



Entramado
ISSN: 1900-3803
ISSN: 2539-0279
Universidad Libre de Cali

Castañeda-Parra, Karen Milady; Sánchez-Rivera, Omar Giovanny; Porras-Díaz, Hernán
Planificación del flujo de caja de proyectos de construcción basada en BIM y dinámica de sistemas *
Entramado, vol. 17, núm. 1, 2021, Enero-Junio, pp. 272-288
Universidad Libre de Cali

DOI: <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6305>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265467418019>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Planificación del flujo de caja de proyectos de construcción basada en BIM y dinámica de sistemas *

Karen Milady Castañeda-Parra

Investigadora. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia.
karencasta.ing@outlook.es

ID <https://orcid.org/0000-0003-3783-6293>

Omar Giovanny Sánchez-Rivera

Investigador. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia.
omar.sanchez@correo.uis.edu.co

ID <https://orcid.org/0000-0001-6070-3910>

Hernán Porras-Díaz

Investigador. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia.
hporras@uis.edu.co

ID <https://orcid.org/0000-0001-9402-9995>

RESUMEN

La planificación del flujo de caja de un proyecto de construcción es una actividad decisiva para garantizar los recursos financieros que son necesarios para el desarrollo de las actividades de obra. Debido a la importancia, en la industria de la construcción se observa la necesidad de metodologías de análisis de flujo caja de adaptación fácil a las modificaciones, y con altos niveles de detalle, las cuales propicien mejoras en la precisión de las estimaciones y en la anticipación de situaciones problemáticas. Considerando esta necesidad, en este artículo se propone un nuevo esquema metodológico para la planificación del flujo de caja de proyectos de construcción, el cual está basado en la integración de modelos del proceso constructivo BIM 5D (Building Information Modeling 5D), y dinámica de sistemas. El esquema que es propuesto consta de seis etapas principales: 1) modelo BIM 3D, cantidades y rendimientos, 2) estructura desglosada del trabajo, 3) estimación de costos, 4) modelado y simulación digital BIM 5D, 5) análisis del flujo de caja, y 6) implementación de la alternativa. La aplicación del esquema indica que la rapidez, visualización y automatización, con la que se desarrolla la planificación del flujo de caja, propicia el análisis de varias alternativas; lo cual fortalece los procesos de toma de decisiones, y mejora los resultados de la planificación.

PALABRAS CLAVE

Flujo de caja; construcción; planificación; Building Information Modeling; dinámica de sistemas

Recibido: 22/05/2020 Aceptado: 02/12/2020

* Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cómo citar este artículo: CASTAÑEDA-PARRA, Karen Milady; SÁNCHEZ-RIVERA, Omar Giovanny; PORRAS-DÍAZ, Hernán. Planificación del flujo de caja de proyectos de construcción basada en BIM y dinámica de sistemas. En: Entramado. Enero - Junio, 2021 vol. 17, no. 1 p. 272-288 <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.6305>



Cash flow planning of construction projects based on BIM and system dynamics

ABSTRACT

Cash flow planning of a construction project is a crucial activity to guarantee the financial resources necessary for construction activities development. Due to the importance, there is a need for cash flow analysis methodologies that are easy to adapt to modifications and involve high levels of detail, which allow improving precision in estimations and anticipating possible problematic events. Considering this need, this paper proposes a new methodological scheme for cash flow planning of construction projects, which is based on construction process models BIM 5D (Building Information Modeling 5D), and system dynamics. The proposed scheme consists of six main stages: 1) BIM 3D model and quantities, 2) work breakdown structure, 3) cost estimation, 4) BIM 5D digital modeling and simulation, 5) cash flow analysis, and 6) implementation. The application of the proposed scheme indicates that the speed, visualization, and automation, with which the cash flow planning is developed, favors the analysis of several alternatives, which strengthens decision-making processes, and improves planning results.

KEYWORDS

Cash flow; construction; planning; Building Information Modeling; system dynamics

Planeamento do fluxo de caixa de projectos de construção baseados em BIM e System Dynamics

RESUMO

O planeamento do fluxo de caixa de um projecto de construção é uma actividade decisiva para garantir os recursos financeiros necessários para o desenvolvimento das actividades de trabalho. Devido à sua importância, na indústria da construção há necessidade de metodologias de análise de fluxo de caixa que sejam facilmente adaptáveis às mudanças e com elevados níveis de detalhe, que permitam melhorar a precisão das estimativas e a antecipação de situações problemáticas. Considerando esta necessidade, este documento propõe um novo esquema metodológico para o planeamento do fluxo de caixa dos projectos de construção, que se baseia na integração do BIM 5D (Building Information Modeling 5D) e modelos de dinâmica do sistema do processo de construção. O esquema proposto consiste em seis fases principais: 1) modelo BIM 3D, quantidades e desempenhos, 2) estrutura de repartição do trabalho, 3) estimativa de custos, 4) modelação e simulação digital BIM 5D, 5) análise do fluxo de caixa, e 6) implementação da alternativa. A aplicação do esquema indica que a rapidez, visualização e automatização, com a qual o planeamento do fluxo de caixa é desenvolvido, é conducente à análise de várias alternativas; o que reforça os processos de tomada de decisão, e melhora os resultados do planeamento.

PALAVRAS-CHAVE

Fluxo de caixa; construção; planeamento; Modelação da informação de construção; dinâmica do sistema

I. Introducción

La ejecución de proyectos de construcción requiere una cantidad considerable de recursos económicos, humanos, tecnológicos y materiales, entre otros; lo que genera la necesidad de disponer de recursos financieros para adquirir los servicios y los productos relacionados con las actividades de obra (Al-Joburi, Al-Aomar y Bahri, 2012), de lo contrario, pueden presentarse retrasos en los programas de obra, y en los peores casos, cuantiosas pérdidas económicas (Al-Joburi et al., 2012). Es por esto que la planificación de los flujos de dinero resulta una labor crucial para asegurar el éxito de las

actividades de obra (Al-Joburi et al., 2012; Le, Vu y Van, 2020; Navon, 1996). En la investigación "why do constructors fail?" (Surety Information Office, 2015), se identificó que la dificultad para predecir el flujo de caja es uno de los principales factores por los que fracasan los constructores, lo que resalta la importancia de la planificación de los flujos de dinero.

El conjunto de flujos de dinero que se dan en la construcción de un proyecto se conoce como flujo de caja (Chen, 2007), el cual está compuesto por los ingresos y los egresos del constructor por concepto de las actividades de obra.

De aquí que, la planificación del flujo de caja resulte una actividad compleja tomando en consideración: el número de elementos, las actividades que caracterizan a los proyectos de construcción y la diversidad de interacciones ([Su y Lucko, 2015](#)). Las falencias en las actividades de planificación del flujo de caja quedan al descubierto durante la fase de construcción, cuando se presentan valores negativos o excesivamente bajos, situaciones que generan limitaciones a las actividades del programa de obra ([Kim y Grobler, 2013](#)), y así la posibilidad de ocurrencia de fenómenos indeseados tales como: retrasos, sobrecostos, disputas, problemas de calidad, entre otros ([Herrera, Sánchez, Castañeda, y Porras, 2020](#); [Mejía, Sánchez, Castañeda y Pellicer, 2020](#)).

Muchos proyectos tienen flujos de caja negativos durante gran parte del desarrollo del proceso constructivo, hasta el día que se recibe el pago final ([Park, Han y Russell, 2005](#); [Al-Joburi et al., 2012](#); [Kim y Grobler, 2013](#)), situación por la cual los constructores deben acudir a entidades bancarias en busca de recursos financieros de manera inmediata, y allí se enfrentan a restricciones como el límite de crédito o la capacidad de endeudamiento ([Liu y Wang, 2010](#)). Adicional a esto, en dichas entidades los constructores suelen ser percibidos como clientes de alto riesgo, ya que están asociados con actividades de alta incertidumbre.

A pesar de que la planificación del flujo de caja resulta una actividad de gran importancia, existen pocas herramientas que permiten planificar y optimizar los flujos de dinero en la fase de diseño de un proyecto de construcción ([Cheng, Cao, y Herianto, 2020](#); [Kim y Grobler, 2013](#); [Mirnezami, Mousavi y Mohagheghi, 2020](#); [Navon, 1996](#); [Ning, He, Jia y Wang, 2017](#); [Sánchez, 2015](#); [Su y Lucko, 2015](#); [Tang, Leung y Lam, 2006](#)). Las herramientas más comunes se fundamentan en hojas de cálculo que requieren extensos procedimientos para obtener resultados ([Jarrah, Kulkarni y O'Connor, 2007](#); [Kim y Grobler, 2013](#)), situación que se agrava a medida que los proyectos tienen una mayor magnitud, si se tiene presente que a mayor cantidad de elementos, mayor cantidad de flujos de dinero. De los modelos computacionales desarrollados para la planificación del flujo de caja, uno de los que contemplan un mayor número de detalles es el desarrollado por [Navon \(1995\)](#) en la investigación *Resource based model for automatic cash flow forecasting*; sin embargo, en algunas investigaciones posteriores se han evidenciado limitaciones relacionadas con la idealización de los flujos entrantes y salientes cíclicos que se repiten en períodos diferentes ([Chen, 2002](#); [Chen, O'Brien y Herbsman, 2005](#)). Para la planificación del flujo de caja de los proyectos de construcción, los constructores deben realizar un volumen considerable de cálculos, los cuales pueden requerir tiempos considerables para la obtención de resultados; situación que se debe a que las herramientas existentes resultan poco adaptables a las modificaciones y

requieren extensos procedimientos ([Kim y Grobler, 2013](#); [Su y Lucko, 2015](#)). Por lo tanto, es evidente la necesidad de herramientas que propicien la automatización de los procesos necesarios para la planificación del flujo de caja, área en la que se enfoca esta investigación.

