

5

ARTÍCULO CIENTÍFICO

APLICACIÓN DE MODELOS TECNOLÓGICOS EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Fecha de recepción 1 de julio del 2022 - Fecha de aprobación 31 de agosto del 2022

Autor :

Mamani Alemán Julio César

Ingeniero de Recursos Hídricos
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho
Master in hydrology and management of water resources
University of Alcalá and King Juan Carlos University

Correspondencia del autor:

julio-cesar-ma@hotmail.com - julio.mamani@edu.uah.es
Celular: (+34) 633571322 – (+591) 61369814

RESUMEN

El presente artículo describe la importancia e influencia de los modelos tecnológicos aplicados a la gestión de los recursos hídricos, destacando el avance tecnológico mundial y sus grandes aportes a la modelación de escenarios, fortaleciendo los amplios conocimientos en el mundo de estudio de los recursos naturales y en especial el recurso agua.

Así también se muestra la relación íntima de modelos tecnológicos avanzados en formato BIM (Building Information Modeling) y aplicaciones tecnológicas propuestas por entidades como el BID (Banco Interamericano de Desarrollo) a través de su software HydroBID, el cual se establece como una herramienta tecnológica sofisticada para la gestión integral de los recursos hídricos en general, considerando un escenario en América Latina y el Caribe.

PALABRAS CLAVE

Recursos hídricos, Modelos tecnológicos, Gestión Integral.

INTRODUCCIÓN

Tal como lo menciona el fondo para la comunicación y educación ambiental AC, Las tecnologías han jugado un papel fundamental en la historia del manejo del agua, a nivel mundial.

Actualmente la problemática del agua se ha acrecentado; el crecimiento poblacional, el avance de la frontera agrícola, ganadera y urbana, la deforestación, el cambio climático y la mala planeación en su gestión, han llevado a este recurso a una crisis.

Los avances tecnológicos, describen escenarios de constantes cambios, los cuales son el resultado de diferentes competencias comerciales y de desarrollo inteligente.

Los aportes de estos medios tecnológicos son muy valorados en todos los ámbitos y ciencias, considerando que, en la actualidad, las ciudades del mundo, en especial las capitales y ciudades desarrolladas a nivel mundial, planifican y gestionan sus recursos, promoviendo una cultura denominada “ciudades y sociedades inteligentes”, las cuales son el resultado de la aplicación, utilización y promoción de recursos tecnológicos, claves para una gestión eficiente e “inteligente”.

Cuando se hablan de modelos tecnológicos aplicados en los recursos hídricos, se deben entender al igual que la descripción anterior, conceptos muy parecidos, en los cuales se utilizan ciertos recursos tecnológicos para una gestión eficiente del recurso agua.

También se debe entender que estos medios o plataformas tecnológicas, generan de manera instantánea un grado de interacción práctica, tal es el caso de la metodología BIM (Building Information Modeling), con la cual la modelación a pasado a ser un componente muy práctico y altamente útil, considerando una aproximación a una realidad, la cual proyecta al modelado como un escenario con facilidad de análisis, interpretación y modificación constante, permitiendo construir un modelo único con capacidades únicas de procesamiento de datos e información, las cuales permiten generar una línea única y sofisticada de aprovechamiento tecnológico.

Por otra parte, así también y gracias al desarrollo de plataformas como el HydroBID, el cual es un sistema de base de datos y modelado, que comprende módulos de hidrología y análisis climático para estimar la disponibilidad (volúmenes y flujos) de agua en el ámbito regional, a nivel cuenca y subcuenca.

Fusionar elementos tecnológicos, es la metodología futurista, en la cual se pretende integrar la información para producir un modelo totalitario y único, que nos permita interpretar, proyectar, programar, gestionar, explotar y pre-

servar los recursos naturales y en especial el líquido elemento, es una misión promovida por varias instituciones a nivel mundial.

