

Metodología Integrada de Ingeniería de Ríos del *National Center for Computational Hydroscience and Engineering*, (NCCHE) aplicada al río Papagayo

CARDOSO-LANDA Guillermo*†`

`Instituto Tecnológico de Chilpancingo. Av. Guerrero # 81, Col Ruffo Figueroa, Chilpancingo, Guerrero, México.

Recibido Julio 14, 2014; Aceptado Enero 14, 2015

Resumen

En los ríos de México escurren aproximadamente 400 kilómetros cúbicos de agua anualmente, incluyendo las aguas que entran desde los países vecinos y descontando los que salen hacia ellos. Aproximadamente 87% de este escurrimiento ocurre en 39 ríos principales, cuyas cuencas ocupan cerca del 58% de la extensión territorial continental. Los ríos que acaparan el 65% del escurrimiento son el Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá (cuyas cuencas en conjunto totalizan el 22% del territorio nacional). Los ríos Balsas y Santiago pertenecen a la vertiente del Pacífico y los otros cinco a la vertiente del golfo de México. Por su longitud destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. A lo largo de estos 39 ríos principales de México y en las 667 grandes presas operando en el país de México se mueve una cantidad importante de sedimentos, que no se han cuantificado de manera precisa en nuestro país y que provocan grandes problemas de inundaciones, desastres y en general, problemas hidrológicos e hidráulicos, que requieren resolverse teniendo como datos los resultados obtenidos al efectuar el análisis integral de los ríos, obteniendo, entre otros, el transporte de sedimentos a través de ellos.

Ingeniería, Ríos, NCCHE, Río Papagayo

Abstract

In Mexico's rivers drain about 400 cubic kilometers of water annually, including the waters that come from neighboring countries and discounting those leaving to them. Approximately 87% of this runoff occurs in 39 major rivers, the basins occupy about 58% of the continental land area. The rivers account for 65% of runoff are the Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago and Tonalá (whose basins together account for 22% of the country). The Balsas and Santiago rivers belong to the Pacific side and five on the slope of the Gulf of Mexico. By highlighting the Bravo length and Grijalva-Usumacinta rivers. Throughout these 39 major rivers in Mexico and 667 large dams operating in the country of Mexico a significant amount of sediment, which have not been quantified accurately in our country and causing major flooding problems, disasters moves and in general, hydrologic and hydraulic problems needing solved taking as data the results obtained upon comprehensive analysis of rivers, receiving, among others, sediment transport through them.

Engineering, Rivers, NCCHE, Papagayo River.

Citación CARDOSO-LANDA Guillermo. Metodología Integrada de Ingeniería de Ríos del *National Center for Computational Hydroscience and Engineering*, (NCCHE) aplicada al río Papagayo. *Foro de Estudios sobre Guerrero*. Mayo 2014 – Abril 2015, 1-2:117-122

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: gclanda@prodigy.net.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En los ríos de México escurren aproximadamente 400 kilómetros cúbicos de agua anualmente, incluyendo las aguas que entran desde los países vecinos y descontando los que salen hacia ellos. Aproximadamente 87% de este escurrimiento ocurre en 39 ríos principales, cuyas cuencas ocupan cerca del 58% de la extensión territorial continental. Los ríos que acaparan el 65% del escurrimiento son el Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá (cuyas cuencas en conjunto totalizan el 22% del territorio nacional). Los ríos Balsas y Santiago pertenecen a la vertiente del Pacífico y los otros cinco a la vertiente del golfo de México. Por su longitud destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. A lo largo de estos 39 ríos principales de México y en las 667 grandes presas operando en el país de México se mueve una cantidad importante de sedimentos, que no se han cuantificado de manera precisa en nuestro país y que provocan grandes problemas de inundaciones, desastres y en general, problemas hidrológicos e hidráulicos, que requieren resolverse teniendo como datos los resultados obtenidos al efectuar el análisis integral de los ríos, obteniendo, entre otros, el transporte de sedimentos a través de ellos.

Objetivos

1. Determinar el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos del río Papagayo
2. Determinación del gasto ecológico del río Papagayo
3. Inundaciones a lo largo del río Papagayo
4. Obtención del transporte de sedimentos del río Papagayo
5. Aplicación de la Metodología Integrada de Ingeniería de Ríos (MIIR) al río Papagayo

Metodología**1 Modelado computacional**

Con las metodologías de solución numérica avanzadas y la tecnología informática potente actual, se han resuelto los modelos matemáticos de hidrosistemas no lineales en forma realista. Adicionalmente con las ciencias computacionales y las tecnologías de la información, tales como los SIG (sistema de información geográfica), GUI (interfaz gráfica de usuario), visualización científica, visualización de realidad virtual, etc., se han aplicado al desarrollo de pre- y post-procesadores de modelos de simulación computacional. Los paquetes de software resultante han sido no sólo potentes y con ambiente amigable, sino también eficientes y rentables.

