

Reseña



Conceptos para gestión de inundaciones en la región LAC, modelación e hidrología de extremos

Flood management concepts for LAC region, modeling and hydrology of extremes

Alfonso Gutierrez-Lopez^{1*}

*Autor de correspondencia

HISTORIA DEL ARTÍCULO

Recibido 8 Diciembre 2021

Revisado 29 Marzo 2022

Aceptado 3 Abril 2022

Publicado 4 Abril 2022

PALABRAS CLAVE

Inundaciones, gestión, hidrología, extremos, daños, ríos, modelación.

KEYWORDS

Floods, management, hydrology, extremes, damage, rivers, modeling.

Resumen

La región de América Latina y el Caribe (LAC) es por naturaleza una zona expuesta a eventos extremos como inundaciones, terremotos, deslizamientos, tormentas tropicales, huracanes y contaminación de mantos acuíferos, entre otros. Desafortunadamente estos eventos ocurren cada vez más cerca de poblaciones que se encuentran ubicadas en áreas propensas a la ocurrencia de estos fenómenos de la naturaleza. Estos fenómenos se han transformado en amenazas; y, cuando ocurren, producen daños, pérdidas de vidas humanas y económicas. Lo más grave es que producen un significativo retraso en el desarrollo de los países de la región. Durante las dos décadas pasadas las acciones precisas de gestión de riesgos han permitido combatir ese retraso. Notables avances conceptuales acompañan estas acciones de gestión. La comunicación científica y la capacitación son sin duda algunos de los componentes más importantes en la gestión del riesgo. Ante esta situación, el Programa Hidrológico Intergubernamental para América Latina y el Caribe (PHI-LAC), en colaboración de las iniciativas IFI-LAC (*Iniciativa Internacional sobre Inundaciones*) y FRIEND-LAC (*Iniciativa de Regímenes de Flujo Determinados a partir de Series de Datos Internacionales, Experimentales y de Redes*), promueven importantes acciones de capacitación. Ambas Iniciativas organizaron en diciembre de 2021 un curso virtual sobre *Conceptos y modelación para gestión de inundaciones en LAC*. Y la Iniciativa Internacional sobre Inundaciones IFI-LAC, organizó en marzo 2022 un curso sobre *Hidrología de Extremos*. La presente Reseña tiene como objeto dar a conocer los resultados de ambos cursos de capacitación.

Abstract

The Latin America and Caribbean (LAC) region is by nature an area exposed to extreme events such as floods, earthquakes, landslides, tropical storms, hurricanes and contamination of aquifers, etc. Unfortunately, these events are becoming more frequent near populations located in areas susceptible to these natural phenomena. Regrettably, these events occur increasingly close to populations placed in areas prone to these natural phenomena. These phenomena have become hazards and when they happen, they cause damage and human and economic losses. Most critically, they cause a significant delay in the development of the countries of the region. Over the past two decades, specific risk management actions have made it possible to combat this backwardness. These management actions have been accompanied by notable conceptual advances. Scientific communication and training are undoubtedly some of the most critical components of risk management. In view of this situation, the Intergovernmental Hydrological Program for Latin America and the Caribbean (IHP-LAC), in collaboration with the IFI-LAC (International Flood Initiative) and FRIEND-LAC (Flow Regimes from International, Experimental and Network Data Series Initiative), are promoting substantial training activities. Both Initiatives organized a virtual course on Concepts and Modeling for Flood Management in LAC in December 2021. And the International Flood Initiative IFI-LAC, organized in March 2022 a course on Extreme Hydrology. The purpose of this Review is to present the results of both training courses.

1 International Flood Initiative, Latin-American and the Caribbean Region (IFI-LAC), Intergovernmental Hydrological Programme (IHP-UNESCO), Universidad Autonoma de Queretaro 76010 Queretaro, Mexico. alfonso.gutierrez@uaq.mx

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2021, sumado a los desafíos planteados por la situación de pandemia ante COVID-19, Guyana se vio afectada por inundaciones generalizadas, inundando carreteras, hogares y tierras de cultivo en todo el pequeño país sudamericano. Miles de familias en todo el país se han visto gravemente afectadas por las inundaciones. Las autoridades dijeron que la inundación podría exacerbar la propagación del coronavirus y provocar otros problemas de salud si los residentes no pueden encontrar comida y agua potable, afectando gravemente la situación económica de algunas familias en las regiones más afectadas del país, una de las más pobres de América del Sur. Ante esta situación, el Programa Hidrológico Intergubernamental para América Latina y el Caribe (PHI-LAC), en colaboración de las iniciativas IFI-LAC (*Iniciativa Internacional sobre Inundaciones*) y FRIEND-LAC (*Iniciativa de Regímenes de Flujo Determinados a partir de Series de Datos Internacionales, Experimentales y de Redes*), tomar la iniciativa de promover acciones de capacitación en el tema de gestión de inundaciones. Ambas Iniciativas organizaron en diciembre de 2021 un taller virtual sobre *Conceptos y modelación para gestión de inundaciones en LAC*. Y la Iniciativa Internacional sobre Inundaciones IFI-LAC, organizó en marzo 2022 un taller sobre *Hidrología de Extremos*.

