de amenaza por derrumbes y deslizamientos para el sector Este de Caracas.

En relación con los planes de contingencia, preparación y concientización de la población:

- Invertir en políticas públicas para combatir la falta de conocimientos, formando y educando a las comunidades, a los funcionarios públicos, gerentes, empresas, cuerpos policiales y militares, entre otros, en el tema de la gestión del riesgo y la cultura de la prevención.

- Fortalecer e incentivar los planes educativos en todos los niveles (educación primaria, secundaria y universitaria) para el aumento de la conciencia ciudadana y preparación de la comunidad y de los futuros profesionales para la prevención de riesgos y mitigación de desastres.
 - Elaborar planes de contingencia y evacuación para las comunidades del Estado Vargas en preparación ante un nuevo fenómeno hidrometeorológico. Estos planes deben definir claramente los sitios de refugio, las vías de escape, los procedimientos de actuación, los organismos responsables, las cadenas de mando, entre otros, para evitar reproducir los errores cometidos en el manejo de la emergencia durante la tragedia de 1999, sobre todo de la población que se vio afectada por la separación de hijos y familiares en el momento del rescate.
- socioeconómicos que afectan el desarrollo sostenible del país.
- Los proyectos de prevención y mitigación de riesgos hidrometeorológicos son proyectos multidisciplinarios e interinstitucionales, que requieren de la participación de numerosos profesionales en diferentes áreas del conocimiento e involucran a gran cantidad de organismos e instituciones públicas y privadas. Esto implica que se deben crear climas adecuados de colaboración y cooperación entre los diferentes actores a fin de generar la sinergia requerida para que dichos proyectos puedan ejecutarse en forma exitosa.
 - Se deben despolitizar las acciones y decisiones en materia de prevención y gestión de riesgos.

En relación con los planes de diseño y desarrollo urbano:

- La rehabilitación y la reconstrucción urbana es una tarea pendiente con los habitantes del Estado Vargas. Se recomienda actualizar e implementar los planes de desarrollos urbanos propuestos por la Autoridad de Área el año 2001 y elaborados por las universidades venezolanas (Grauer, 2001; Marcano y Barrios, 2001; Genatios, 2006).
- Se debe impedir la construcción de nuevas viviendas en zonas de alta amenaza, respetar la franja de protección de quebradas y las áreas al pié de laderas inestables. Se deben reubicar viviendas localizadas en la franja de protección definida por la nueva Ley de Aguas del 2007 (Gaceta Oficial, 2007).

En relación a la gestión del riesgo, políticas públicas y toma de decisiones:

- Se debe instrumentar una política nacional para la gestión de riesgos en Venezuela. Con este fin se debe retomar una iniciativa, cuya ejecución fue asignada al Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB), que contaba con el apoyo de la Corporación Andina de Fomento para la realización de la Estrategia Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastre en el Desarrollo (ENRRDD). La Estrategia Nacional a través de sus dos componentes, la propuesta del Plan Nacional de Prevención y Mitigación de Riesgo y los Proyectos Pilotos, fue concebida como una herramienta esencial de la política nacional, por cuanto contiene los objetivos, estrategias y acciones tales como los programas, proyectos y actividades que orientarán las tareas interinstitucionales en esta materia, en función de la problemática nacional de los riesgos y de las prioridades que derivan de ella, para la reducción de los impactos

Los intereses del país deben estar por encima de los intereses particulares de grupos o partidos políticos, y las decisiones deben fundamentarse en aspectos técnicos y no en políticos.

En relación con la ciencia y la tecnología:

- Se debe reforzar la formación y preparación de ingenieros y técnicos en el área de Hidrometeorología para conducir estudios de predicción del clima, pronósticos hidrometeorológicos y para análisis de escenarios de cambio climático (Martelo, 2004).
- Conviene incorporar los posibles efectos del cambio climático en los planes y proyectos de prevención y mitigación de riesgos.
- Venezuela debe avanzar en la formación de una sociedad innovadora y generadora de tecnología. Debemos luchar contra todas las dificultades que esto involucra, en especial contra nuestros complejos y la tendencia de juzgar más severamente a nuestros productos que los importados. Debemos desarrollar nuestros criterios de calidad y competitividad, de manera de lograr cada vez mejores resultados. Estas metas son perfectamente posibles; contamos con excelente capital humano, con universidades y centros de investigación. Contamos con recursos naturales y económicos suficientes, que debemos invertir en función de lograr mayor riqueza y bienestar para los ciudadanos. Es también una cuestión estratégica para el estado, el cual no debe permitirse la gran debilidad de tener una dependencia sustancial de tecnologías extranjeras. Con el auge tecnológico de nuestros tiempos a escala mundial, esta dependencia se ha venido acrecentando con el tiempo, lo cual evidentemente disminuye nuestra soberanía como

nación. Esto hace del desarrollo de la tecnología nacional un asunto cuya importancia vaya mucho más allá de la conveniencia comercial o del atractivo económico (Santander, 2010).