La precisión de los resultados de un ejercicio de planificación del flujo de caja se encuentra ligada con el nivel de detalle de la información de entrada ([Navon, 1996](#); [Jarrah et al., 2007](#); [Melik, 2010](#)). Para lograr un alto nivel de detalle en la información de un proyecto de construcción, se requiere la aplicación de herramientas informáticas, teniendo en cuenta que en el ciclo de vida de un proyecto se produce un volumen considerable de información que resulta difícil de gestionar ([Melik, 2010](#)). BIM es la sigla empleada para referirse a *Building Information Modeling*, que puede definirse como una tecnología que permite la construcción virtual de elementos de construcción por medio del uso de software inteligentes, definición que conlleva a concebir un modelo BIM como una representación digital que funciona como una base de datos, en la cual la información es almacenada, integrada, gestionada, representada y consultada ([Kim, 2012](#); [Becerik, Jazizadeh, Li y Calis, 2012](#); [Lu et al., 2013](#); [Qing, Tao y Ping, 2014](#)). BIM resulta idóneo para la automatización de las actividades necesarias para la planificación del flujo de caja de los proyectos de construcción, ya que propicia la obtención de un mayor provecho de la información de construcción ([Qian, 2012](#); [Kim y Grobler, 2013](#)).

BIM hace posible el desarrollo de simulaciones del proceso constructivo a partir de cinco variables: dimensiones en los tres ejes (x , y , y z), tiempo, y costo, lo que usualmente es conocido como simulación digital del proceso constructivo BIM 5D ([Mahalingam, Kashyap y Mahajan, 2010](#); [Wang, Weng, Wang y Chen, 2014](#); [Porras, Sánchez y Galvis, 2015](#)). Una simulación virtual, de las actividades de obra en un modelo BIM 5D, propicia la obtención información confiable para la estimación de ingresos y egresos que tendrá el constructor durante desarrollo del proceso de construcción, flujos de dinero que generalmente dependen de las actividades de obra que el constructor desarrolle en un periodo de tiempo determinado. Por lo tanto, el flujo de caja de un proyecto de construcción puede ser visto como un sistema dinámico, el cual varía con respecto al tiempo y está compuesto por diferentes partes que se relacionan entre sí ([Sánchez Rivera, 2015](#)), es por esto que la integración, del enfoque de dinámica de sistemas con los modelos BIM 5D, tiene viabilidad para suplir las necesidades existentes en el campo de herramientas para la planificación de los flujos de dinero de un proyecto de construcción. Teniendo en cuenta que la dinámica de sistemas es una metodología que permite simular y modelar sistemas complejos que están compuestos por diferentes partes que se interrelacionan entre sí ([Forrester, 1961](#)).

A pesar de los avances relacionados con la implementación de BIM al análisis del flujo de caja de proyectos de construcción, no se reporta una metodología que integre BIM y dinámica de sistemas. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo principal proponer un esquema metodológico para la planificación de los flujos de caja de proyectos de construcción basado en la integración de modelos BIM 5D y la metodología de dinámica de sistemas. La simulación virtual de un proceso constructivo en un modelo BIM 5D genera datos con altos niveles de detalle y precisión, los cuales se convierten en información de entrada para la metodología de dinámica de sistemas, donde es posible el modelado y simulación de los flujos de dinero que se presentan durante el desarrollo de las actividades de obra, haciendo posible tanto el análisis como la planificación del flujo de caja tomando en consideración distintas alternativas, configuraciones, y escenarios.

2. Antecedentes de BIM en el estudio del flujo de caja de proyectos de construcción

Considerando el potencial BIM para apoyar procesos de análisis de costos, se han realizado algunas investigaciones dedicadas a la adopción BIM en el estudio de flujos de caja de proyectos de construcción. [Kim y Grobler \(2013\)](#) presentan un estudio en el que se sugiere la posibilidad de desarrollar un mejor análisis, del flujo de caja de un proyecto de construcción, utilizando los datos de un modelo BIM en conjunto con una herramienta prototípico para la automatización de los cálculos relacionados con los flujos de dinero. [Lu, Won y Cheng \(2016\)](#) proponen un marco metodológico para el análisis del flujo de caja, y financiamiento de proyectos de construcción, el cual es apoyado por modelos BIM 5D, e incluye diferentes tipos de contrato y patrones de egresos relacionados con pagos de: materiales, equipos y mano de obra. [Wang et al. \(2016\)](#) proponen la integración de: modelos BIM 3D, el cronograma de obra y los costos asociados a las actividades de construcción para la obtención de curvas de progreso. [Kehily y Underwood \(2017\)](#) estudian la integración de modelos BIM 5D en el análisis de ingresos y egresos del ciclo de vida de un proyecto de construcción, los resultados evidencian los beneficios obtenidos por la adopción de BIM en lo relacionado con los vínculos entre los planes de costo y sus cálculos respectivos. [Khalaf y Akbas \(2019\)](#) presentan definiciones paramétricas de ingresos y egresos para el modelado y simulación, del flujo de caja de un proyecto de construcción, en una plataforma que utiliza modelos BIM 3D. [Elghaish et al. \(2019\)](#) presentan un marco metodológico para la integración de los modelos BIM 4D y 5D en el análisis de flujos de caja de proyectos de construcción con la integración del método *Integrated Project Delivery IPD*, la metodología propuesta está compuesta por tres etapas

principales: 1) integración de costos y datos del programa de obra, 2) vinculación de costos y tiempos con el modelo BIM, y 3) suministro de información para los procesos de toma de decisiones por parte de los distintos actores del proyecto.

3. Esquema metodológico para la planificación del flujo de caja

El esquema metodológico para la planificación y análisis del flujo de caja comprende el desarrollo de 6 etapas principales, las cuales están ilustradas en la [Figura 1](#) y están descriptas a continuación:

3.1. Etapa I: modelo BIM 3D, cantidades y rendimientos

La primera etapa comprende la elaboración de una réplica virtual BIM de los elementos del proyecto de construcción a analizar, la cual se recomienda sea elaborada como uno de los productos de la etapa de diseño del proyecto, y no como una actividad independiente y aislada. Se debe procurar que el modelo BIM 3D posea un nivel de detalle adecuado, de tal manera que en la estimación de cantidades obra se obtengan datos con alto detalle, los cuales conlleven a la estimación precisa de los costos de materiales y equipos que influyen en los ingresos y egresos de dinero relacionados con cada una de las actividades de obra.

Concluido el desarrollo del modelo BIM 3D, se procede a las configuraciones del modelo para la estimación automatizada de las cantidades de obra, para lo cual, se hace necesaria una primera versión de la estructura desglosada del trabajo, de tal manera que, se identifiquen las posibles actividades de obra que involucrarán el proyecto, y por consiguiente la estimación de cantidades de obra sea guiada por las actividades de la estructura desglosada del trabajo. En forma paralela o subsecuente a las actividades enunciadas, se procede a la estimación de rendimientos de obra, para lo cual es recomendable la consulta de bases de datos de proyectos similares ejecutados por la organización en lugares de condiciones similares, esto tomando en consideración que los rendimientos de obra se ven afectados por variables como: clima, capacitación del personal, equipos, herramientas, tipo de proyecto, ubicación, entre otros.

Etapa II: estructura desglosada del trabajo

Con los datos de cantidades y rendimientos de obra, y la versión preliminar de la estructura desglosada del trabajo, se procede a la definición de parámetros para cada una de las actividades tales como: interdependencias, materiales, equipos, recursos humanos, duraciones, condiciones de

ejecución, entregables y otros. En esta etapa, resulta de gran relevancia que los planificadores incluyan actividades de obra que no fueron cuantificables en el modelo BIM, tales como: localización y replanteo, manejos ambientales y de tráfico, iluminación, entre otras.

Con la totalidad de actividades de obra contempladas en la estructura desglosada del trabajo, se procede a la elaboración del programa de obra, proceso en el que se requiere la asignación de fechas de inicio y finalización del proyecto, como punto de partida. Se prosigue con la asignación de tiempos, recursos, entregables y duraciones, a cada una de las actividades contempladas; esto procurando establecer un orden de ejecución lógico y coherente con las características, tanto del proyecto como de la organización encargada de la ejecución.

Etapa III: estimación de costos

A partir del programa de obra desarrollado en la Etapa II, se procede a la estimación de costos del proyecto según las actividades definidas, para lo cual se realizan los Análisis de Precios Unitarios (APUs), de cada una de las actividades, mediante la estimación de costos relacionados con: materiales, equipos, trasportes y recursos humanos. Con el precio unitario estimado en el APU y la cantidad de obra obtenida del modelo BIM 3D, se procede al cálculo de los costos estimados para cada una de las actividades C_i mediante la multiplicación entre la cantidad de obra Q_i y el precio unitario P_i (ver [Ecuación 1](#)) ([Porras, Sánchez, Galvis, Jaimez, y Castañeda, 2015](#)).

$$C_i = Q_i P_i \quad (1)$$

Con los resultados obtenidos, se procede a la elaboración del presupuesto de construcción y al cálculo del costo estimado total del proyecto C_T , lo cual se realiza mediante la sumatoria de los costos de las n actividades que componen el proyecto (ver [Ecuación 2](#)).

$$C_T = \sum_{i=1}^n Q_i P_i \quad (2)$$

Etapa IV: modelado y simulación digital BIM 5D

El modelo BIM 5D se logra mediante la integración de: 1) modelo BIM 3D (Etapa I), 2) programa de obra (Etapa II), y 3) costos estimados de las actividades (Etapa III), de tal manera que el modelo incorporará 5 variables principales: dimensiones en los tres ejes (x, y, z), tiempo, y costo. Concluido el modelo BIM 5D, la simulación digital resultará una réplica virtual del proceso constructivo planificado, con lo cual será posible detectar falencias del programa de obra

desarrollado en la Etapa II, y puede requerir un proceso de modificación y retroalimentación como se muestra en la [Figura 1](#), de la misma forma, el modelo BIM podrá ser utilizado para analizar diferentes alternativas de procesos de construcción.