1.1 UNESCO PHI-LAC

El Programa Hidrológico Intergubernamental (PHI) es el único programa intergubernamental del sistema de las Naciones Unidas dedicado a la investigación sobre el agua, la gestión de los recursos hídricos y la educación y la creación de capacidades. El programa, ajustado a las necesidades de los Estados Miembros, se ejecuta en fases de seis años, lo que permite adaptarlo a un mundo en rápida evolución. Actualmente está por iniciar su novena fase (PHI-IX: Ciencia para un mundo con seguridad hídrica en un entorno cambiante), misma que se llevará a cabo durante el periodo 2022-2029. Desde la Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe en Montevideo (<https://es.unesco.org/fieldoffice/montevideo/>), el PHI implementa iniciativas regionales y locales, en diálogo con los países de la región a través de los Comités Nacionales y Puntos Focales, con el apoyo de la Familia del Agua de la UNESCO y en

coordinación con la Sede de la UNESCO y con otras Oficinas de la región.

1.2 CODIA

La Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA) es una iniciativa de cooperación y colaboración técnica en materia de gestión de recursos hídricos que nació en el año 2000 por mandato del Foro Iberoamericano de ministros de medio ambiente. A la fecha se han celebrado 21 Conferencias, siendo hoy uno de las principales plataformas de capacitación en materia de gestión de los recursos hídricos de la región. En este sentido, el Programa de Formación Iberoamericano (PFI) en materia de agua de la CODIA es una de las líneas de trabajo de la CODIA de mayor visibilidad y cuyo desarrollo se mantiene ininterrumpido desde que fue aprobado en 2008. El PFI cuenta con tres áreas temáticas, definidas en la XVI CODIA (Bolivia, 2015): (i) Seguridad hídrica y eventos extremos. (ii) Planificación y gestión integrada de recursos hídricos (GIRH). (iii) Abastecimiento y saneamiento. El PFI, tanto en su modalidad presencial como en su modalidad virtual, ha obtenido un gran apoyo por parte de los Directores Iberoamericanos del Agua de los 22 países que forman parte de la CODIA. Actualmente, el PFI se ha dotado de un sistema de gobernanza (aprobado en la XVIII CODIA, 2017) que pretende una gestión más eficaz e integradora de las propuestas de formación por parte de los diferentes países. La CODIA viene trabajando con diferentes socios estratégicos (BID, CAF, UNESCO, AECID, OEA) con los que articula diferentes líneas de trabajo que contribuyen al que el Programa de Trabajo de la CODIA tenga los mejores resultados. Desde 2021 la CODIA forma parte del Registro de Redes de la SEGIB, de manera que la CODIA ha visto afianzada su institucionalidad en el seno de dicha institución.

2. CONCEPTOS Y MODELACIÓN PARA LA GESTIÓN DE INUNDACIONES

Del 6 al 8 de diciembre 2021 se llevó a cabo el primer Taller. Los objetivos fueron (i) promover la investigación científica en materia de inundaciones fluviales, costeras, rurales y urbanas. (ii) Promover la comprensión de la vulnerabilidad y la estimación del riesgo por inundación y (iii) Presentar el desarrollo de herramientas computacionales para la modelación de cuencas y ríos. La convocatoria se realizó desde la

Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe en Montevideo. La figura 1 muestra el cartel que fue circulado por los medios electrónicos para convocar.

Día 1. 6 de diciembre 2021

El primer día inicio con la bienvenida y la presentación del taller por parte del Sr. Miguel Doria, Hidrólogo Regional para América Latina y el Caribe. A continuación el Sr. Alfonso Gutiérrez, Coordinador grupo de trabajo UNESCO PHI-LAC IFI-LAC presentó los objetivos del taller y la motivación del mismo. El Sr. Santiago Yépez, Coordinador grupo de trabajo UNESCO PHI-LAC FRIEND/AMIGO, comentó la importancia del tema y destacó los compromisos y oportunidades que tendrían los asistentes una vez concluido el evento. La apertura e inicio se dio por parte del Sr. Doria. El **Sr. José Vargas Baecheler**, de la Universidad de Concepción, Chile, fue el moderador de todas las sesiones.

El primer ponente fue el **Sr. Juan Carlos Bertoni**, actualmente Presidente del Instituto Nacional del Agua (INA), Argentina. Su conferencia fue referente a los *Aspectos de la gestión y modelación de*

inundaciones en la región LAC. La importancia de esta primera intervención radica en poner en contexto al público en general en el marco de las experiencias en Latinoamérica respecto a los principales aspectos ligados a la gestión de inundaciones. Se inició con la definición de los Componentes de un Sistema de Drenaje Urbano (y Rural). Los tipos de inundaciones urbanas y su relación con el drenaje pluvial. La evidencia surgida de esta presentación sugiere que se debe tener conciencia de la evolución de paradigmas en infraestructura y ambiente, con relación a los componentes básicos y su liga con el ordenamiento territorial. El Sr. Bertoni, puntualizó además, los lineamientos estratégicos para el largo plazo, en donde destacan las acciones para pasar de una infraestructuras de drenaje gris al verde. Se realizó una síntesis muy detallada de Casos de Estudio en América Latina. Entre lo que se mencionaron fueron las intervenciones realizadas en Managua, Nicaragua, Barranquilla y Cali en Colombia, Guayaquil, Ecuador, Córdoba, Argentina, El Salvador y San Paulo y Curitiba en Brasil. La presentación concluyó con la presentación de las Medidas Estructurales para el Control del Drenaje (urbano).