La era de los softwares aplicados a la ingeniería de los recursos naturales a generado una gran confusión, puesto que muchos de estos modelos, no son compatibles con las realidades de las zonas de interés, en especial al contexto latinoamericano. Muchas de estas plataformas en su momento promovieron el interés en su conocimiento y manejo, pero no así generaban aportes integrales, aplicables a los contextos de nuestra región.

Hablar de modelos hidrológicos tales como el HEC-RAS, HEC-HMS, HIDROGNOMON, etc, pasaron a ser componentes de otros softwares, los cuales, por su relación funcional, permiten profundizar los análisis hidrológicos o escenarios de interés en la temática. La mayoría de los softwares en el campo del estudio de la hidrología, se fusionan con softwares de proceso cartográfico y análisis gráfico como ArcGIS y sus componentes para generar modelos más “integrales”, además de ser más descriptivos para su interpretación.

Ahora, tras lo mencionado con anterioridad, se debe entender que estamos entrando en una nueva era de adaptación acelerada sobre el uso de ciertos softwares, los cuales cada vez se hacen más fáciles de aprender y de aplicar, según nuestras ambiciones profesionales. Esto incurre a una nueva era de la información, la cual debe ser necesariamente aplicada en la formación de profesionales, presionando de manera directa a la actualización de los educadores universitarios, los cuales deben estar al tanto de todos los recursos adaptables a los objetivos propuestos en la formación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente artículo muestra un análisis descriptivo de la aplicación de modelos tecnológicos en la gestión de los recursos hídricos a través de la metodología BIM como una herramienta altamente potencial que comprende una serie de programas de diseño gráfico avanzado.

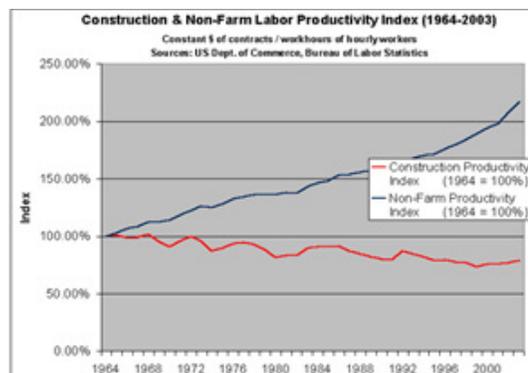
RESULTADOS

La metodología BIM, relacionado con los componentes en la gestión de los recursos hídricos.

La descripción de este punto de interés fue colectado y adaptado desde el artículo denominado “introducción a la metodología BIM”, propuesta por Felipe Cholán Gámez, 2015.

BIM (Building Information Modeling) es un nuevo acercamiento al diseño, construcción y gestión de las edificaciones. Se trata de una metodología que ya ha comenzado a cambiar la manera en la que se ven las edificaciones, cómo estas funcionan y la manera en la que los mismos se construyen. Se podría pensar en la Revolución Industrial del siglo XXI en lo que a la industria de la construcción se refiere. De hecho, si examinamos la situación de la industria de la construcción en Estados Unidos en comparación con el resto de industria no agrícola o ganadera vemos que la construcción ha ido decreciendo en productividad frente al resto, que han ido aumentando su productividad, como muestra la figura 1.

Figura 1. Construcción no agrícola laboral en los años 1964 a 2003, colectado desde (U.S. DEPARTAMENTO OF COMMERCE, 2022)



Las prácticas tradicionales contribuyen a pérdidas innecesarias y errores. Esta ineficacia se ve plasmada en el gráfico anterior. El impacto de un flujo pobre de información y la redundancia se refleja en los resultados de un estudio realizado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (National Institute of Standards and Technology – NIST) (USA).

Este estudio trata de identificar los costos adicionales en los que incurre el propietario de una edificación como resultado de una inadecuada interoperabilidad. El mencionado estudio incluye tanto el intercambio de información como la gestión de la misma; en la que sistemas individuales son incapaces de acceder y usar la información proveniente de otros sistemas.