Etapa V: análisis del flujo de caja

El análisis del flujo de caja del constructor inicia con la estimación de los ingresos percibidos por los pagos del dueño, relacionados con el desarrollo de las actividades de construcción, los cuales suelen tener una periodicidad que se establece en el contrato de construcción, y el monto está relacionado con el avance del programa de obra. Para el esquema metodológico propuesto, se contempla que la estimación de los ingresos del constructor sea realizada a partir de la simulación digital del modelo BIM 5D, en la cual se puede obtener el costo y avance del proyecto en los distintos momentos del proceso de construcción. Con los ingresos del constructor, se prosigue con la estimación de los egresos relacionados con pagos de: nómina del personal calificado y no calificado, compra de materiales, alquiler de equipos, y demás flujos de dinero que se deriven de la etapa de construcción del proyecto. Resulta crucial que los distintos flujos de dinero estimados estén relacionados con fechas en las que sea posible conocer el momento que ingresará dinero, o en caso contrario, en que egresará.

El desarrollo del modelo de dinámica de sistemas inicia con la identificación de las principales variables que rigen el sistema, las cuales están relacionadas principalmente con los grupos de ingresos y egresos que tiene el constructor durante el transcurso de la etapa de construcción. A continuación, se hace necesario establecer las relaciones entre las variables, y finalmente establecer los parámetros que regirán el comportamiento de las variables; para lo cual, se utiliza la información obtenida del desarrollo de la primera parte de la Etapa V. Una vez elaborado el modelo de dinámica de sistemas, se procede a la simulación del comportamiento del flujo de caja considerando el tiempo del cronograma de obra, con lo que se hace posible analizar diferentes escenarios y alternativas de flujo de caja, y dependiendo de los resultados, se realiza una retroalimentación de las etapas previas, como se muestra en la [Figura 1](#).

Etapa VI: Implementación de la alternativa

Concluido el análisis del flujo de caja, y seleccionada la alternativa, se procede a la implementación, en la cual se adelantarán las acciones necesarias para garantizar la disponibilidad de recursos económicos requeridos, y así evitar eventos indeseados como flujos de caja negativos o excesivamente bajos. Es indispensable que los distintos

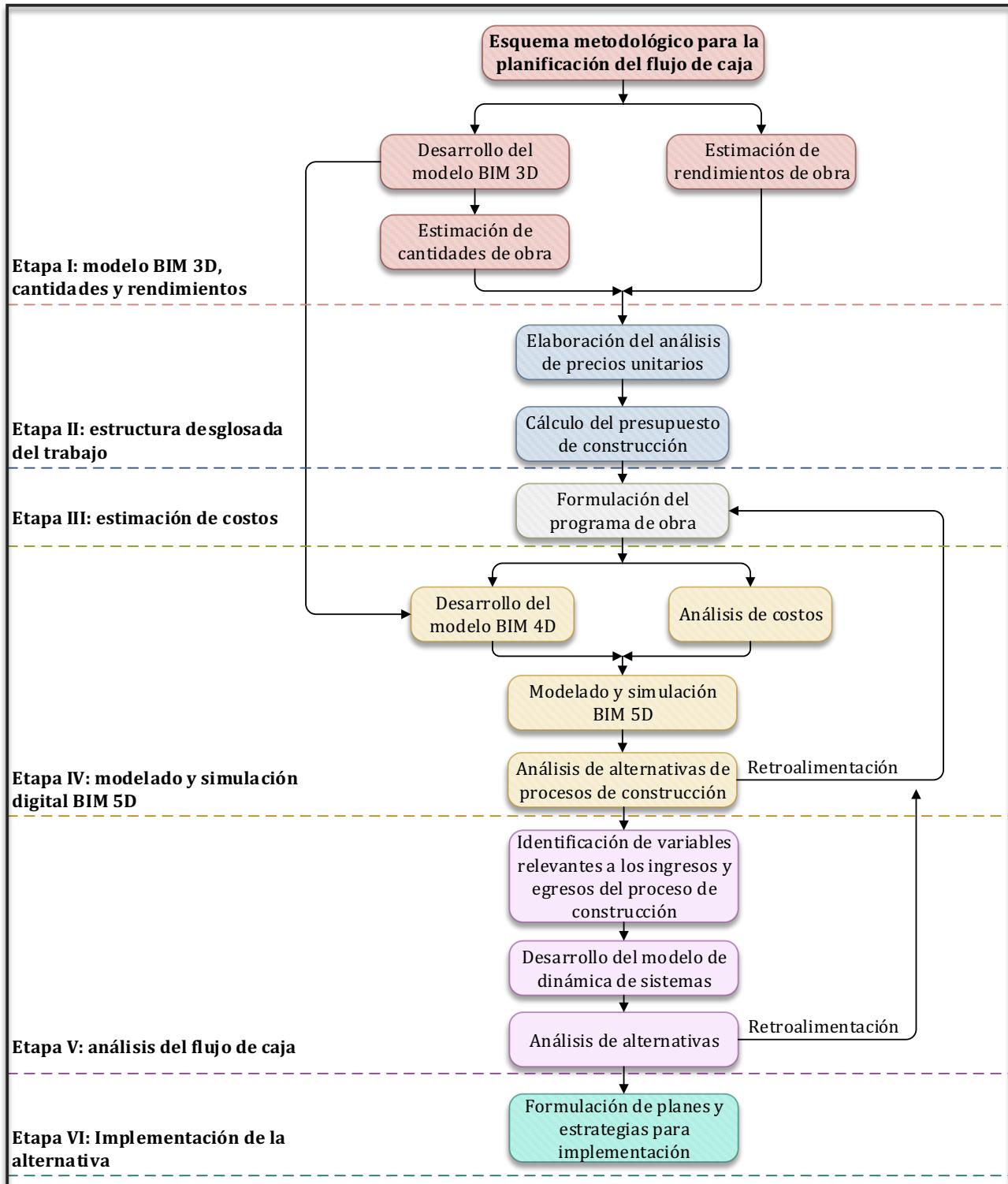


Figura 1. Esquema metodológico propuesto para la planificación del flujo de caja a partir de modelos BIM 5D y dinámica de sistemas.

Fuente: Elaboración propia.

actores del proyecto participen de manera activa, tanto en la Etapa V como en la Etapa IV.

4. Aplicación del esquema metodológico a un caso de estudio

El esquema metodológico propuesto fue aplicado a la planificación del flujo de caja de un caso de estudio, el cual corresponde a una casa unifamiliar de dos plantas que está ubicada en la ciudad de Bucaramanga, Colombia. Los rendimientos de obra fueron estimados a partir del estudio: análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción (Polanco, 2009). Con respecto a los precios unitarios de los materiales de construcción, equipos y mano de obra, estos correspondieron a cotizaciones realizadas en la ciudad de Bucaramanga, Colombia, y la unidad de medida fueron pesos colombianos. Por otro lado, los softwares

utilizados fueron: 1) para el desarrollo del modelo BIM 3D, el software Autodesk Revit, 2) para el programa de obra, el software Microsoft Project 2016, 3) para el modelo BIM 5D, el software Autodesk Navisworks, y 4) para el modelo de dinámica de sistemas, el software Evolución 4.5.

4.1. Modelo BIM 3D

La [Figura 2](#) muestra el modelo BIM 3D desarrollado para el caso de estudio, del cual se estimaron de forma automatizada las cantidades de construcción, y se obtuvieron otros datos relevantes para la estimación de las actividades de la estructura desglosada del trabajo. Se destaca el alto nivel de detalle con el que fue desarrollado el modelo BIM 3D, lo cual permitió que tanto la estructura desglosada de trabajo como la estimación de los flujos de dinero contaran con altos niveles de detalle, aspecto que es crucial para lograr una planificación del flujo de caja adecuada.

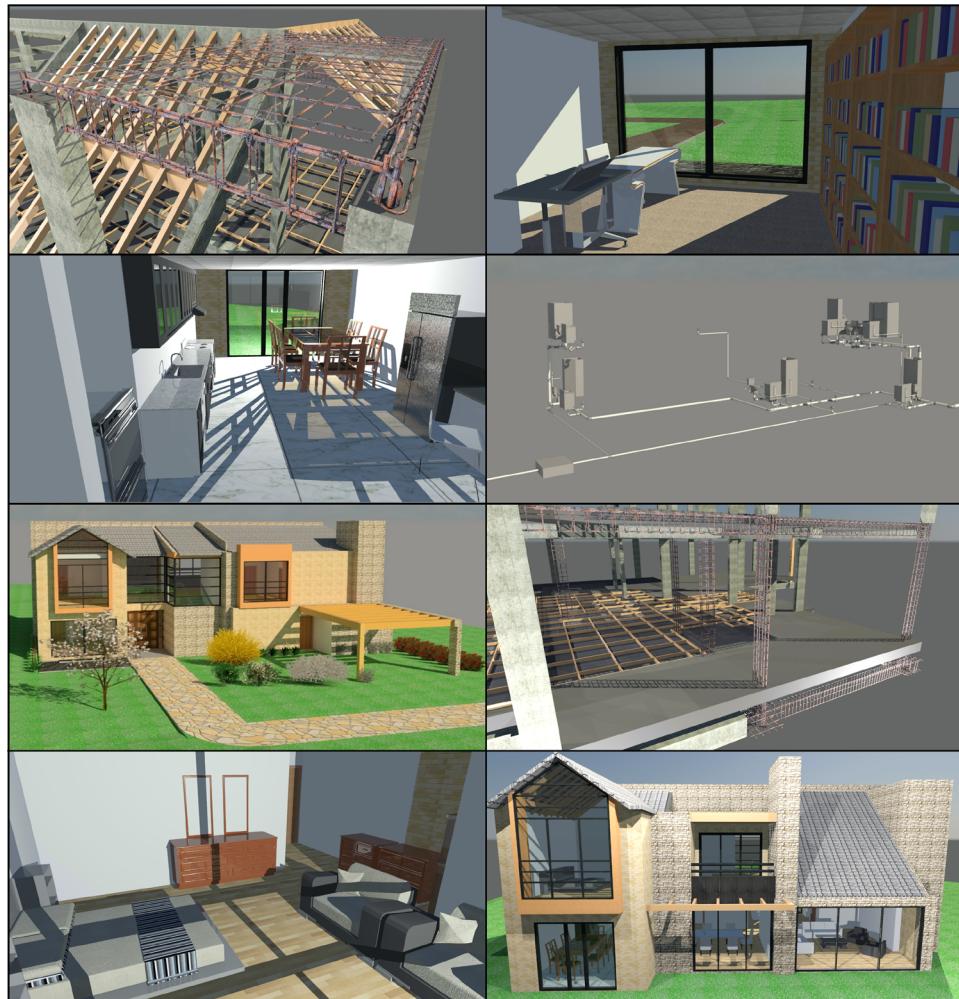


Figura 2. Modelo BIM 3D del caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia en el software Autodesk Revit.