Curso en línea / Online course

Conceptos y modelación para gestión de inundaciones en LAC

Concepts and modelling for flood management in LAC

unesco
Programa Hidrológico Inter gubernamental

IFI
PHI-LAC

friend
water

codia
Comisión de Operación y Mantenimiento de Aguas

Red Iberoamericana
Rede Ibero-Americana

Con el apoyo de:
Cooperación Española

Horario / Time:

08:00 - 11:00 (GMT-6) Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, México
09:00 - 12:00 (GMT-5) Colombia, Ecuador, Haití, Jamaica, Panamá, Perú
10:00 - 13:00 (GMT-4) Antigua y Barbuda, Aruba, Bahamas, Bolivia, Cuba, Curçao, Dominica, Granada, Guyana, Islas Vírgenes Británicas, República Dominicana, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Martín, San Vicente y las Granadinas, Trinidad y Tobago, Venezuela
11:00 - 14:00 (GMT-3) Argentina, Brasil, Chile, Paraguay, Suriname, Uruguay

6 al 8
DIC

<https://bit.ly/2ZzActM>

Figura 1. Cartel digital de convocatoria al primer taller 6-8 diciembre 2022

El segundo ponente fue el **Sr. Oscar Link**, de la Universidad de Concepción, Chile. Presentando el tema: *Modelación del riesgo. Conceptos y aproximaciones metodológicas*. Se habló sobre el río

Bio Bio que es uno de los mayores ríos de Chile, con unos 380 km de longitud y una superficie de drenaje de 24.260 km². Se puntualizó sobre el régimen de precipitaciones, sobre su desembocadura y la

variación de descarga en verano y durante la estación de las lluvias.

Para finalizar el día, el **Sr. Guillermo Leal**, de IFI-México, expuso el tema *Manejo de aguas pluviales en zonas urbanas, grandes proyectos*. El Sr. Leal, empezó por dar los antecedentes de la evolución de los cuerpos de agua y la zona urbana en el Valle de México. Mostró evidencia de cómo durante la época Colonial, se luchó contra la insalubridad en la ciudad y contra las recurrentes y devastadoras inundaciones. Con esto dio la introducción a la descripción al Sistema Principal de Drenaje de la Zona Metropolitana del Valle de México. Los resultados presentados, pusieron en evidencia la necesidad de contar con una herramienta que permita conocer de manera integral el funcionamiento hidráulico del sistema de drenaje pluvial y con ello; tener la posibilidad de analizar distintas alternativas de solución para definir ubicación, trazo, capacidad y geometría de estructuras y conductos en estudio (planeación y base de proyectos ejecutivos). Finalmente, concluyó que es necesario optimizar las políticas para el manejo y desalojo de los escurrimientos, así como para la protección de la población y la infraestructura urbana (protocolos de operación).

Día 2. 7 de diciembre 2021

El segundo día inició con la presentación del **Sr. Luis Mora Mora**, de la Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela. El tema fue la presentación general del *Modelo de simulación HydroBID*. Presentó los lineamientos generales del HydroBID. Detalló la base de datos AHDTTools, el Modelo HydroBID-Alloc, el Modelo HydroBID-Flood y mencionó las perspectivas de la aplicación de este modelo en la región LAC. HydroBID es una herramienta de simulación creada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para dar soporte a la región de Latino América y el Caribe (LAC) en el manejo y planificación del recurso hídrico. La presentación puso en evidencia la importancia del HydroBID como una herramienta para gestión de inundaciones en LAC. Ya que cubre la región de LAC en su totalidad y es útil para organizar y consolidar datos escasos. También tiene una resolución espacial y temporal apropiada para planificación y diseño de infraestructura hídrica. La estructura del modelo es modular, flexible y “escalable”. La formulación hidrológica es robusta y permite interactuar con cualquier dato o modelo climático. La conclusión es que esta herramienta de hidro-informática puede

simular problemas en cualquier escala de tiempo: eventos, intra/inter anual, decadal y más allá.

La siguiente presentación corrió a cargo del **Sr. Miguel Sanchez**, del Centro de Investigaciones del Agua, Querétaro, México. Presentando el *Modelo de Simulación IBER*. Iber 2.6 es un software libre, programado y presentado por la Universidad de Coruña, España. El cual permite la modelación numérica bidimensional del flujo turbulento en lámina libre. Es importante, tener en cuenta que cualquier modelación bidimensional debe de empezar con un Modelo Digital de Elevaciones (MDE). Para el modelo ejemplo, el Sr. Sánchez, presentó los resultados de dos días de modelación de la lluvia acumulada del 26 al 27 de septiembre del 2017, en la ciudad de Querétaro. Los resultados muestran que la herramienta IBER es muy accesible y puede aplicarse fácilmente en los problemas de simulación de la región LAC.

A continuación la **Sra. Delva Guichard**, de la Universidad Autónoma de Chiapas, México, presentó los fundamentos, operación y aplicaciones del modelo ATHYS-MERCEDES (ATelier HYdrologique Spatialisé). El ATelier HYdrologique Spatialisé, ATHYS, es un modelo de entorno fácil y homogéneo, es un conjunto de modelos hidrológicos asociados al tratamiento de datos hidroclimáticos y geográficos. Ha sido desarrollado por el IRD para diversas aplicaciones: gestión de recursos hídricos, previsión de fenómenos extremos, estudios de impacto relacionados con modificaciones antrópicas o climáticas. La Sra. Guichard, Presentó la aplicación de esta herramienta en el río Suchiapa en el sureste de México. Los resultados del modelo proporcionan mapas de las descargas máximas, velocidades y niveles de agua, para cada celda de corriente. La rápida implementación del modelo y las rápidas simulaciones resaltan la utilidad de este método para la gestión de inundaciones urbanas.