- Es necesario que se incremente el financiamiento por parte del estado para el sector de ciencia y tecnología, tanto por medio de Universidades e Institutos de Investigación, así como para el sector privado, microempresarios, cooperativas, pequeñas y medianas empresas (PyMES) y grandes industrias innovadoras.
- Es necesario mejorar los salarios de los investigadores de nuestras universidades y centros de investigación, que están muy por debajo de los salarios que se perciben en países vecinos como Colombia, Chile, Brasil o México. Esto ayudaría a frenar el éxodo de investigadores y docentes que sufren actualmente nuestros centros y universidades.

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

Las medidas de prevención y mitigación implementadas en el Estado Vargas durante el periodo 2000-2010, han reducido la vulnerabilidad de la población ante la ocurrencia de aludes torrenciales. Es indudable que la construcción de 63 presas de retención y control de sedimentos en las cuencas, la canalización de la mayor parte de las quebradas, así algunas obras estén incompletas o presenten fallas, y la instalación y puesta en marcha de más de 30 estaciones pluviométricas para medición de lluvia en tiempo real, constituyen una situación muy diferente a la existente en 1999 cuando se contaba apenas con cuatro presas y dos estaciones pluviométricas operativas. Esta lección sí la hemos aprendido.

Sin embargo, de las 63 presas construidas, se ha determinado que aproximadamente el 50%, están totalmente sedimentadas, por lo que se ha reducido significativamente su capacidad para proteger a las poblaciones aguas abajo. La retención total de los sedimentos en las presas cerradas ha originado, en algunos casos, procesos de degradación general del lecho en los tramos aguas abajo, debido al incremento del poder erosivo del flujo sin sedimentos. Particularmente, se han observado descensos del lecho del cauce, de hasta 3 m de profundidad, al pié de los diques de las quebradas Piedra Azul y Camurí Chico, poniendo en peligro la estabilidad de las estructuras.

Las lluvias torrenciales de noviembre 2010, pusieron en evidencia las fallas en el control y mantenimiento de las estaciones hidrometeorológicas instaladas después de los deslaves en las cuencas de Vargas. Algunas de estas

estaciones han sido vandalizadas y otras no han tenido el mantenimiento adecuado, por lo que aproximadamente el 50% de ellas no estaban operativas para el momento del evento y no registraron información valiosa sobre la tormenta y los niveles de la creciente.

La protección contra los aludes torrenciales tiene un carácter continuo y permanente, como lo demuestra el ejemplo aleccionador de Kobe, en Japón. La ciudad de Kobe con una topografía muy similar a la de Vargas ha sido azotada por los terremotos y los aludes torrenciales desde hace centenares de años. Las primeras presas de retención de sedimentos se construyeron a finales del siglo XIX y todos los años se construyen nuevas obras para el control de los deslizamientos y aludes torrenciales. Actualmente existen más de 500 presas distribuidas en aproximadamente 20 cuencas sobre las montañas Rokko (Rokko Sabo Works Office, 2000). Esta experiencia nos indica que la lucha contra los embates de la naturaleza es una lucha continua y no tiene fin. La construcción de obras en Vargas no termina con las presas actuales, sino que se va a prolongar en el tiempo por muchas generaciones, a medida de que las presas se sedimenten y haya que contemplar nuevas obras de retención.

Es indudable que falta mucho por hacer en Vargas para garantizar un margen adecuado de seguridad a sus habitantes. La reocupación de zonas afectadas por los eventos de 1999 y 2005, los efectos potenciales del cambio climático y la rapidez con que se están sedimentando las presas de Vargas, sugieren que un nuevo desastre puede producirse en esa región. Para solventar esta situación, deben construirse nuevas presas, ampliarse la red de monitoreo hidrológico, fortalecer el sistema de alerta temprana, impulsar la capacitación de personal en múltiples niveles y especialidades, elaborar e implementar planes de mantenimiento de las obras y estaciones de medición, y muchas otras acciones que se han descrito en detalle anteriormente.