4.2. Programa de obra

La [Figura 3](#) muestra los tres primeros capítulos del programa de obra para el desarrollo del proceso de construcción del caso de estudio, el cual fue obtenido a partir de la estructura desglosada de trabajo que fue elaborada en la Etapa III, además de las cantidades y rendimientos obtenidos del desarrollo de las Etapas I y II del esquema metodológico.

4.3. Modelado y simulación BIM 5D

La [Figura 4](#) muestra cuatro momentos de la simulación digital BIM 5D del proceso constructivo planificado, modelo que fue logrado de la integración de: modelo BIM 3D, programa de obra, y resultados de la estimación de costos. Para el caso de estudio analizado, el programa de obra seleccionado tuvo una duración de 155 días y el presupuesto de construcción un costo total C_T de COP \$830.422.925.

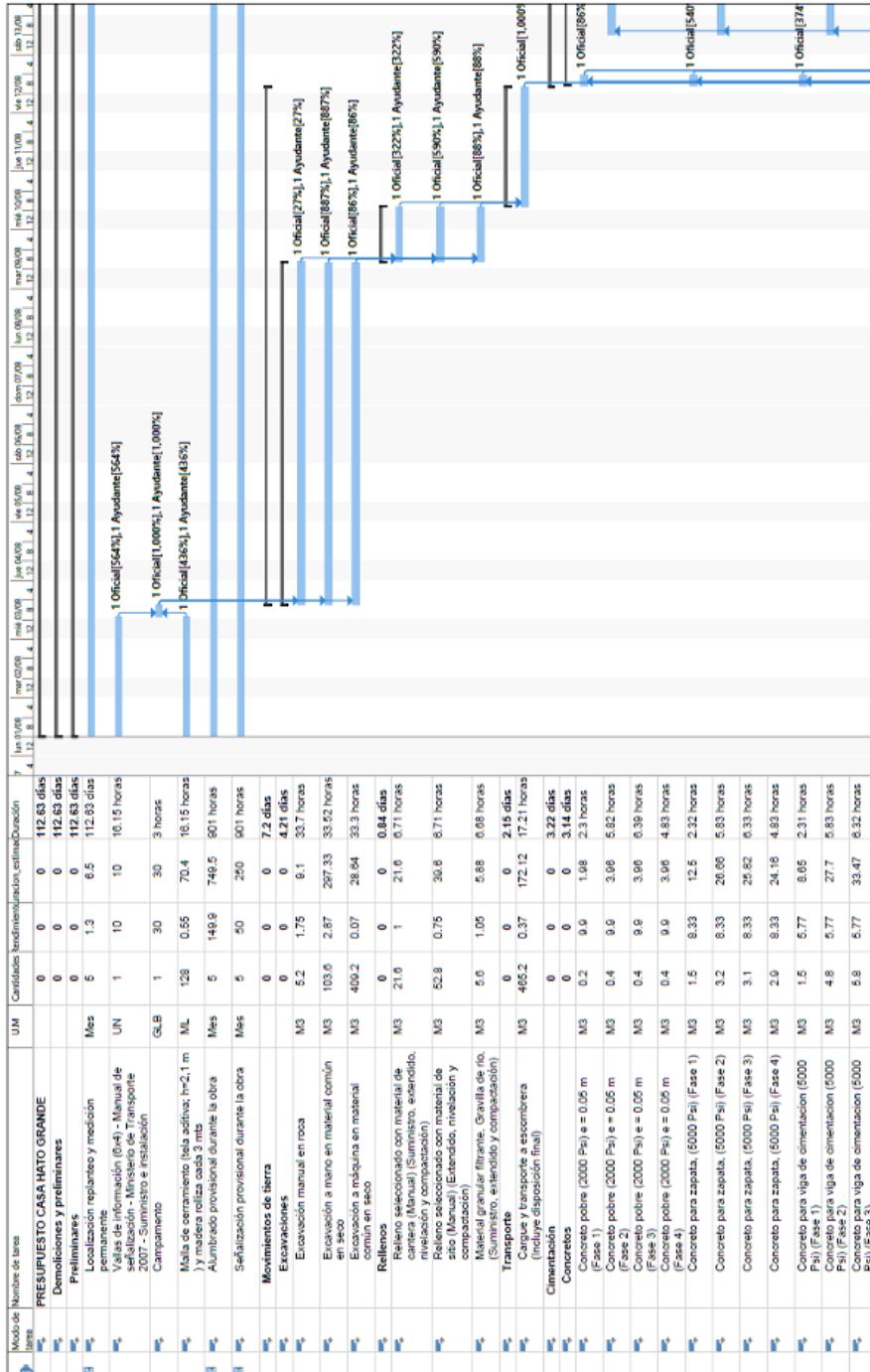


Figura 3. Programa de obra para el desarrollo del proceso de construcción del caso de estudio.
Fuente: Elaboración propia en el software Microsoft Project.

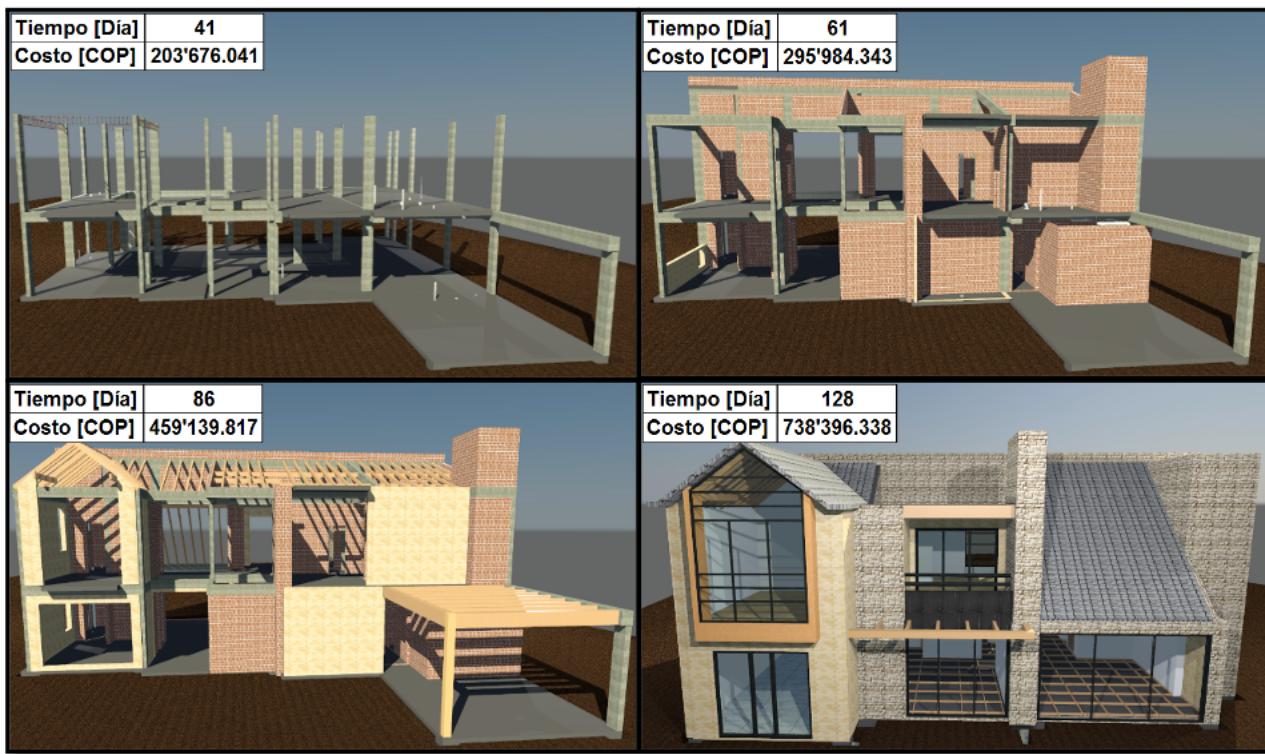


Figura 4. Simulación del proceso constructivo BIM 5D del caso de estudio.

Fuente: Elaboración propia en el software Autodesk Navisworks 2020.

La [Figura 5](#) ilustra el comportamiento del Costo Ejecutado Acumulado CEA en el tiempo planificado para el desarrollo del proceso de construcción del caso de estudio (ver línea roja), el cual está directamente relacionado con los egresos del constructor, y es obtenido mediante la simulación BIM 5D. Por otro lado, se presentan los Ingresos Acumulados del Constructor (ver línea azul), los cuales son estimados a partir del avance del proceso de construcción observado en el modelo BIM 5D. Por lo anterior, en los momentos en que la línea azul se encuentra por debajo de la línea roja se presentan flujos de caja negativos, en caso contrario, flujos de caja positivos. Para el caso de estudio, se observa que el esquema metodológico propuesto permite minimizar los eventos de flujo de caja negativo, además hace posible contar con el pronóstico de los momentos del proceso constructivo en que presentaran dificultades financieras, permitiendo así, emprender el desarrollo de actividades de mitigación y prevención.