La última sesión del día corrió a cargo de la **Sra. Tania Robles**, de la empresa Inesproc y del Colegio de Ingenieros Civiles de México. Presentó el *Modelo de Simulación MIKE URBAN*. MIKE es un modelo bidimensional desarrollado originalmente para ambientes marinos y adaptado para el análisis de planicies de inundación e inundaciones costeras en dos dimensiones. Se trata de un paquete capaz de simular procesos físicos, químicos y biológicos en lagos, estuarios, bahías, zonas costeras y mar adentro, considerando efectos como: la resistencia en el fondo, el viento, gradientes de presión

atmosférica, la fuerza de Coriolis, fuentes y sumideros, evaporación, áreas secas y mojadas, entre otros. Trabaja sobre un dominio en dos dimensiones con tres variables definidas en cada punto del dominio: el tirante y las dos componentes horizontales de la velocidad. Se presentó el caso de la autopista Tuxpan-Tampico, el análisis bidimensional de la dinámica de inundación del cauce y su llanura de inundación. La Sra Tania Robles, finalizó reflexionando sobre la importancia que tiene que los estudios hidráulicos deben proporcionar al proyectista los elementos necesarios para garantizar la seguridad y el buen funcionamiento de su proyecto, sin un sobre costo.

Día 3. 8 de diciembre 2021

El día inició con la presentación del **Sr. Juan Francisco Gómez**, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), México. Se presentó el *Modelo de Simulación HEC HMS-RAS*. El programa HEC-HMS es un programa de simulación hidrológica para estimar los hidrogramas de salida en una o varias subcuencas a partir de condiciones extremas de lluvia. Se detallaron los componentes para realizar la modelación del proceso escurrimiento con HEC-HMS. También se presentó el modelo HEC-RAS, mostrando ejemplos de aplicación para ambos modelos. Se mencionó la facilidad con la que estos modelos son utilizados y la confiabilidad de sus resultados.

El **Sr. Javier Mendoza Rodríguez**, Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), Bolivia, presentó el tema de las *Inundaciones urbanas*. Se dieron los detalles de la cuenca del río Choqueyapu, que drena sus aguas hacia la ciudad de La Paz. El 19 de febrero de 2002 se presentó una tormenta de gran intensidad, con periodo de retorno cercano a los 100 años, para una duración de 50 minutos y una intensidad de 40 mm/h. El Sr. Javier, presentó también los caudales que se produjeron por esta tormenta. A continuación detalló los daños económicos y las lamentables pérdidas de vidas. Reflexionó sobre la importancia del Sistema de Alerta Temprana que se tiene instalado en esa cuenca. Puntualizó su funcionamiento y los aspectos técnicos y logísticos de ese sistema.

La presentación siguiente estuvo a cargo del **Sr. Santiago Yépez**, de la Universidad de Concepción y Coordinador del grupo de trabajo UNESCO PHI-LAC FRIEND/AMIGO. Presentó los detalles del funcionamiento del Modelo de Simulación South Rivers Toolbox. Este modelo es una herramienta de

apoyo a la gestión de cauces que se basa en un modelo predictivo que permite caracterizar y definir tramos a nivel de cuenca que pueden ser sensibles a la morfo-dinámica fluvial, analizando el impacto ante la presión de la actividad humana y la intensificación de la variabilidad climática natural.

En la última sesión el **Sr. Miguel Ángel Aguilar**, de la Universidad Autónoma de Chiapas, México, presentó los fundamentos, operación y aplicaciones del modelo iRIC. El programa iRIC es una plataforma de simulación numérica gratuita que admite una amplia variedad de soluciones computacionales para problemas de la ciencia y la ingeniería del agua. Comenzó como una herramienta de análisis de flujos fluviales y morfo-dinámica, pero ahora se ha ampliado para tratar un conjunto de problemas, incluyendo predicciones de inundaciones, modelación del proceso lluvia-escurrimiento, propagación de tsunamis, flujos de escombros, evaluación de hábitats y más. El Sr. Miguel Ángel, mencionó que este modelo es una buena alternativa para la modelación, ya que es muy fácil de utilizar, es libre, arroja resultados similares al IBER y HEC-RAS y cada día se trabaja en hacer más amigable la interface.

3. HIDROLOGÍA DE EXTREMOS

Los días 28 y 29 de marzo 2022 se llevó a cabo el segundo taller. Los objetivos fueron (i) promover la gestión de inundaciones utilizando herramientas específicas para la hidrología de extremos y considerando los aspectos operativos y sociales. (ii) Brindar conceptos básicos sobre estimación probabilística de eventos hidrológicos, geoestadística y cartografía de eventos extremos. (iii) Capacitar sobre la metodología para estimar curvas intensidad duración frecuencia. (iv) Brindar herramientas para la gestión operativa y social de las inundaciones a través de conceptos sobre la percepción de las inundaciones en la región, resiliencia y gobernabilidad y participación en la gestión de inundaciones. (v) Brindar asesoramiento para la generación y mantenimiento de un sistema de alerta, telemetría y herramientas satelitales para atender inundaciones y para la valoración de daños económicos por inundaciones y (vi) recuperar las experiencias, casos de estudio y lecciones aprendidas en Latinoamérica, sobre gestión de inundaciones. La convocatoria se realizó desde la Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe en Montevideo. La figura 2 muestra el cartel

que fue circulado por los medios electrónicos para convocar.