Como resultado, los modelos de simulación computacionales han sido elaborados y aplicados cada vez más a la investigación y el diseño de la ingeniería de ríos. Últimamente, algunos de estos modelos también se han aplicado para apoyar la toma de decisiones en la planificación y gestión de los recursos hídricos de los ríos. No es sorpresa que el modelado computacional haya sido la metodología más elegida por los ingenieros de ríos recientemente. Ha sido llamado incluso la herramienta de ingeniería y de investigación del siglo XXI. Sin embargo, la falta de control de calidad de algunos de los modelos computacionales en el mercado ha causado serias preocupaciones acerca de su exactitud y fiabilidad.

2 Ingeniería de ríos por metodología integrada (MIIR)

Hoy en día, para llevar a cabo proyectos de ingeniería de ríos, se deben tomar en cuenta muchos factores antes de finalizar el plan integral.

Estos factores incluyen la hidrología, el cambio climático, la hidrodinámica, mecánica estructural, geo-tecnología, transporte de sedimentos, morfología, transporte de contaminantes, calidad del agua, ecología y calidad ambiental, rentabilidad, efectos sobre la economía, la sociedad y las partes interesadas, entre otros. Además, los efectos del proyecto sobre áreas conectadas dentro de una cuenca hidrográfica o cuenca del río, así como su impacto sobre ambas durante un largo período de tiempo debe ser considerado. Ya no es aceptable resolver un problema de ingeniería de ríos en un área pequeña temporalmente, porque de las lecciones aprendidas en el pasado, estas soluciones temporales y localizadas de más bajo costo, han traído más problemas y efectos adversos a la región más grande afectada por un largo tiempo. Como resultado, ha costado mucho más para corregir los errores. Por lo tanto, un estudio amplio y multidisciplinario tiene que llevarse a cabo, antes de que el mejor plan sea aplicado, a fin de satisfacer a un gran número de funciones objetivas tanto como sea posible y en el ínter, que se cumplan las restricciones necesarias. Debido al hecho de que algunos de los objetivos o restricciones son mutuamente contradictorias, las metodologías de optimización sofisticada tienen que aplicarse a este complicado proceso de toma de decisiones. Para llevar a cabo esta tarea de toma de decisiones de planificación y diseño de proyectos de ingeniería de ríos se tiene que aplicar un gran número de modelos computacionales. Algunos ejemplos de ellos se ilustran en el siguiente esquema de la Figura 1.

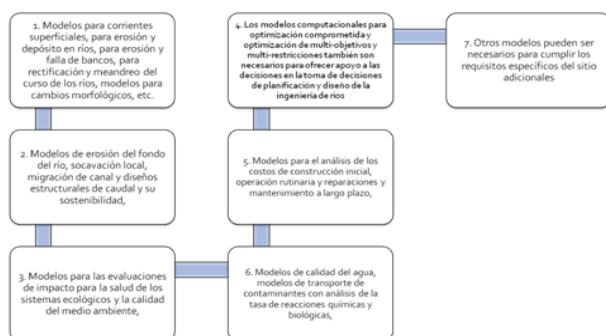


Figura 1 Modelos computacionales aplicables en la Metodología Integrada de Ingeniería de Ríos (MIIR)

3 El *NCCHE* de la Universidad de Mississippi, USA

El Centro Nacional para Hidrociencia e Ingeniería Computacional (*National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE*) de la Universidad de Mississippi, en Estados Unidos ha estado trabajando durante los últimos diez años en la integración de modelos computacionales avanzados que van a la vanguardia de la tecnología para llevar a cabo investigación y diseño de ingeniería de ríos. Una de las prácticas que se destacó especialmente en el *NCCHE* es el requisito de llevar a cabo un proceso de verificación y validación de modo integral para cada modelo antes de que sea usado como un módulo del modelo integrado, por lo que es seguro de que todos los módulos son matemáticamente correctos y capaces de reproducir todos los procesos físicos básicos.

Este es el enfoque, que ha sido utilizado para completar varios estudios de ingeniería de ríos de manera satisfactoria. Algunos ejemplos típicos son: el río Mississippi, el diseño del sistema para mejorar la navegabilidad del Victoria Bendway (Jia/Wang, 2002; Xu/Wang/Jía 2003), el río Arkansas, el diseño de campo del dique de mid-reach, entre otros. Se llevaron a cabo otras aplicaciones en estudios de inundaciones por rotura de presas, estudios de morfología y transporte de sedimentos costeros, etc. Algunas de las investigaciones recientes más importantes relativas al transporte de sedimentos ha sido desarrollada por el Centro Nacional para Hidrociencia e Ingeniería Computacional (*National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE*) de la Universidad de Mississippi, en Estados Unidos.