4.4. Modelo de dinámica de sistemas

Para la elaboración del modelo de dinámica de sistemas se tuvieron en cuenta los datos producidos por la simulación BIM 5D (ver [Figura 4](#)), y se desarrollaron cinco actividades que se detallan a continuación:

- **Actividad I: estimación de los ingresos del constructor**

En el desarrollo de la mayoría de los proyectos de construcción, el constructor recibe un ingreso inicial denominado 'anticipo', el cual se da al iniciar la etapa de construcción. Para el caso de estudio, se asumió un anticipo de 10 % del costo directo total del presupuesto de construcción, por lo tanto, en $t=0$ el dinero disponible es el valor del anticipo. Para la estimación de los ingresos restantes del constructor (90 % del presupuesto de construcción), se estableció que cada quince días el constructor tendría ingresos por concepto de las actividades de obra desarrolladas a los precios del presupuesto de construcción, esto tomando en consideración las características del sector de construcción colombiano.

Para determinar la magnitud de los ingresos del constructor en el día i , se realizó la diferencia entre el Costo Ejecutado Acumulado del día i (CEA_i) y el Costo Ejecutado Acumulado del día $i-15$ (CEA_{i-15}). Los valores fueron obtenidos de la simulación BIM 5D que se muestra en la [Figura 4](#). La diferencia fue multiplicada por 0.9, teniendo presente que el dinero restante es el 90% del presupuesto después de descontar el valor del anticipo. La [Ecuación 3](#) ilustra la expresión para el cálculo del ingreso del constructor para el día 30 de la ejecución del programa de obra (IC_{30}).

$$IC_{30} = (0.9)(CEA_{30} - CEA_{15}) \quad (3)$$

- **Actividad II: estimación de los flujos de efectivo correspondientes a las nóminas del personal calificado y no calificado**

Para los egresos del constructor por concepto de salarios del personal calificado y no calificado, se tomaron en cuenta las siguientes condiciones: (1) el salario de los ayudantes y oficiales de construcción con periodicidad de 15 días, (2) el salario del personal calificado con periodicidad de 30 días, (3) se asumieron valores de prestaciones sociales, descanso remunerado, aportes a la seguridad social, y parafiscales; lo cual se asignó de acuerdo con las disposiciones del Ministerio del Trabajo de Colombia ([Ministerio del trabajo de Colombia, 2020](#)). Así, para la estimación de los flujos de dinero por concepto de nóminas, se consideraron: condiciones salariales expuestas, cantidad de personal que se requiere según el programa de obra, y análisis de precios unitarios de las actividades.

- **Actividad III: estimación de los egresos por concepto de compra de materiales y alquiler de equipos**

Las magnitudes y las fechas de ocurrencia, de los flujos de efectivo por concepto de materiales y equipos, fueron estimadas a partir de los datos generados por la simulación BIM 5D (ver [Figura 4](#)), cuyo método consistió en la observación de los momentos del proceso de construcción

en los que los materiales y equipos son requeridos en el sitio. En el caso de equipos y herramientas, los egresos fueron estimados a partir del precio unitario tenido en cuenta en el presupuesto de construcción, y el tiempo necesario de disponibilidad en el sitio según el programa de obra definido. Para los materiales de construcción, se estableció una serie de compras en distintos momentos del proceso de construcción, esto con la finalidad de evitar inconvenientes de acumulación y deterioro de materiales en el espacio de trabajo. En la cuantificación, de los rubros requeridos para las compras planificadas, fue utilizado el modelo BIM 5D.

- **Actividad IV: desarrollo del modelo en dinámica de sistemas**

La elaboración del modelo de dinámica de sistemas inició con la disposición del elemento denominado 'Banco' (ver [Figura 6](#)), el cual representa el dinero del que puede disponer el constructor para suprir las necesidades financieras del proceso de construcción. Por lo tanto, el monto, disponible en el "Banco" en el tiempo t , es dado por la [Ecuación 4](#).

$$Banco(t) = I(t) - E(t) \quad (4)$$

Las funciones $I(t)$ y $E(t)$ representan los ingresos y los egresos, respectivamente, acumulados en función del tiempo. Los ingresos están relacionados con los pagos del dueño del proyecto al constructor por concepto de la realización de actividades de obra, y los egresos son ocasionados por los pagos relacionados con: equipos y herramientas, compra de materiales, pagos de nóminas, y otros.

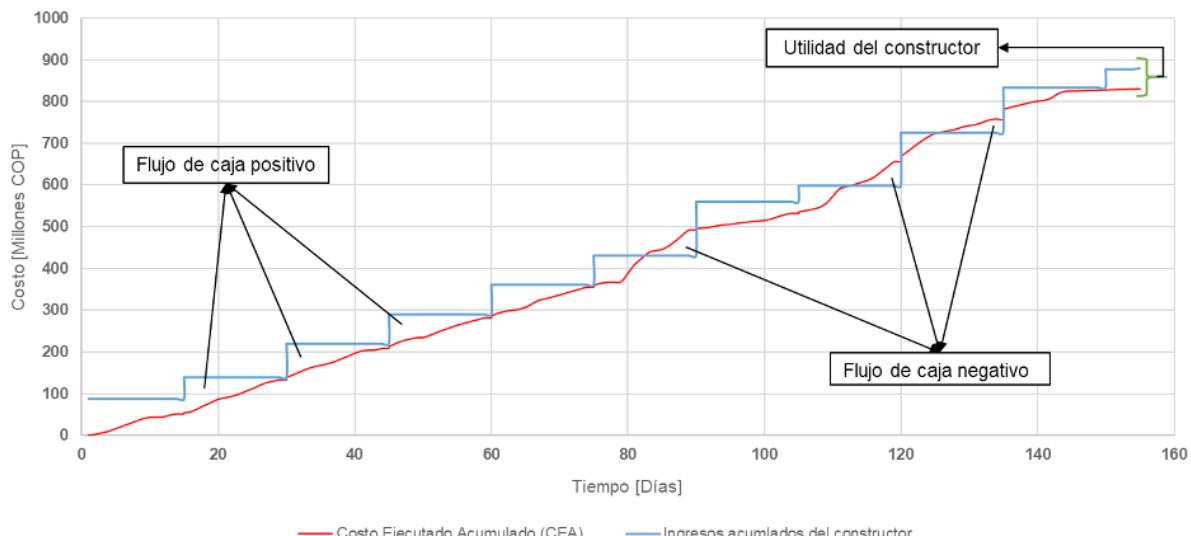


Figura 5. Costo Ejecutado Acumulado e Ingresos Acumulados del Constructor vs tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

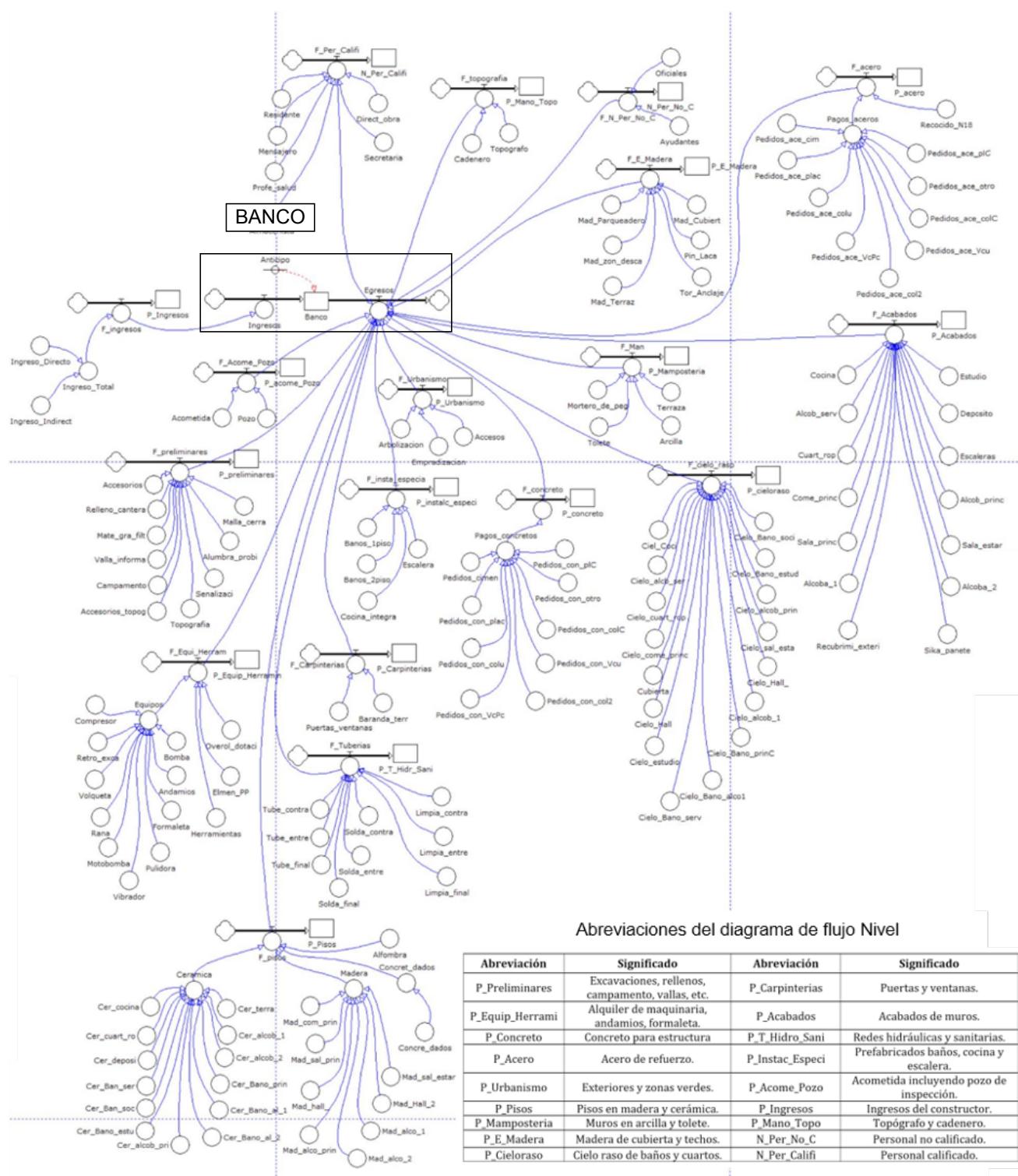


Figura 6. Diagrama de Flujo Nivel del modelo de flujo de caja del caso de estudio.
Fuente: Elaboración propia en el software Evolución 4.5.