Día 1. 28 de marzo 2022

El primer día inicio con la bienvenida y la presentación del taller por parte de la Sra. Virginia Barbancho, de la Secretaría Permanente CODIA. Comentó sobre la acción climática que día a día altera los procesos del ciclo hidrológico. Mencionó las acciones que realiza la CIOIDA como un esfuerzo de estrategias y acciones para la comprensión de

fenómenos extremos. Después tomó la palabra el Sr. Guillermo Anlló de la Oficina UNESCO en Montevideo. Quien destacó la importancia de estas capacitaciones en la región LAC. A continuación, Seguido por las palabras del Sr. Alfonso Gutiérrez, Coordinador grupo de trabajo UNESCO PHI-LAC IFI-LAC quién presentó los objetivos del taller y la motivación del mismo. El Sr. **José Vargas Baecheler**, de la Universidad de Concepción, Chile, fue el moderador de todas las sesiones.

CURSO EN LÍNEA

Gestión de inundaciones en América Latina y el Caribe

28-29 MAR 11 h ARG/URU

Horario / Time:

- 08:00 - 10:00 (GMT-6) Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua
- 09:00 - 15:00 (GMT-5) Colombia, Ecuador, Jamaica, Panamá, Perú
- 10:00 - 14:00 (GMT-4) Bolivia, Cuba, Guyana, República Dominicana, Venezuela
- 11:00 - 15:00 (GMT-3) Argentina, Brasil, Chile, Paraguay, Uruguay
- 14:00 - 18:00 (GMT) Portugal
- 15:00 - 19:00 (GMT+1) Andorra, España

<https://bit.ly/curso-inundaciones2022>

Figura 2. Cartel digital de convocatoria al segundo taller 28-29 de marzo 2022

La primera ponencia estuvo a cargo del Sr. **Gerardo Leis**, de la Universidad de Panamá, Panamá. Se presentó el tema: *Análisis de frecuencia de precipitación y aportes del evento extremo La Purísima 2010 en el Canal de Panamá*. Del 7 al 9 de diciembre del 2010 y presentó una tormenta estacionaria la más grande ocurrida en toda la historia del canal de Panamá. Afectó áreas en la región del noroeste. En la cuenca de aportación se generaron caudales extraordinarios y se provocaron de manera natural más de 500 deslizamiento que removieron gran cantidad de bosque y lobo. A este evento se le conoce con el nombre de La Purísima y se nombró así porque históricamente los campesinos de la vertiente Atlántica de Panamá recuerdan aquella gran tormenta que se da cinco días antes o cinco días después del 8 de diciembre (día de la inmaculada

concepción de la Virgen María según el calendario de la iglesia católica). El Sr. Gerardo, explicó como sucedió todo el fenómeno cuáles fueron las acciones para gestionar las acciones de recuperación después de los daños. Finalizó explicando cómo funcionó el Sistema de Alerta durante este evento.

El segundo expositor fue el Sr. **Hugo G. Hidalgo** de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Con el tema: *Índices de eventos extremos en precipitación y temperatura, significado estadístico de tendencias*. El Sr. Hugo Hidalgo platicó sobre las características de los eventos extremos, algunos aspectos del déficit de agua que están relacionadas con escalas de tiempo mensual estacional e interanual. Comentó que existen algunos aspectos de este déficit relacionados con las características de cómo llueve por ejemplo; o por el número promedio

de días consecutivos secos. Detalló sobre las tendencias a nivel promedio en América Central y expuso sobre la importancia de reconocer extremos húmedos por ejemplo el percentil 90 de todos los días lluviosos del año o extremo secos que corresponden al percentil 10. Concluyó diciendo que los cambios en los extremos de precipitación evidencian que el norte de América Central se está poniendo más seco. Mientras que el sur es más húmedo esto es consistente con las simulaciones de los modelos climáticos de circulación general de otros estudios que sugieren que estas tendencias continuarán en el futuro.

La tercera exposición estuvo a cargo del **Sr. Roberto Pizarro**. Universidad de Talca, Chile, con el tema: *Metodología para estimar curvas intensidad duración frecuencia*. Empezó comentando que las precipitaciones pueden ser caracterizadas mediante la lámina de lluvia semanal, mensual, anual etc., y mediante la intensidad de lluvia la cual corresponde a la cantidad de precipitación en función del tiempo expresada generalmente en milímetros entre hora. Esta relación es muy relevante sobre todo para el diseño de obras hidráulicas. La intensidad es mucho más relevante que la altura de lluvia debido a que los eventos de precipitación con intensidades muy altas son pocos frecuentes; pero cuando ocurren pueden provocar desastres de gran magnitud. El Sr. Roberto mostró cómo se ajustan las curvas intensidad duración y frecuencia y también detalló cómo se calcula un innovador índice de tormenta que propone para caracterizar las precipitaciones.