En la industria de la construcción, la incompatibilidad entre sistemas generalmente impide que los miembros del equipo de proyecto puedan intercambiar la información de manera precisa y rápida; este hecho es la causa de numerosos problemas en el proyecto como pueden ser el aumento de costos y plazos.

La adopción de una metodología BIM y el uso de modelos digitales integrados durante todo el ciclo de vida de la edificación supone un paso en la buena dirección para la eliminación de costos resultantes de una incorrecta interoperabilidad de datos.

Pero el simple hecho de utilizar un modelo digital no es suficiente. Se deben incorporar nuevos procesos y adaptar los ya existentes. Esto, siguiendo con la analogía de la Revolución Industrial, supone un cambio cultural y sociológico en la manera de entender el ciclo de vida del proceso constructivo.

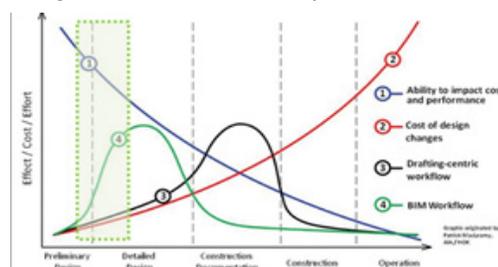
Esta última afirmación es vital para entender que no solo estamos hablando de nueva tecnología o de evolución de la ya existente, estamos hablando de nuevos procesos de trabajo o necesidad de adaptación de los existentes. Existe una cita para explicar este hecho: “BIM es 10% tecnología y 90% sociología”.

Después de esta breve explicación, y habiendo definido el concepto de BIM desde un punto de vista global en el apartado anterior, podríamos aproximar la definición del término a un “*Conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizadas por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando uno o más modelos compatibles que contengan toda la información en lo referente a la edificación que se pretende diseñar, construir u operar*” (Coloma, E. 2010).

El objetivo final de la metodología BIM es evitar la pérdida de valor de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto con el método tradicional existente, y que obliga a un mayor esfuerzo de producción de información en las distintas fases del proyecto.

El proceso de trabajo en BIM mantiene una línea de constante crecimiento del valor de la información frente a la rotura y pérdida de información en el proceso tradicional. Para la realización de esta premisa de no perder valor de la información se precisa un cambio en el proceso de toma de decisiones para que estas sean tomadas en edades tempranas donde la capacidad de influir positivamente en el costo final de un edificio es muy alta frente al costo de ejecutar una acción que es muy bajo. Este paradigma se refleja en la ya conocida como Curva de MacLeamy, debido a la difusión que le dio su autor:

Figura 2. Curva de MacLeamy, colectado desde



(<https://millercoiberica.com/curvas-de-decision-bim-como-afecta-una-mala-decision-segun-la-etapa-del-proyecto-en-que-se-genera/>)

En esta gráfica se comparan las curvas del esfuerzo en un proceso tradicional frente a un proceso BIM con respecto a la capacidad de influir en el costo final con un cambio y el costo de dicho cambio a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura. Esta realidad ha llevado a nuevas metodologías de desarrollo del proyecto como puede ser la Entrega Integrada de Proyecto (IPD) (Integrated Project Delivery) difundida por el Instituto Americano de Arquitectos (AIA). Se trata de una alianza de colaboración entre personas, sistemas, estructuras de negocio y prácticas en un proceso que aprovecha los talentos y puntos de vista de todos los participantes para optimizar el resultado del proyecto, aportar mayor valor al propietario, reducir los residuos, maximizar la eficiencia a lo largo de todas las fases de diseño, fabricación y construcción.