Configurado el elemento denominado 'Banco', fueron definidas las demás partes del sistema con sus relaciones respectivas, lo cual fue realizado tomando en consideración las clasificaciones de ingresos y egresos mencionadas. La tabla mostrada en la [Figura 6](#) muestra las diferentes abreviaciones utilizadas en el Diagrama de Flujo Nivel.

- **Actividad V: simulación del comportamiento del flujo de caja planificado**

Finalmente, se procedió a la simulación del comportamiento del flujo de caja en el rango de tiempo $0 \leq t \leq 155$ [días], esto acorde a la duración del proceso constructivo planificado en el programa de obra. La [Figura 7](#) muestra los costos acumulados de los niveles definidos en el modelo de desarrollado en la Actividad IV (ver [Figura 6](#)), donde los saltos en la gráfica representan ingresos o egresos según corresponda. Por otro lado, la [Figura 8](#) ilustra el comportamiento del elemento denominado 'Banco', donde un salto en la gráfica representa un ingreso y una caída representa un egreso.

Asimismo, la [Figura 8](#) muestra que con un anticipo del 10% se presenta varios momentos del proceso de construcción con flujos de caja negativos, por lo que una medida factible, para mitigar el riesgo financiero, consiste en el

aumento del porcentaje del anticipo. La [Figura 9](#) muestra el comportamiento del flujo de caja con un anticipo del 30%, donde se observan flujos de caja positivos durante la totalidad de la duración proyectada para el desarrollo del proyecto, lo cual evidencia la utilidad del esquema metodológico propuesto en la detección y mitigación de situaciones de riesgo financiero en etapas tempranas del proyecto.

5. Discusión de resultados y observaciones

Cuantificación de órdenes de suministro

Se observa que disponer de una réplica virtual del proyecto de construcción fortalece los procesos de toma de decisiones relacionados con la planificación de compras y alquileres, lo cual se sustenta en que el modelo BIM permite mejorar la caracterización y estimación de las órdenes de suministro mediante funcionalidades de: cuantificación de cantidades, visualización de los componentes, y trabajo colaborativo. Funcionalidades que resultan de gran utilidad en la planificación de órdenes de suministro de materiales que involucran cantidades considerables de elementos, tales como: acero de refuerzo, mampostería, carpinterías, redes hidráulicas y sanitarias, entre otros. Además, la versatilidad y automatización, con la que se realizan los cambios, hacen

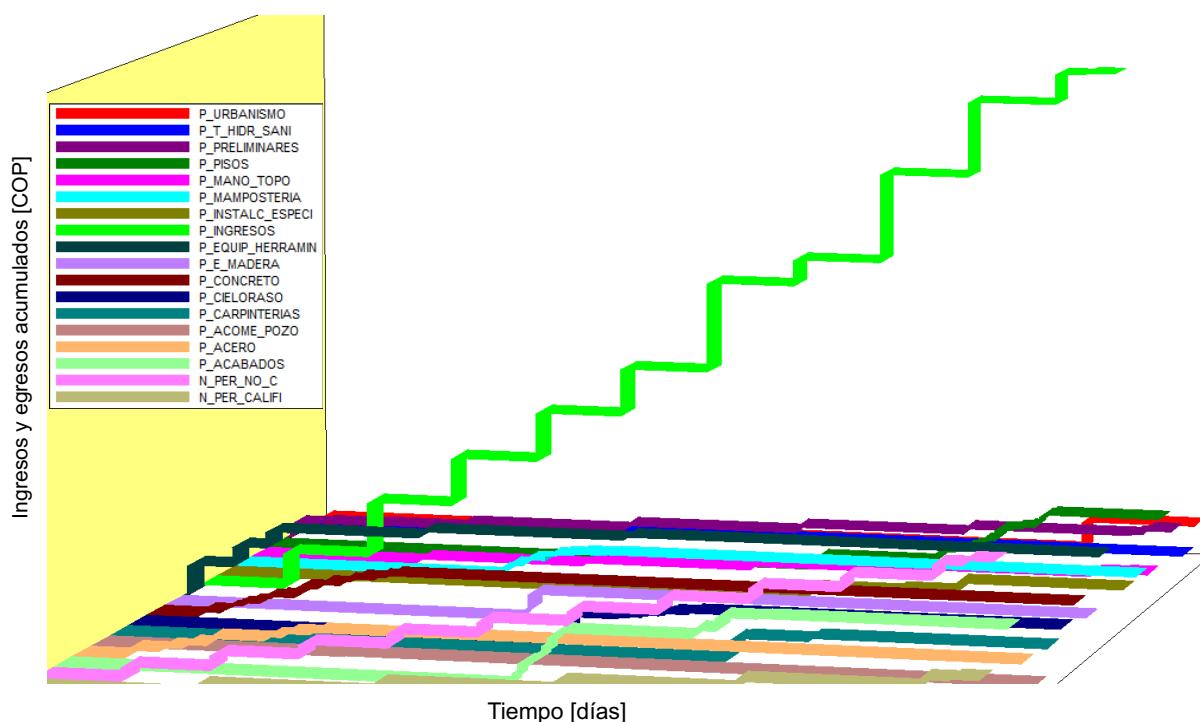


Figura 7. Costo acumulado de ingresos y egresos del constructor vs tiempo en días.
Fuente: Elaboración propia en el software Evolución 4.5.

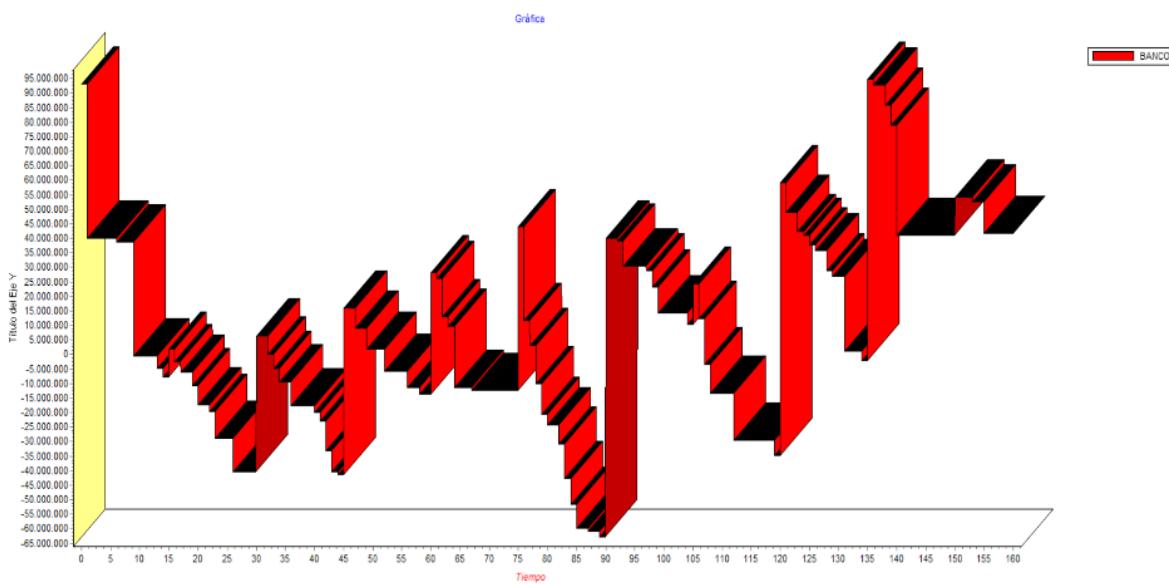


Figura 8. Flujo de caja del constructor proyectado para el caso de estudio (anticipo=10%).
Fuente: Elaboración propia en el software Evolución 4.5.

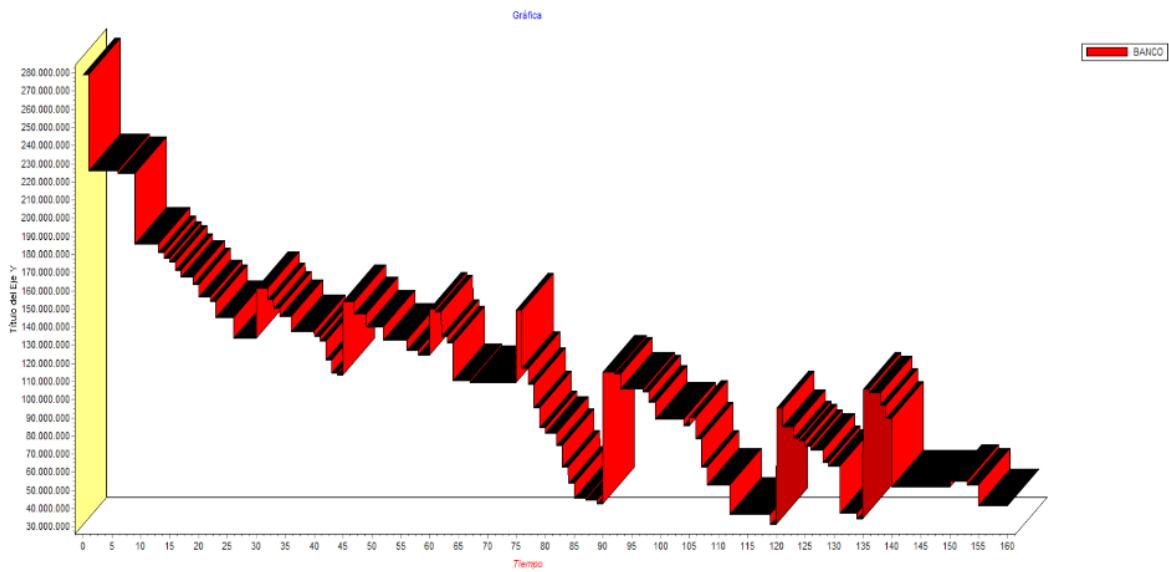


Figura 9. Flujo de caja del constructor proyectado para el caso de estudio (anticipo=30%).
Fuente: Elaboración propia en el software Evolución 4.5.

posible que los planificadores puedan explorar distintas alternativas en tiempos reducidos, lo que enriquece el proceso de planificación.