Otros aspectos positivos que surgieron a raíz de los deslaves de 1999 lo constituyen: a) la gran cantidad de conocimientos adquiridos a través de estudios y proyectos de investigación, algunos de ellos apoyados por la cooperación técnica internacional; b) el desarrollo de modelos matemáticos de simulación de flujos en cuencas torrenciales; c) el desarrollo de tecnologías propias para mediciones hidrometeorológicas; y d) las políticas implementadas de preparar e involucrar a las comunidades en la gestión del riesgo, dándole herramientas para fortalecer sus capacidades locales de organización y respuesta ante la ocurrencia de aludes torrenciales.

Una lección que no hemos aprendido la constituyen la gran cantidad de viviendas que todavía se mantienen o se han reconstruido en las márgenes de las quebradas, en las gargantas de los torrentes y en áreas al pie de laderas inestables. Nuevas construcciones han sido erigidas en sectores que fueron afectadas por los deslaves de 1999 y 2005, tal como los desarrollos recientes en Macuto, Camurí Grande y Camurí Chico. Muchas viviendas marginales y ranchos han sido construidos nuevamente en las gargantas de las quebradas. La lección de que debemos respetar el territorio del río no se aprendió en su totalidad.

Otros problemas no resueltos en Vargas lo constituyen la falta de seguridad, el incremento de la delincuencia, y las invasiones de casas y edificaciones que fueron abandonadas después de los aludes de 1999. A pesar de que los servicios básicos fueron restablecidos en la mayoría de las comunidades afectadas, todavía persisten graves problemas en la recolección y disposición de desechos sólidos y en el tratamiento de las aguas servidas, lo cual impacta negativamente en la calidad de las aguas de las playas. El problema de contaminación de la costa y playas sigue siendo uno de los más severos del litoral central.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece el apoyo prestado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV, a través del proyecto PG 08-00-6663-2007. Se agradece también al Dr. Franck Audemard y al Dr. Franco Urbani por la revisión minuciosa que hicieron del manuscrito de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALTEZ, R. (2010). *Lo que puede aprenderse de un desastre de muertes masivas: la experiencia de Vargas*, En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp.127-144.
- ARISMENDI, J., SALCEDO R., VARELA, D. (2006). *Geomorfología actual y cobertura natural de la vertiente norte de la Cordillera de La Costa afectada por el evento hidrometeorológico de diciembre 99, a partir de la interpretación de imágenes de satélite*. En: Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela. José L. López y R. García (Editores), Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV, pp. 157-169.
- BARRIENTOS, Y., RUIZ, S., IZTÚRIZ, A., VIERMA, M. DE BEZADA, PACHECO, H., SUÁREZ, C., GARCÍA, A., CARRERA, J., LEÓN, C., PERDOMO, Y., MÉNDEZ, W. (2010). *Proyecto*

Campaña Educativa para la reducción de riesgos en el estado Vargas. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 677-690.

- BELLO, M. E., LÓPEZ, J. L., GARCÍA, R., O'BRIEN, J. S. (2003). *Simulation of debris flows in Cerro Grande River valley*. En: Acta Científica Venezolana, Vol. 54, N°1, pp. 22-32.
- CAF-PNUD, (2000). *Efecto de las lluvias caídas en Venezuela en diciembre de 1999*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Corporación Andina de Fomento (CAF), José Grases (Ed.), CDB Publicaciones, Caracas, Venezuela, Abril.
- CÓRDOVA, J. R. & GONZÁLEZ, M. (2003). *Estimación de los volúmenes y caudales máximos que produjeron los aludes torrenciales ocurridos en diciembre de 1999 en cuencas del Litoral Central del estado Vargas, Venezuela*. En: Acta Científica Venezolana, Vol. 54, N° 1, pp.33-48.
- CÓRDOVA, J. R. & GONZÁLEZ, M. (2010). *Evaluación hidrológica y de caudales pico de la tormenta extraordinaria de 1999 en el estado Vargas*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas, José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 95-114.
- CORPOVARGAS. (2009). *Plan de Ordenación de Territorio del Estado Vargas (POTEV)*. Documento técnico, Julio 2009.
- CONSORCIO INCOSTAS-NOUEL. (2000). *Plan de Recuperación, Estabilización y Desarrollo Costero del Litoral Metropolitano, Estado Vargas*. Documento técnico, Julio 2000.
- COURTEL, F., LÓPEZ, J. L., SALCEDO, A. (2010). *El sistema de alerta temprana para Catia La Mar: La experiencia del Proyecto PREDERES*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp.627-640.
- DELGADO, C. & GABALDÓN, A. (2010). *Plan de Manejo para la Ordenación y Restauración Ambiental del Eje Arrecife - Los Caracas, en el estado Vargas*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 527-542.
- ECOLOGY AND ENVIRONMENT S. A. (2000). *Plan de Manejo para la Ordenación y Restauración Ambiental del Eje Arrecife - Los Caracas*. Caracas.