Existen ocho tareas secuenciales principales en el método del IPD:

- **Fase de Conceptualización (Programación ampliada):** Determinar; QUÉ, QUIÉN y CÓMO se va a construir.
- **Fase de Criterios de Diseño (Desarrollo del diseño esquemático):** Durante los criterios de diseño, el proyecto empieza a tomar forma. Las principales opciones son evaluadas, probadas y seleccionadas.
- **Fase de Diseño Detallado (Desarrollo del diseño ampliado):** La fase de diseño detallado concluye el QUÉ de la fase del proyecto. Durante esta fase, todas las decisiones clave de diseño quedarán resueltas. Comprende gran parte de lo que queda de la fase de Proyecto de Ejecución en la práctica tradicional, por lo que la fase de diseño detallado implica mucho más esfuerzo que la fase de desarrollo del diseño tradicional.
- **Fase de Implementación de Documentos (Documentos de construcción):** Durante esta fase, el esfuerzo se desplaza del QUÉ está siendo creado para documentar CÓMO se implementará. El objetivo de la fase (ID) de identificación es completar la determinación y documentación de CÓMO se implementarán las condiciones de diseño, si no se modificarán o si se desarrollarán. Esta fase genera los documentos que terceros utilizarán para autorizar, financiar y establecer fines reglamentarios. Debido a que la fase de diseño detallado concluye con el diseño y todos los sistemas de construcción "definidos, coordinados y validados", la fase de Documentos de Implementación comprende menos esfuerzo que la fase de Proyecto de Ejecución tradicional.
- **Fase de Revisión de Agentes:** El uso temprano de BIM, y la validación por las Administraciones acorta el proceso final de la obtención de los permisos. La revisión por parte de las Administraciones comienza al inicio de los criterios de diseño.

Esta participación temprana minimiza los comentarios de las Administraciones y los cambios necesarios en el diseño que se presentó para la obtención de los permisos.

Los modelos tienen la capacidad de proporcionar información acerca de la construcción, ya sea directamente o a través de bases de datos vinculadas que pueden agilizar la supervisión del proyecto por parte de la Administración, de acuerdo a los criterios normativos.

- **Fase de Adquisición:** IPD asume la participación temprana de los contratistas y proveedores, por lo que la adquisición de los paquetes de trabajo se produce en función de la variación de los precios en las fases de diseño, definido en los Documentos de Implementación. La fase IPD de Adquisiciones es mucho más breve que en los métodos tradicionales de entrega, ya que la mayor parte del trabajo ya está contratado con anterioridad.

- **Fase de Construcción (Administración de Contratos de Construcción):** En la fase de construcción, se observan los beneficios del proceso integrado. En los métodos tradicionales, los arquitectos consideran en su contrato de construcción la etapa final de diseño como la última oportunidad para abordar las cuestiones y alcanzar soluciones.

Pero en la Entrega Integrada de Proyectos, el diseño y su implementación se finalizan durante el diseño. Por lo tanto, la administración del contrato de construcción es principalmente una función de control de calidad y control de costos. Debido al mayor esfuerzo realizado en las fases de diseño, la construcción bajo IPD será mucho más eficiente.

- **Fase de Liquidación:** El modelo inteligente en 3D ya puede ser entregado a su propietario. El cierre de un proyecto integrado depende en gran medida de las condiciones de negocio acordados por las partes. Por ejemplo, si la estructura de negocio contiene incentivos de compensación o sanciones, la liquidación incluye sus cálculos.

Algunos problemas, sin embargo, como las obligaciones de garantía, de ocupación, y la notificación de finalización, permanecen sin cambios debido a los requisitos reglamentarios y legales. Otras cuestiones, como la corrección de la lista de verificación, no se ven afectadas de manera significativa por la IPD.

- **Gestión de las Instalaciones:** A partir del momento en el que se entrega el modelo al cliente, éste puede hacer uso del mismo para facilitar las labores de mantenimiento de las instalaciones, facilitando la gestión del Facility y de la gestión de activos inmobiliarios. La adopción de IPD como un estándar para la buena práctica de colaboración en proyectos de construcción presenta sus propios problemas.

Como la mayoría de los proyectos de construcción implican actores dispares, las soluciones de TI tradicionales no son propicias para el trabajo colaborativo.