Información de construcción

Como se muestra en las investigaciones realizadas por [Kim \(2012\)](#), [Becerik et al. \(2012\)](#), [Lu, Peng, Shen y Li \(2013\)](#), [Qing, Tao y Ping \(2014\)](#) y [Sánchez \(2015\)](#), se evidencia que el modelo BIM propicia mejoras en los procesos de gestión de la información de construcción a partir de una única base

de datos, en la que es posible lograr: integración, coherencia y compatibilidad de la información producida en la fase de diseño, situación que beneficia la precisión en las actividades de cuantificación de cantidades de obra, y por consiguiente, la precisión en la estimación de los flujos de dinero. Por otro lado, el alto nivel de detalle de información con el que se desarrolla el modelo y simulación BIM permite disminuir la incertidumbre asociada a la estimación de las distintas variables requeridas para análisis del flujo de caja, lo cual coincide con lo expuesto por [Navon \(1996\)](#), [Jarrah et al. \(2007\)](#) y [Melik \(2010\)](#).

Colaboración

La simulación de un modelo BIM 5D propicia un ambiente en el que los diferentes actores pueden contribuir con aportes basados en sus experiencias y conocimientos ([Bohórquez, Porras, Sánchez y Mariño, 2018](#)), lo cual podría mitigar la ocurrencia de eventos indeseados mediante la exploración de diferentes alternativas y escenarios, proceso que puede ser fundamentado en el análisis multidisciplinario, considerando que los proyectos de construcción se caracterizan por involucrar profesionales de distintas áreas del conocimiento. Además, dicho análisis multidisciplinario puede contribuir a disminuir las actividades imprevistas, las cuales suelen ser generadoras de diversas situaciones problemáticas en la industria de la construcción, incluyendo afectaciones relacionadas con los flujos de caja.

Identificación y mitigación de situaciones de riesgo

Con los resultados de la simulación del comportamiento del flujo de caja mostrados en las [Figuras 7, 8 y 9](#), se hace posible identificar estados de riesgo que se dan cuando el dinero disponible tiene un valor significativamente bajo o negativo. Estas situaciones pueden ser evitadas mediante la modificación del orden de las actividades del programa de obra, lo que conlleva a: modificaciones en el modelo BIM 5D y cambios en la información de entrada del modelo de dinámica de sistemas, lo cual confluye en la generación de una nueva alternativa, la cual puede ser mejorada con modificaciones adicionales que estén enfocadas en la búsqueda de la alternativa de mayor conveniencia para el proyecto.

En el caso de situaciones de riesgo que no puedan ser evitadas, el esquema de planificación propuesto confiere al equipo planificador la anticipación necesaria para adelantar medidas de mitigación necesarias, y de esta forma, evitar el agravamiento de la situación durante el proceso de construcción. Algunas medidas podrían consistir en adelantar trámites para la obtención de créditos bancarios, o convenios con proveedores de materiales y equipos para efectuar los pagos en momentos en que el comportamiento del flujo de caja muestre las condiciones favorables.

Compromiso de los actores involucrados

Las actividades de planificación del flujo de caja deben estar soportadas por la disponibilidad de los actores del proyecto para el cumplimiento de los eventos asumidos en los procesos de planificación, pues en algunos casos los ejercicios de planificación de flujo de caja resultan adecuados, sin embargo, en la etapa de implementación, el incumplimiento por parte de algunos de los actores puede conllevar a

eventos que podrían comprometer la continuidad del proceso de construcción, y en los peores casos, el éxito del proyecto. Por lo anterior, es recomendado que el ejercicio de planificación se realice en entornos colaborativos, en los que los distintos actores asuman compromisos que puedan controlarse en etapas posteriores. Por tal razón, resulta de gran viabilidad la aplicación de métodos de entrega de proyectos que fomenten la colaboración e integración, como es el caso del método *Integrated Project Delivery IPD* ([American Institute of Architects, 2007](#)).

Integración de las actividades de planificación

La naturaleza iterativa del esquema metodológico propuesto se encuentra alineada con la adaptabilidad a modificaciones de las distintas variables y parámetros, además de la rapidez con la que se obtienen resultados; lo cual facilita que los aportes de los actores puedan ser evaluados, discutidos y complementados de forma automatizada. Estos aspectos fomentan la evaluación de distintas alternativas de flujo de caja, alternativas en las que se hace posible plantear modificaciones a la secuencia de los procesos constructivos planificados en el programa de obra. Por lo tanto, las actividades de planificación de flujo de caja dejan de ser independientes de las actividades de planificación de los procesos de construcción, generando un proceso integrado en el que se propicia la coherencia y búsqueda integrada de la alternativa de planificación de mayor beneficio.

6. Conclusiones

En esta investigación se propone un esquema metodológico para la planificación del flujo de caja de proyectos de construcción, el cual comprende el desarrollo de seis etapas principales: 1) modelo BIM 3D, cantidades y rendimientos, 2) estructura desglosada del trabajo, 3) estimación de costos, 4) modelado y simulación digital BIM 5D, 5) análisis del flujo de caja, y 6) implementación de la alternativa. La aplicación del esquema propuesto, a un caso de estudio, muestra que la rapidez y automatización con la que se obtienen resultados propicia que el proceso de planificación de flujo de caja se convierta en una actividad participativa, ya que los actores involucrados en el proyecto realizan aportes individuales que son debatidos colectivamente, y apoyados por entornos virtuales y simulación digital. Así, se hace posible analizar distintas alternativas de procesos de construcción y flujos de caja, de tal manera que se propicia una cultura de mejoramiento continuo en las actividades de planificación tanto del flujo de caja como de los procesos de construcción. Tomando en consideración las características de las etapas que componen el esquema metodológico propuesto, algunas acciones enfocadas en la formulación de alternativas de flujo de caja a analizar podrían centrarse en: 1) modificación del orden de las

actividades en el cronograma de obra, 2) variación en las cantidades y fechas de compra de materiales, 3) ajustes en las fechas de pago de nóminas, 4) modificaciones varias en los procesos constructivos, 5) porcentajes de anticipos, 6) periodicidad de pagos al constructor, entre otras.

El esquema metodológico propuesto es beneficiado por la visualización proporcionada por la simulación digital BIM 5D que fortalece la detección de falencias o incoherencias en las actividades de obra planificadas. Además, la simulación puede ser utilizada como herramienta de apoyo en la definición de las fechas de compra de materiales y alquiler de equipos, lo cual se convierte en egresos que afectan el flujo de caja del constructor de manera significativa. Egresos que en ocasiones ponen en riesgo la disponibilidad de recursos financieros para suplir las necesidades del proceso de construcción; esto sustentado en la dificultad de predecir las fechas de los pagos relacionados.

En el desarrollo del caso de estudio presentado, se observó que los ingresos del constructor resultan cruciales para dar continuidad a las actividades de construcción, situación por la que en la fase de planificación del flujo de caja es indispensable contar con estimaciones de gran precisión de fechas de ocurrencia y magnitudes de los flujos de dinero correspondientes. El esquema metodológico propuesto hace posible cuantificar y proyectar con precisión los ingresos, considerando que los ingresos del constructor dependen del avance en el programa de obra que se realice en un periodo de tiempo determinado, lo cual puede ser analizado mediante la simulación del proceso constructivo BIM 5D que resulta una réplica virtual de lo que probablemente ocurrirá en el sitio.

Para una compañía del sector de la construcción, la implementación de BIM debe ser transversal a las actividades del ciclo de vida del proyecto, teniendo en cuenta que el modelo BIM puede ser desarrollado como producto de la etapa de diseño del proyecto, lo cual conlleva a que la etapa denominada 'modelo BIM 3D' desaparezca como actividad independiente, dentro del proceso de planificación del flujo de caja, y se convierta en información de entrada. Además, en la fase de construcción, el modelo BIM puede ser utilizado para el control de obra y la gestión de la información de construcción, y en la etapa de operación del proyecto, el modelo puede ser utilizado para coordinar las labores de mantenimiento.

Una limitación de este estudio está relacionada con la falta de automatización de la transferencia de datos del modelo BIM 5D al modelo de dinámica de sistemas, por lo que futuras investigaciones podrían enfocarse a desarrollar herramientas computacionales que hagan posible la comunicación automatizada entre los dos modelos. Por

otro lado, futuras investigaciones podrían enfocarse en el análisis de la afectación del comportamiento del flujo de caja, a partir de modificaciones en los diferentes parámetros y variables de los que dependen los flujos de dinero. ■

Agradecimientos

Apreciamos el apoyo brindado por el grupo de investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander. De la misma forma, agradecemos al grupo SIMON de Investigaciones en Modelamiento y Simulación de la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Industrial de Santander por la licencia del software Evolución 4.5. Por otro lado, agradecemos a Autodesk por las licencias educacionales de los softwares Autodesk Revit 2020 y Autodesk Navisworks 2020. Se agradece al ingeniero Andrés Adolfo Ardila Poveda, quien participó como miembro del equipo encargado del modelado BIM del caso de estudio analizado.