Los investigadores de este centro han desarrollado ecuaciones que permiten determinar las capacidades del transporte de sedimento en ríos, tanto para el transporte de fondo como el transporte de sedimento en suspensión; las cuales toman en consideración tanto los efectos visibles como los efectos ocultos a través de distintos tamaños de clase. Asimismo también se desarrollaron ecuaciones para el cálculo de los depósitos de sedimento considerando la porosidad, la velocidad y la rugosidad variable del fondo sobre taludes empinados. Estas ecuaciones fueron calibradas usando una gran cantidad de datos que incluyen mediciones de campo y datos experimentales.

Resultados

1 Aplicación de la Metodología Integrada al río Papagayo

Se aplicó la metodología integrada a uno de los ríos más importantes en el sur del país de México, que es el río Papagayo, cuya descarga es al Océano Pacífico, en las costas del Estado de Guerrero. El Estado de Guerrero está situado al sur de la República Mexicana sobre el Océano Pacífico y se localiza entre los 16° 18' y 18° 48' de latitud norte y los 98° 03' y 102° 12' de longitud oeste. Si bien la totalidad de su territorio se encuentra en la zona intertropical, su compleja geografía posibilita la existencia de múltiples tipos climáticos. La Cuenca del Río Papagayo, es la cuenca más importante de esta región y reúne las aguas de los ríos Omitlán, Azul o Petaquillas y Papagayo; este último desemboca en las aguas del Pacífico, dentro de esta cuenca se ubica la Presa Hidroeléctrica La Venta.



Figura 2 Área de estudio y Cuenca hidrológica del río Papagayo

2 Impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos del río Papagayo

Se analizó el cambio climático global esperado para los años 2050 y 2080 sobre los escurrimientos del río Papagayo en los 4 diferentes escenarios propuestos por el IPCC en relación a la precipitación, obteniéndose que incluso todo su ciclo hidrológico se verá afectado de manera significativa en la disponibilidad del recurso agua, en particular debido a la influencia de la ciudad de Chilpancingo. Los porcentajes de variación de la precipitación utilizados se generaron a partir de la respuesta media de 10 modelos recientes de simulación para climas globales, y dichas simulaciones fueron realizadas por 7 laboratorios climáticos localizados en 6 países diferentes. En base a la información disponible de las estaciones climatológicas las tendencias de cambio climático con los porcentajes de variación de la precipitación resultantes permitieron obtener 14 ecuaciones de variación del porcentaje de disminución del gasto con respecto al porcentaje de disminución de la precipitación (Cardoso-Landa et al., 2012).

3 Determinación del gasto ecológico del río Papagayo

Existe una abundante variedad de metodologías utilizadas para el cálculo de caudales ambientales o ecológicos, con diferentes criterios, objetivos e intereses. En la actualidad existen aproximadamente 133 metodologías, con más de 208 aplicaciones reales en unos 44 países. Esta gran cantidad de metodologías han sido analizadas y clasificadas de diferentes formas; las más aceptadas y de mayor importancia se pueden agrupar en los siguientes métodos: Métodos Hidrológicos, Métodos Hidráulicos, Método de Simulación de Hábitat y Métodos Holísticos.

Para la determinación del caudal ecológico en el río Papagayo se seleccionó la metodología holística de *Downstream Response to Imposed Flow Transformations* (DRIFT), desarrollada por King en 2003, cuyo nombre en español es Respuesta río abajo por la transformación impuesta al caudal. Es una metodología holística, fue desarrollada en Sudáfrica para situaciones complejas y grandes proyectos. Comprende todos aquellos aspectos que interactúan en los sistemas fluviales, brinda un enfoque integral de las alteraciones que pueden ocurrir río abajo en diferentes escenarios de regímenes de caudal, de tal forma que los tomadores de decisiones podrán decidir la mejor opción conociendo las respuestas del ecosistema, bajo diferentes alternativas de manejo del caudal. Esta metodología incluye elementos biológicos, hidrológicos, hidráulicos, sociales y económicos, que le brindan gran potencial para su aplicación, en sistemas fluviales donde el desarrollo de obras de infraestructura repercuten en los medios de subsistencia de las poblaciones locales. Un elemento innovador de esta metodología es el componente socioeconómico y la versatilidad de poder incluir o no módulos de acuerdo con la realidad del sitio en estudio.