Compartir archivos adjuntos de gran tamaño, detrás de cortafuegos, mediante correo electrónico y la posibilidad de ver todo tipo de tipos de archivo sin el software nativo de todo, hacen que el IPD no sea sencillo.

La necesidad de superar los retos de colaboración ha sido uno de los factores que impulsan el crecimiento de la tecnología de colaboración en la industria de la construcción y hace más necesario una adecuada gestión de los procesos involucrados en los proyectos.

Hydro-BID: Nuevas funcionalidades

En este apartado describiremos información colectada desde los módulos de simulación de embalses, transporte de sedimentos y aguas subterráneas propuestas por el Banco interamericano de desarrollo "BID".

El sistema HydroBID tiene tres componentes principales: la Base de Datos de Hidrografía Analítica (AHD), la base de datos y el modelo de hidrología. La Figura 3, muestra una representación esquemática del Sistema integrado Hydro-BID para una simulación cuantitativa de hidrología y cambio climático.

El Sistema se construye sobre la base de datos de Hidrología Analítica (Analytical Hydrographic Dataset, AHD) para las regiones de América Latina y el Caribe.

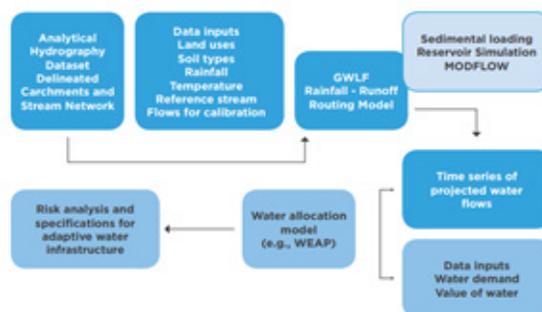
HydroBID utiliza la estructura de datos y las topologías de red de cuencas y corrientes de la AHD. La base de

datos incorpora las cuencas AHD y sus propiedades tales como áreas de drenaje, longitud de ríos, pendiente, uso de tierras, tipos de suelos, precipitaciones y temperatura dentro del área de estudio. La versión actual de la base de datos está organizada en SQLITE.

El modelo hidrológico conocido como HydroBID, el cual se basa en una mejora del Factor de Carga de Cauces Generalizados (GWLF, por sus siglas en inglés) en conjunto con una metodología nueva de tiempo de retardo - enrutamiento (lag - routing), desarrollada por RTI.

HydroBID también incluye una interfaz de pre-procesador para interpolar la data de las series de tiempo diarias de temperatura y precipitación de las estaciones en cuencas de captación, siendo ésta la forma requerida para la entrada de datos climáticos.

Figura 3. Funcionalidad del software HydroBID, colectado desde,



Fuente: <http://corebe.org.ar/web2015/HydroBID/NT3.pdf>

En la versión actual de Hydro-BID, se han implementado módulos adicionales. Una vez que los módulos son seleccionados para ser incluidos en la simulación, estos módulos funcionan a la perfección con el modelo original de lluvia-escorrentía. Los tres módulos son:

- 1) La simulación de reservorios,
- 2) El transporte de sedimentos y;
- 3) la interacción de aguas superficiales y subterráneas usando MODFLOW.

Mientras los dos primeros módulos están integrados dentro del modelo Hydro-BID, el módulo de interacción de las aguas superficiales y subterráneas requiere de un modelo externo de aguas subterráneas, MODFLOW.

El vínculo entre Hydro-BID y MODFLOW se logra corriendo los dos modelos de manera secuencial y compartiendo los archivos de datos de entrada (input)/salida (output).

Además de los nuevos módulos, la interfaz gráfica de usuario (GUI) de Hydro-BID se ha mejorado significativamente. La mejora incluye agrupar tareas en pestañas de configuración de modelo, ahorros en los parámetros de calibración, y herramientas especiales, así como la visualización gráfica extensa de los resultados/outputs.