A continuación el **Sr. Carlos Díaz Delgado** del Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, México, presentó el tema: *Propuesta metodológica para la valoración de daños económicos por inundaciones*. La presentación comenzó con la definición de un sistema de alerta temprana contra inundaciones; se comentó que existen cuatro elementos (i) la identificación de riesgos (ii) monitoreo y servicio de alerta (iii) diseminación, articulación y comunicación y (iv) capacidad de respuesta. Expresó que un sistema de alerta temprana contra inundaciones será usado para orientar a personas en peligro de inundación y a promover la autoprotección de sus vidas y pertenencias. Se comentó sobre cómo se realiza el cálculo del costo por una inundación; esto se refiere a los daños producidos por inundación. Éstos se dividen en tangibles, que son aquellos que pueden ser medidos con base en un valor monetario y los daños intangibles que no pueden ser medidos con base en

un valor monetario. También habló sobre los costos indirectos que se refieren a aquellos que es el contacto con el agua o sumersión y los indirectos, causados por la interrupción de las interrelaciones físicas y económicas de una comunidad. Para la construcción de las curvas de daños se procedió con un reconocimiento de campo. Se visitaron viviendas, se identificó su tipo y el número de bienes fueron caracterizados según el índice de marginación. A continuación se estimó el costo de los bienes y su valor monetario por cada uno de los tipos de índice de marginación. De esta forma se pueden construir las curvas de daños potenciales; que relaciona la altura del agua relacionada con el valor de los bienes de una vivienda. Se mostró una aplicación para una cuenca en el Estado de México en donde se realiza el cálculo y la suma total de daños en cada una de las zonas inundables.

El siguiente ponente fue el **Sr. Waldo Lavado**, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI, Lima, Perú, con el tema: *Modelación subdiaria de hidrogramas de crecidas en Perú*. Primero se dio una introducción sobre la climatología y la hidrografía de las principales cuencas de la vertiente del Pacífico en el Perú. Se comentó que recientemente ha habido un aumento de fuertes lluvias y que existe alto potencial de aumento en caudales máximos, inundaciones y erosión en nuestra zona. A continuación se describió la metodología utilizada por el SENAMHI para realizar los estudios de pronóstico hidrológico se parte de lluvias diarias o lluvias sub-diarias; después se hace una generación de curvas IDF basadas en la desagregación de las lluvias diarias. Para concluir el Sr. Waldo, recalcó que es la primera vez que 11 cuencas se simulan los eventos de hidrogramas de crecidas basados en datos de caudales sub-diarios observados. Asimismo, el modelo utilizado fue el HEC-HMS alimentado con datos pluviométricos sub-diarios. Finalmente, basados en las curvas IDF desarrolladas por el SENAMHI se pudieron generar los hidrogramas de las crecidas para diversos periodos de retorno.

Día 2. 29 de marzo 2022

El día inicio con la bienvenida y el resumen de los temas tratados el día anterior, a cargo del Sr. Guillermo Leal de IFI-México. Se presentaron también los objetivos de este segundo día y así iniciaron las presentaciones.

Las presentaciones iniciaron con el **Sr. Vinícius Roman**, de la Agencia Nacional de Aguas (ANA),

Brasil, con el tema: *Análisis temporal del evento extremo de 2014 em Porto Velho, RO, Brasil*. Está presentación puso en evidencia que existen muchos temas de aprendizaje que tenemos que tener en mente para la gestión de inundación. Sabemos que no hay forma de evitar los desastres de una inundación, sobre todo para periodos de retorno muy grandes. Recalcó que no hay forma de predecir cuándo sucederá o cuánto durarán los valores atípicos. Enfatizó que muchas veces los valores extremos ocurren y no siempre son producto de errores en el conjunto de datos. En especial en los sistemas de alerta temprana, que utilizan datos a tiempo real y que están propensos a los errores de las mediciones climatológicas o meteorológicas. La agencia ANA ha creado una sala de crisis en la que muchas agencias gubernamentales y empresas del sector de la electricidad y la navegación fluvial pueden ayudar a informar y transmitir pronósticos meteorológicos hasta 14 días y climáticos hasta por un mes y ayudar a mediar en conflictos que esta sala de crisis está abierta todos los años en la temporada de inundaciones con reuniones virtuales. Finalmente, se enfatizó que la gestión de inundaciones en Porto Velho trajo algunos aprendizajes. Por ejemplo, cómo tratar los valores atípicos de las series estadísticas en hidrología. También el aprendizaje de cómo elegir el criterio para la distribución de frecuencias teórica más adecuada para hacerlas extrapolaciones para periodo de retorno mayores al tamaño de la muestra. Finalmente se debe tener cuidado con los valores de la rugosidad en la simulación hidráulica sobre todo cuando hay un remanso

La segunda presentación estuvo a cargo del **Sr. Sebastián Solari**, del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental. Universidad de la República Oriental del Uruguay, Uruguay, con el tema: *Análisis multivariado de eventos extremos compuestos: aplicación al caso de Salto, Uruguay*. Se presentó el caso del Arroyo Concordia. Se trabajó con eventos extremos definidos por la precipitación extrema. Sí presentó la teoría sobre la definición de Copula-bivariada Y cómo esta distribución puede tener dos funciones marginales. Esta presentación puso en evidencia que el estudio de eventos extremos compuestos, como es el caso de la ocurrencia conjunta de precipitaciones y niveles de agua en una desembocadura; requiere construir modelos bivariados. También se concluyó que las cúpulas son una herramienta versátil de aplicación relativamente simple que permite construir modelos bivariados respetando las marginales de las variables

seleccionadas y sin necesidad de recurrir a simplificación es para modelar la dependencia entre las variables.