4 Inundaciones a lo largo del río Papagayo

Para determinar las inundaciones sobre el río Papagayo en el mes de septiembre del año 2013 durante la presencia de la tormenta tropical Manuel y el huracán Ingrid, se está aplicando la metodología propuesta por *The Flood Risk Management Research Consortium (FRMRC)*, desarrollado por un conjunto de instituciones académicas del Reino Unido durante el periodo de 2004 a 2008. En particular se está aplicando el modelo computacional llamado SWP 3 Urban Flood Modeling y desarrollado recientemente dentro del *FRMRC* por *The Centre for Water Systems at University of Exeter*.

5 Transporte de sedimentos del río Papagayo

Después de revisar algunos de los modelos de transporte de sedimentos recientemente desarrollados y comparar sus fundamentos, ecuaciones y rangos de aplicación con las características de algunos ríos más importantes de México, se estableció que los modelos de transporte de sedimentos propuestos recientemente por el Centro Nacional para Hidrociencia e Ingeniería Computacional (National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE) de la Universidad de Mississippi, en Estados Unidos pueden ser aplicados en estos ríos, siendo necesaria su aplicación, calibración y comparación de resultados obtenidos, lo cual se encuentra en desarrollo y se presentará en trabajos posteriores. El primer paso fue obtener el modelo digital de elevación (MDE) del río Papagayo, el cual fue adquirido en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI). El siguiente paso fue la importación del MDE mediante codificación ASCII dentro de la malla del programa CCHE-MSH, para finalmente aplicar el modelo CCHE2D del NCCHE y cuantificar el transporte de sedimentos del río Papagayo, como se muestra en la figura 3.

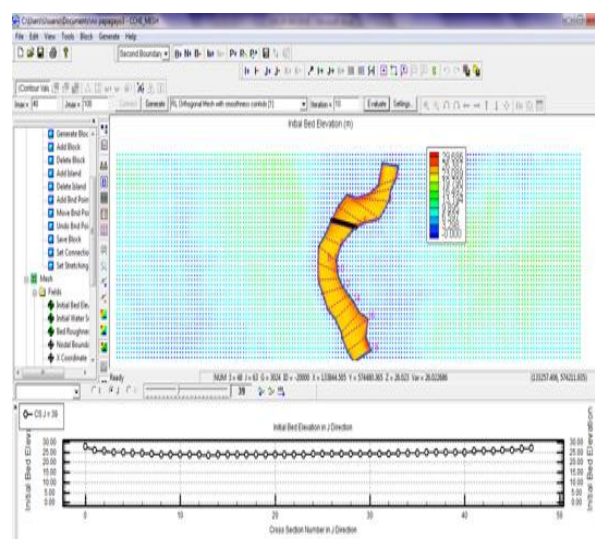


Figura 3 Modelo CCHE2D aplicado al río Papagayo

Conclusión y discusión

Como se aprecia en la sección de resultados, se encuentra en aplicación la Metodología Integrada de Ingeniería de Ríos (MIIR) a uno de los ríos más importantes del sureste de México, que es el río Papagayo con resultados alentadores, que permiten identificar la importancia de la aplicación de esta metodología a cualquier río del mundo. Con los resultados obtenidos se podrán diseñar y construir obras de ingeniería civil fluvial sobre este río y se diseñarán sistemas de alertamiento para disminuir los desastres provocados por inundaciones a lo largo del río Papagayo (Duncan et al., 2013).

Es importante destacar que el presente es el primer caso en México en donde se aplica la Metodología Integrada de Ingeniería de Ríos a un río mexicano, así como que es la primera ocasión en nuestro país en que se utilizan los modelos del *NCCHE* para la determinación del transporte de sedimentos en un río mexicano y también por primera ocasión se aplica el modelo computacional *SWP 3 Urban Flood Modeling* en la obtención de las zonas de inundación por desbordamiento de un río en México.

Referencias

Cardoso-Landa G., Adame-Porras, R. y Rodríguez-García, J. (2012). Estimation of the Climate Change impacts over the Water Resources of a River Basin, Proceedings of World Congress on Water, Climate and Energy, IWA.

Duncan A, Chen A, Keedwell EC, Djordjević S, Savić D. (2013). RAPIDS: Early Warning System for Urban Flooding and Water Quality Hazards Machine, Learning in Water Systems symposium, AISB.

Ghimire B, Chen AS, Guidolin M, Keedwell EC, Djordjević S, Savić DA. (2013). Formulation of fast 2D urban pluvial flood model using cellular automata approach, Journal of Hydroinformatics, volume 15, no. 3, pages 676-686.

Hammond MJ, Chen AS, Djordjević S, Butler D, Mark O. (2013). Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review, Urban Water Journal, pages 1-16.

Vieira and Wu. (2002). National Center for Computational Hydroscience and Engineering (NCCHE). University of Mississippi, USA. Technical report No. NCCHE-TR-2002-5