- FOGHIN, S. (2001). *Algunas consideraciones meteorológicas acerca de la catástrofe en el estado Vargas en Diciembre de 1999*. Aula y Ambiente, Revista Ambiental de Divulgación, Año 1, Número 1, Enero-Junio, pp. 93-99.
- GARNER, H. F. (1959). *Stratigraphic-sedimentary significance of contemporary climate and relief in four regions of the Andes Mountains*. Bulletin of the Geological Society of America, Vol. 70, pp.1327-1368, October.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2000). *Ley de la Corporación para la Recuperación y Desarrollo de del Estado Vargas*. G.O. N° 36968 del 8/06/2000.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2001). *Organización Nacional de Protección Civil y Administración de Desastres*. G.O. N° 5557 del 13/11/2001.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2005). *Plan de Ordenación y Reglamento de Uso del Área de Protección y Recuperación Ambiental del Estado Vargas (APRA)*. G.O. Extraordinaria N° 5788 del 27/01/05.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2006). *Ley de Meteorología e Hidrología Nacional*. G.O. N° 5833 Extraordinaria del 22/12/06.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2006). *Ley Orgánica del Ambiente*. G.O. N° 38692 del 28/05/07.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2007). *Ley de Aguas*. G.O. N° 38595 del 02/01/07.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2008). *Ley de Bosques y Gestión Forestal*. G.O. N° 38946 del 5/06/08.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2009). *Plan de Ordenación Urbanística del Estado Vargas*. G.O. Extraordinaria N° 5.927 del 27/07/09.
- GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. (2009). *Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos*. G.O. N° 39095 del 9/01/09.
- GENATIOS, C. (2006). *Presentación*. En: *Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela*. José L. López y R. García (Editores), Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV.
- GENATIOS, C. & LA FUENTE, M. (2006). *Prevención de desastres, prioridad para el desarrollo*. En: *Aprendiendo en torno al Desarrollo Endógeno*. Capítulo 10. SABER-ULA (Ed.), Fundacite-Mérida, pp.179-198.
- GONZÁLEZ, B. & VERDE, D. (2010). *Análisis experimental del funcionamiento hidráulico de presas abiertas para el control o retención de sedimentos*. Tesis de Grado. Depto. de Ingeniería Hidrometeorológica, Facultad de Ingeniería, UCV.
- GRAUER, O. (2001). *Rehabilitación de El Litoral Central, Venezuela*. Maestría en Diseño Urbano. Universidad Metropolitana. Caracas.
- CARRERA, H. L. (2001). *Infraestructura de protección y corrección en las cuencas hidrográficas de Vargas*. Informe Inédito. Enero 2001.
- HUBL, J. & STEINWENDTNER, H. (2000). *Debris flow hazard assessment and risk mitigation*. Felsbau 18 (2000) NR. 1.
- JICA. (2005). *Estudio sobre el Plan Básico de prevención de desastres en el Distrito Metropolitano de Caracas en la República Bolivariana de Venezuela*. Informe Final, Agencia de Cooperación Internacional de Japón, Marzo.
- LÓPEZ, J. L., PÉREZ, D., GARCÍA, R. (2001). *A General overview of the debris flows of december 99 in Venezuela*. Revista Técnica de Ingeniería (LUZ), Vol. 24, No.3, Dic. 2001, pp.157-168.
- LÓPEZ, J. L. (2004) *Proyecto Iniciativa Científica del Milenio: Centro de Excelencia de Dinámica y Control de Inundaciones y Aludes Torrenciales*. Informe Final, Noviembre, Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV.
- LÓPEZ, J. L. & PÉREZ, D. (2010a). *El extraordinario evento hidrometeorológico de diciembre de 1999 en el estado Vargas*. En: *Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas*. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp.27-42.
- LÓPEZ, J. L., PÉREZ-HERNÁNDEZ, D., COURTEL, F. (2010b). *Monitoreo y evaluación del comportamiento de las presas de retención de sedimentos en el estado Vargas*. En: *Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas*.