El Profesor **Carlos Paoli**, Profesor Honorario de la Universidad Nacional del Litoral, Argentina, presentó el tema: *Nuevas temáticas y enfoques para el desarrollo sostenible de un gran río de llanura: caso río Paraná*. La presentación se basa en el libro en tres tomos sobre el río Paraná en su tramo medio. El tomo I, tiene como título "Contribución al conocimiento hidrológico geomorfológico y sedimentológico". Su capítulo 1, trata sobre las características de las cuencas de aporte. El capítulo 2, sobre el conocimiento del régimen hidrológico. El capítulo 3, sobre el régimen de crecidas y análisis de caudales máximos. El capítulo 4, estudia la geomorfología del cauce principal y el capítulo 5, el transporte de sedimentos y procesos fluviales. El tomo II tiene como nombre "Prácticas ingenieriles en un gran río de llanura". El capítulo 6, trata sobre la determinación de los parámetros hidrológicos. El capítulo 7, sobre los modelos de pronóstico. El capítulo 8, sobre la erosión de obras de ingeniería fluvial. En el capítulo 9, se tratan los temas de erosión. El capítulo 10, toca los aspectos hidráulicos sedimentológicos de la lluvia. El capítulo 11, habla sobre las inundaciones en el área de Santa Fe la interpretación de sus efectos y simulación de los subsistemas. El tomo III, se denomina "Nuevas temáticas y enfoques para el desarrollo sostenible de un gran río de llanura". El capítulo 12, habla sobre las nuevas técnicas de medición de variables hidráulicas y sedimentológicas en el río Paraná. El capítulo 13, trata sobre las aguas subterráneas en el tramo medio del río y capítulo 14, sobre las comunidades biológicas en el río Paraná y algunas interacciones abióticas y bióticas. El capítulo 15, habla sobre el régimen de estiaje y el análisis de caudales niveles mínimos. El capítulo 16, habla sobre las bajantes y sus impactos. El capítulo 17, sobre aprovechamiento hidroeléctrico sustentable en un río de llanura. El capítulo 18, detalla los servicios ecosistémicos y el estudio de impacto ambiental. Finalmente el capítulo 19, se estudia la gestión del riesgo de desastre y gestión integrada de crecidas en el área del Gran Santa Fe. Los resultados de esta publicación ponen en evidencia la necesidad de ser exhaustivo en lo que a estudios se refiere. Es un reflejo y un gran ejemplo que los estudios detallados deben llevarse a cabo cuando se quiere caracterizar un río completo con todos sus componentes funcionales.

A continuación la **Sra. Nelsy Verdugo**, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM Santafé de Bogotá, Colombia, presentó el tema: *Dinámica y procesos de inundación en la región de La Mojana, eventos La Niña 2020 y 2021*. La presentación de la Sra. Nelsy se basó en los trabajos que desarrollan en el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Habló sobre la estrategia de monitoreo, describió la instalación y operación de estaciones de medición, parcelas de campo y la asimilación de datos provenientes de sensores remotos. Detalló la aplicación de protocolos de captura procesamiento y análisis de datos variables de la atmósfera, la litosfera, la hidrosfera y la biosfera. A continuación se platicó sobre la diversidad de los productos generados por el IDEAM; los cuales ofrecen un contexto nacional muy útil y que cobren algunos de los casos a niveles regionales y locales. En particular se generan análisis a partir de series históricas y se emiten reportes de detección temprana de deforestación y se elaboran algunos productos en tiempo real como pronóstico del tiempo y emisión de alertas por condiciones hidroclimaticas. Se presentó el caso de La Mojada, en donde fue un evento que produjo daños, explicó que para estimar el caudal de ingreso a La Mojada a través del sector Cara de Gato, el día 8 de diciembre del 2021, se realizó un aforo aguas arriba y aguas abajo del sector de rompimiento y que a partir de esto; se identificó que cerca del 60% del caudal que trae el río hasta ese sitio ingresa a La Mojada.

El ultimo expositor fue el **Sr. Alfonso Gutiérrez**, del Centro de Investigaciones del Agua, Universidad Autónoma de Querétaro, México, con el tema: *Geoestadística y cartografía de eventos extremos*. Inició explicando el significado del Kriging, mencionó que se utiliza para la interpolación espacial de variables geofísicas e hidrológicas. Esta técnica requiere la definición de una función matemática de correlación espacial llamada variograma. La cartografía de valores extremos resulta indispensable para el análisis de problemas hidrológicos como el riesgo múltiple y la evaluación de daños por desastres. No obstante, la formulación de un variograma es compleja y a menudo la selección del modelo de variograma resulta crucial en la representación final de los valores extremos. Cressie y Hawkins (1980) sugieren un estimador que atenúa el efecto negativo que se tiene al utilizar muestras de datos con outliers. Se trata de un planteamiento que elimina el término que considera las diferencias al

cuadrado de los valores empíricos en el cálculo de un variograma. Conocido como Cressie-Hawkins-Estimator (CH), se basa en considerar una distribución Gaussian para el cálculo del variograma. El CH cumple las principales consideraciones estadísticas de normalidad; sin embargo no se utiliza la formulación de la kurtosis para garantizar la total normalidad. El Sr. Alfonso, comentó que se modificó el CH, agregando el término correspondiente al cuarto momento estadístico. Se reproduce el ejemplo numérico propuesto en la literatura para evaluar la efectividad del CH y se comprueba que el nuevo variograma (CH-Glo) disminuye aun más el efecto de los valores extremos en la cartografía. Se aplica el CH-Glo para cartografiar una tormenta extrema ocurrida en agosto 2014 en la ciudad de Querétaro, México. Se concluye que esta nueva formulación de variograma es una alternativa adecuada para utilizarla con valores extremos.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