Omar Sánchez agradece el apoyo recibido por Minciencias a través de la convocatoria Doctorados Nacionales 2015.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

1. AL-JOBURI, Khalil; AL-AOMAR, Raid; BAHRI, Mohammed. Analyzing the impact of negative cash flow on construction performance in the Dubai area. In: Journal of Management in Engineering. Octubre, 2012. vol. 28, no. 4, p. 382-390 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000123](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000123)
2. AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. Integrated Project Delivery: A Guide. 2007. <http://www.aia.org/groups/aia/documents/pdf/aiab083423.pdf>
3. BECERIK, Bürçin; JAZIZADEH, Farrokh; LI, Nan; CALIS, Gulben. Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management. In: Journal of Construction Engineering and Management. Marzo, 2012. vol. 138, no. 3, p. 431-442. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433)
4. BOHÓRQUEZ, Jherson; PORRAS, Hernán; SÁNCHEZ, Omar; MARIÑO, María. Planificación de recursos humanos a partir de la simulación del proceso constructivo en modelos BIM 5D. En: Entramado. Enero – Junio, 2018. vol. 14, no. 1, p. 252-267. <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27106>
5. CHEN, Hong. Development of a systematic integration approach for multi-level cost flow prediction and management. In: University of Florida. 2002. <https://ufdc.ufl.edu/AA00024610/00001>
6. CHEN, Hong. Developing cost response models for company-level cost flow forecasting of project-based corporations. In: Journal of Management in Engineering. Octubre, 2007. vol. 23, no. 4, p. 171-181. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2007\)23:4\(171\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2007)23:4(171))

7. CHEN, Hong; O'BRIEN, William; HERBSMAN, Zohar. Assessing the accuracy of cash flow models: The significance of payment conditions. En: *Journal of Construction Engineering and Management*. Junio, 2005. vol. 131, no. 6, p. 669-676. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:6\(669\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:6(669))
8. CHENG, M. Y.; CAO, M. T.; Herianto, J. G. Symbiotic organisms search-optimized deep learning technique for mapping construction cash flow considering complexity of project. In: *Chaos, Solitons and Fractals*. June, 2020. vol. 138, p. 109869. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109869>
9. ELGHAISH, Faris; ABRISHAMI, Sepehr; ABU SAMRA, Soliman; GATERELL, Mark; HOSSEINI, Reza; WISE, Richard. Cash flow system development framework within integrated project delivery (IPD) using BIM tools. In: *International Journal of Construction Management*. Enero, 2019. p. 1-16. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1573477>
10. FORRESTER, Jay. *Industrial Dynamics*. 1961. http://www.laprospective.fr/dyn/francais/memoire/autres_textes_de_la_prospective/autres_ouvrages_numerises/industrial-dynamics-forrester-1961.pdf
11. HERRERA, Rodrigo F.; SÁNCHEZ, Omar; CASTAÑEDA, Karen; PORRAS, Hernán. Cost overrun causative factors in road infrastructure projects: A frequency and importance analysis. In: *Applied Sciences*. Agosto, 2020. vol. 10, no. 16, 5506. <https://doi.org/10.3390/app10165506>
12. JARRAH, Raed; KULKARNI, Devdatta; O'CONNOR, James. Cash flow projections for selected TxDoT highway projects. En: *Journal of Construction Engineering and Management*. Marzo, 2007, vol. 133, no. 3, p. 235-241. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:3\(235\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:3(235))
13. KEHILY, Dermot; UNDERWOOD, Jason. Embedding life cycle costing in 5D BIM. En: *Journal of Information Technology in Construction*, Septiembre, 2017. vol. 22, p. 145-167. <https://www.itcon.org/2017/8>
14. KHALAF, Mohammed; AKBAS, Ragip. Parametric construction cash flow modeling combined with Building Information Modeling and simulation. In: *International Civil Engineering and Architecture Conference 2019*. April, 2019. https://www.researchgate.net/publication/332951025_PARAMETRIC_CONSTRUCTION_CASH_FLOW_MODELING_COMBINED_WITH_BUILDING_INFORMATION_MODELING_AND_SIMULATION
15. KIM, Hyunjoo; GROBLER, Francois. Preparing a construction cash flow analysis using Building Information Modeling (BIM) technology. In: *Journal of Construction Engineering and Management*. Febrero, 2013. vol. 1, no. 1, p. 1-9. <https://doi.org/10.1061/CEPM.2013.3.1.001>
16. KIM, Jin. Use of BIM for effective visualization teaching approach in construction education. In: *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*. Julio, 2012. vol. 138, no. 3, p. 214-223. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000102](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000102)
17. LE, Thi; VU, Thi; VAN, Cong. Identifying factors influencing on the cash flow of construction companies: Evidence from Vietnam stock exchange. In: *Management Science Letters*. Julio, 2020. vol. 10, no. 1, p. 255-264. <http://dx.doi.org/10.5267/j.msl.2019.7.036>
18. LIU, Shu; WANG, Chang. Profit optimization for multiproject scheduling problems considering cash flow. In: *Journal of Construction Engineering and Management*. Diciembre, 2010. vol. 1, p. 129-133. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000235](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000235)
19. LU, Qiqi; WON, Jongsung; CHENG, Jack. A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). In: *International Journal of Project Management*. Septiembre, 2016. vol. 34, no. 1, p. 3-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.09.004>
20. LU, Weisheng; PENG, Yi; SHEN, Qiping; LI, Heng. Generic model for measuring benefits of BIM as a learning tool in construction tasks. In: *Journal of Construction Engineering and Management*. Febrero, 2013. vol. 139, no. 2, p. 195-203. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000585](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000585)
21. MAHALINGAM, Ashwin; KASHYAP, Rahul; MAHAJAN, Charudatta. An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects. In: *Automation in Construction*. 2010. vol. 19, no. 2, p. 148-159. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.015>
22. MEJÍA, Guillermo; SÁNCHEZ, Omar; CASTAÑEDA, Karen; PELLICER, Eugenio. Delay causes in road infrastructure projects in developing countries. In: *Revista de la Construcción*. 2020. vol. 19, no. 2, p. 220-234. <https://doi.org/10.7764/rdlc.19.2.220-234>
23. MELIK, Serhat. Cash flow analysis of construction projects using fuzzy set theory. Thesis Master of Science in Civil Engineering. Middle East Technical University. Department of Civil Engineering. 2010. <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12612517/index.pdf>
24. MINISTERIO DEL TRABAJO DE COLOMBIA. Calculadora laboral. Ministerio del trabajo de Colombia <http://www.mintrabajo.gov.co/calculadora-laboral.html>. 2020
25. MIRNEZAMI, S. A.; MOUSAVI, S. M.; MOHAGHEGHI, V. A new interval type-2 fuzzy approach for multi-scenario project cash flow assessment based on alternative queuing method and dependency structure matrix with a case study. In: *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. August, 2020. vol. 95, p. 103815. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.103815>
26. NAVON, R. Resource-based model for automatic cash-flow forecasting. In: *Construction Management and Economics*. Abril, 1995. vol. 13, no. 6, pp. 501-510. <https://doi.org/10.1080/01446199500000058>
27. NAVON, R. Company-level cash-flow management. In: *Journal of Construction Engineering and Management*. Marzo, 1996. vol. 122, no. 1, p. 22-29. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1996\)122:1\(22\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1996)122:1(22))
28. NING, M.; HE, Z.; JIA, T.; WANG, N. Metaheuristics for multi-mode cash flow balanced project scheduling with stochastic duration of activities. In: *Automation in Construction*. June, 2017. vol. 81, p. 224-233. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.011>
29. PARK, Hyung; HAN, Seung; RUSSELL, Jeffrey. Cash flow forecasting model for general contractors using moving weights of cost categories. In: *Journal of Management in Engineering*. Octubre, 2005. vol. 21, no. 4, p. 164-172. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2005\)21:4\(164\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2005)21:4(164))
30. POLANCO SÁNCHEZ, Lina Marithza. Análisis de rendimientos de mano de obra para actividades de construcción - estudio de caso edificio J UPB. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Civil. Escuela de Ingenierías y Administración. 2009. 72 p. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/635>
31. PORRAS, Hernán; SÁNCHEZ, Omar; GALVIS, José. Metodología para la elaboración de modelos del proceso constructivo 5D con tecnologías "Building Information Modeling". En: *Revista Gerencia Tecnológica Informática*. Abril, 2015. vol. 14, no. 38, p. 59-73. <http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/view/4869>
32. PORRAS, Hernán; SÁNCHEZ, Omar; GALVIS, José; JAIMEZ, Néstor; CASTAÑEDA, Karen. Tecnologías "Building Information Modeling" en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzado. En: *Entramado*. Enero - junio, 2015. vol. 11, no. 1, p. 230-249. <https://doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21116>
33. QIAN, Ang-Yu. Benefits and ROI of BIM for Multi-Disciplinary Project Management. Undergraduate. Singapore. National University of Singapore. 2012. 45 p. <http://www.icoste.org/wp-content/uploads/2011/08/Benefits-and-ROI-of-BIM-for-Multi-Disciplinary-Project-Management.pdf>
34. QING, Liu; TAO, Gao; PING, Wang. Study on building lifecycle information management platform based on BIM. In: *Research Journal*

of Applied Sciences, Engineering and Technology. Enero, 2014. vol. 7, no. 1, p. 1-8. <https://doi.org/10.19026/rjaset.7.212>

35. SÁNCHEZ RIVERA, Omar Giovanny. Análisis del flujo de caja de la construcción de un proyecto con modelos BIM 5D y dinámica de sistemas. Trabajo de Maestría. Bucaramanga. Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. 2015. 248 p.

36. SU, Yi; LUCKO, Gunnar. Synthetic cash flow model with singularity functions. I: Theory for periodic phenomena and time value of money. In: Journal of Construction Engineering and Management. Febrero, 2015. vol. 141, no. 3, p. 1-12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000938](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000938)

37. SURETY INFORMATION OFFICE, 2015. Why Do Contractors Fail?. http://suretyinfo.org/?wpfb_dl=151

38. TANG, C; LEUNG, A.; LAM, K. Entropy Application to Improve Construction Finance Decisions. In: Journal of Construction Engineering and Management. Octubre, 2006, vol. 132, no. 10, p. 1099-1113. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:10\(1099\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:10(1099))

39. WANG, Kun; WANG, Wei; WANG, Han; HSU, Pei; WU, Wei; KUNG, Chen. Applying building information modeling to integrate schedule and cost for establishing construction progress curves. In: Automation in Construction. Diciembre, 2016. vol. 72, p. 397-410. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.10.005>

40. WANG, Wei; WENG, Shao; WANG, Shih; CHEN, Cheng. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. In: Automation in Construction. Noviembre, 2014. vol. 37, p. 68-80. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.009>