- José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 459-480.
- LÓPEZ, J. L., PÉREZ-HERNÁNDEZ, D., FALCÓN, M. (2010c). *Efecto de las lluvias de Febrero del 2005 en las obras construidas en el Estado Vargas*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp.441-458.
- MARCANO, F. & BARRIOS, S. (2001). *Estado Vargas: Aspectos socioeconómicos, función urbana y opciones de desarrollo, Litoral Vargas, Corredor urbano y red vial estructurante*. Instituto de Urbanismo, Facultad de Arquitectura, UCV, CENDES, Caracas.
- MARCANO, F. (2006). *Planificando en tiempos de emergencia*. En: Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela. José L. López y R. García (Editores), Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV, pp. 3-15.
- MARTELO, M. T. (2004). *Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela*. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Proyecto MARN-PNUD VEN/00/G31, Resumen Ejecutivo. Mayo.
- MOREAU, A. & JIMÉNEZ, V. (2010). *Proyecto mapas de riesgo el Ávila*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 699-708.
- ROA, R. (2009). Aportes del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente”, Presentación en el Foro “Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas”, Sala Francisco de Miranda, UCV, 9 y 10 de Diciembre.
- ROKKO SABO WORKS OFFICE. (2000). *History of Sabo Works in the Rokko Mountains*. Japan Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Kinki Regional Development Bureau.
- RODRÍGUEZ, L., DÁVILA, A., HERNÁNDEZ, J., AMAYA, B., PRADO, J. (2010). *Programa PREDERES: Programa de prevención de desastres y reconstrucción social en el Estado Vargas*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 727-754.
- SALCEDO, D. (2000). *Los flujos torrenciales catastróficos de diciembre de 1999 en el estado Vargas y en el Área Metropolitana de Caracas, características y lecciones aprendidas*. XVI Seminario Venezolano de Geotecnia, Nov. 7 al 9, Sociedad Venezolana de Geotecnia, CIV, pp. 128-175.
- SANTANDER, D. (2010). *Desarrollo de tecnología nacional en la recolección de información básica para mitigación de desastres*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 357-366.
- SARDI, V. (1959). *Gastos Máximos de los Ríos y las Quebradas del Litoral Central*. Colegio de Ingenieros de Venezuela, Revista No. 275, Febrero, pp. 14-18.
- SINGER, A. (2010). *Los aludes torrenciales en Venezuela: Antecedentes*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 65-80.
- SUCRE, O. (1951). *Daños causados por la Tormenta del 15 al 17 de Febrero de 1951*. Informe Inédito, Instituto Nacional de Obras Sanitarias, Caracas, Venezuela.
- URBANI, F. (2010). *Los flujos torrenciales en el norte de Venezuela: Su ocurrencia a lo largo del tiempo geológico*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp. 133-156.
- URBANI, F., RODRÍGUEZ, J.A., BARBOZA, L., RODRÍGUEZ, S., CANO, V., MELO, L., CASTILLO, A., SUÁREZ, J.C., VIVAS, V., FOURNIER, H. (2006). *Geología del estado Vargas, Venezuela*. En: Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela. José L. López y R. García (Editores), Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV, pp. 177-194.
- WIECZOREK, G. F., LARSEN, M. C., EATON, L. S., MORGAN, B. A., BLAIR, J. L. (2001). *Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation*. U.S. Geological Survey Open File Report 01-144.
- YAJURE, E., (2010). *La formación y desarrollo de personal para el pronóstico meteorológico e hidrológico en Venezuela: la experiencia de diseño del sistema Prometeo para el programa Venehmet*. En: Lecciones Aprendidas del Desastre de Vargas. José L. López (Ed.), Edición Fundación Polar-UCV, pp.641-668.
- ZHANG, S., LÓPEZ, J. L., GARCÍA, R., PÉREZ, D. (2006). *Basic characteristics of large-scale debris flows in Vargas region, Venezuela, Dec. 1999*. En: Los Aludes Torrenciales de Diciembre 1999 en Venezuela. José L. López y R. García (Editores), Instituto de Mecánica de Fluidos, Facultad de Ingeniería, UCV, pp. 745-758.