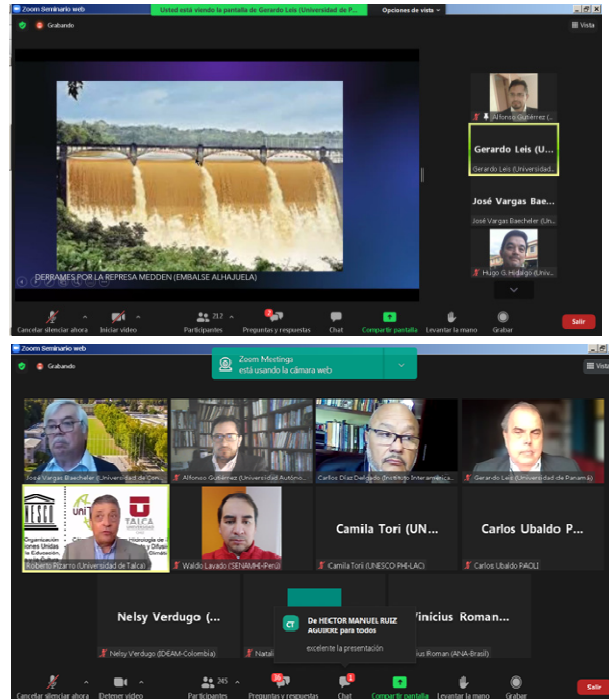
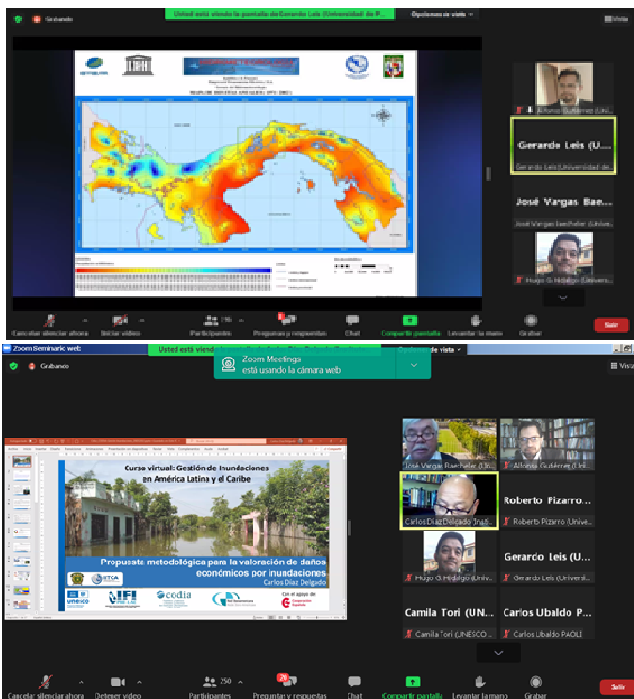
En los años 2021 y 2022 se llevaron a cabo dos talleres sobre los conceptos para gestión de inundaciones en la región LAC y la modelación e hidrología de extremos. Ambos organizados por el PHI-LAC a través de sus iniciativas IFI-LAC y FRIEND/AMIGO y la CODIA, con el apoyo de AECID. En estos talleres virtuales se abarcaron aspectos de la gestión y modelación de inundaciones en la región de América Latina y el Caribe y herramientas de modelación, conceptos y modelos aplicables a la gestión de inundaciones. Entre los modelos presentados se encuentran los modelos de simulación: HydroBID, IBER, MIKE URBAN, South Rivers Toolbox, HEC HMS-RAS. También se presentaron conceptos básicos para la gestión de inundaciones urbanas. En este marco se detecta la necesidad de brindar herramientas y conceptos estadísticos para la gestión de inundaciones, e instrumentos para la gestión operativa de las inundaciones, brindando asesoramiento para la generación y mantenimiento de un sistema de alerta, telemetría y herramientas satelitales para atender inundaciones y para la valoración de daños económicos por inundaciones.

Fue un gran logro reunir en el primer taller las presentaciones de los modelos más significativos y más utilizados en la región LAC. Se cumple el objetivo de crear y afianzar redes de intercambio de información de carácter científico, técnico y normativo entre instituciones y particulares. Quedan

muchas acciones a realizar, como por ejemplo elaborar publicaciones y material técnico relacionado con los objetivos y actividades de este taller. Los ponentes demostraron que en coordinación con la comunidad científica se pueden realizar actividades eficaces de capacitación en círculos institucionales y profesionales para poner en marcha las acciones oportunas de sensibilización dirigidas a la gestión de inundaciones. Los resultados de estos talleres nos muestran la gran oportunidad de realizar cambios sustanciales para las ciudades, acercándolas progresivamente hacia el concepto de “ciudades verdes”.

Finalmente, nos quedan acciones que realizar, por ejemplo, (i) capacitar al personal técnico y no-técnicos de organismos gubernamentales y no gubernamentales de la región LAC. (ii) Construir las herramientas útiles para la gestión de inundaciones, tales como estimación probabilística de eventos hidrológicos, geoestadística, cartografía de eventos extremos, curvas intensidad duración frecuencia, análisis forense de inundaciones. Con estos eventos se pretende haber fortalecido las capacidades de los países de la región en la gestión operativa de las inundaciones. Fue muy importante recuperar las experiencias, casos de estudio y lecciones aprendidas en LAC, sobre gestión de inundaciones.

5. IMÁGENES Y SEGUIMIENTO DE LOS TALLERES



Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO, y no comprometen a la Organización.



Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International
CC BY-NC-SA 4.0 license