Los resultados/output del modelo se generan como una serie de tiempo de los caudales de agua proyectados, en una escala diaria o mensual. El sistema tiene una interfaz gráfica de usuario (GUI) para aceptar la entrada/input al modelo, así como para mostrar un resumen de resultados gráficos y tabulares. Hydro-BID ha sido desarrollado para servir de herramienta clave de planificación para:

- Agencias de planificación y gestión de recursos hídricos;
- Autoridades de control de drenaje/inundación;
- Autoridades de irrigación;
- Productores de energía hidroeléctrica.
- Servicios de suministro de agua y saneamiento y Usuarios industriales de agua.

DISCUSIÓN

Sin duda alguna, hablar de estos dos elementos nos genera cierta incertidumbre, ya que ambos modelos son tan diferentes a la vez como tan alineados al mismo tiempo, considerando que dentro de poco tiempo la integralidad de la información, permitirá generar una serie de estructuras y/o edificaciones estratégicas a nivel cuenca para la gestión de los recursos hídricos a nivel mundial, en especial para un aprovechamiento racional e inteligente, esto en base a un modelo tecnológico práctico e interactivo.

La metodología BIM permitirá generar información detallada sobre la funcionalidad de las estructuras hidráulicas generales, las cuales estarán sugeridas tras los análisis arrojados por parte del software hydroBID, tomando en cuenta que esta integralidad estará abordada no solo por este tipo de plataformas, sino más al contrario, se fusionarán con otros mecanismos minoritarios, los cuales permitirán generalizar un modelo único de gestión de recursos hídricos, es por tanto que es necesario seguir en la búsqueda de una nueva forma de gestión de la información a nivel cuenca, como también en una adaptación general de los modelos desarrollados a la fecha, considerando que estos modelos pueden ser la clave mundial para poder gestionar los recursos hídricos superficiales y subterráneos del planeta, con visión a la solidaridad de los pueblos, la generación de la conciencia racional y conservacionista del medio ambiente y el desarrollo tecnológico útil y aplicable para la soluciones de problemáticas de índole mundial.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Podemos concluir los siguientes criterios.

Conclusiones:

- El uso de la tecnología es una realidad, la cual avanza sin parar, exigiendo una capacitación constante en todas las ramas del saber.
- El uso de modelos tecnológicos está en un proceso de adaptabilidad y/o adecuación a entornos más reales y complejos.
- La abundancia de softwares de origen hidrológico y/o tecnológico, están resumiendo procesos tediosos de estimación, pero que si no son bien proyectados pueden desorientar los verdaderos fines de las investigaciones.
- La metodología BIM es una herramienta altamente potencial, comprendida en una serie de programas de diseño gráfico avanzado y con un manejo de información estratégica, resumiendo tareas y generando soluciones prácticas a problemas complejos.

Recomendaciones:

- Se recomienda ampliar la búsqueda de información sobre los modelos tecnológicos.
- Se propone relacionar la finalidad funcional de otros softwares, bajo la misma condición propuesta en el presente trabajo.
- Generar una serie de cuestionantes, estas referidas a como los modelos tecnológicos podrían contener fallas/errores en las estimaciones realizadas.
- Profundizar la potencialidad de los modelos tecnológicos propuestos, para suponer una única herramienta altamente potencial para la gestión de los recursos hídricos subterráneos y superficiales.

BIBLIOGRAFÍA

Coloma, Eloy. Definir BIM, Model, Representació i Vista. s.l.: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona. Universidad Politecnica de Barcelona, 2010.

Eastman C. y otros, 2011, BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, 2ª Edición, Hokoben NJ, John Wiley & Sons.

BSI, 2013, PAS 1192-2:2013 INCORPORATING CORRIGENDUM No.1 Specification for Information Management for the Capital/Delivery Phase of construction projects using Building Information Modeling, London, The British Standards Institution.

Richardas, M., 2010, Building Information Management, a Standard Framework and Guide to BS1192, London, The British Standards Institution.

