

ESTRATEGIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL DE COSTOS EN
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN CON BASE EN LA APLICACIÓN DE LA
METODOLOGÍA DEL PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE – PMI



JORGE ANTONIO CARO ORTEGA
CARLOS EUGENIO GUERRERO HERRERA

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C.

2022



Universidad
de Cartagena
Fundada en 1827



Acreditación Institucional de Alta Calidad
Resolución 2583 del 26 de febrero de 2014. Ministerio de Educación Nacional



ESTRATEGIAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL DE COSTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN CON BASE EN LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE – PMI

JORGE ANTONIO CARO ORTEGA
CARLOS EUGENIO GUERRERO HERRERA

Trabajo de Grado (Monografía) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Ing. Rafael Julio Madrid García
Director de Trabajo de Grado

ESCONPAT – Grupo de Investigación Estructuras, Construcción y Patrimonio

Línea de Investigación: Gerencia de Proyectos

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C.

2022



NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director
NOMBRE DIRECTOR

Firma del jurado
NOMBRE EVALUADOR 1

Firma del jurado
NOMBRE EVALUADOR 2



AGRADECIMIENTOS

Ante todo, agradecer a Dios y a la vida por permitirme vivir esta gran etapa universitaria, donde aprendí, no solo sobre el conocimiento científico que allí se imparte, sino a conocerme a mí mismo y a crecer personalmente. En todo este camino, tuve el apoyo incondicional de mis padres, Patricia Ortega Genes y Jorge Caro Rodríguez, quienes fueron un soporte vital en este recorrido y a quienes dedico este trabajo por todas las cosas que tuvieron que surtir en sus vidas para estar donde están en este momento. No me alcanzará la vida para agradecerles todo lo que han hecho por mí, pero si de algo estoy seguro, es que a partir de ahora, cada paso que dé en mi vida, será para hacerlos sentir más orgullosos de lo que sé, se sienten ahora. A todos mis familiares, amigos, compañeros y profesores, con quienes tuve la maravillosa oportunidad de cruzarme en este camino, y quienes, de alguna u otra forma, me expresaron su apoyo para continuar y persistir, infinitas gracias por estar ahí cuando lo necesité.

Jorge Antonio Caro Ortega.

Mi agradecimiento se dirige a quienes han forjado mi camino, y me han guiado a ser quien soy el día de hoy: A Dios y a mi familia. Sin Dios, no sería nadie, y le agradezco por guiarme día a día, y ayudarme a alcanzar las metas que hasta el día de hoy me he propuesto, y espero me acompañe en las que tengo a futuro. A mis padres, Álvaro y Marelvis, por darme siempre todo su amor, por orientarme por el camino del bien, por trabajar codo a codo conmigo para alcanzar este título, porque no es mi título universitario, es nuestro título. A mis hermanos, Samuel y Laura, por hacer ameno este arduo camino y estar siempre que los necesité. A mis tíos, primos y abuelos, por siempre darme su apoyo. A mi Fiore, por su apoyo y comprensión en esta etapa final de mi carrera y a las personas que hoy no están en mi vida, pero que en su momento fueron de apoyo en esta causa. Y nuevamente quiero agradecer a Dios, porque, aunque soy un convencido que debemos prepararnos y luchar por lo que queremos y por nuestras metas, Jehová es quien da la victoria.

Carlos Eugenio Guerrero Herrera.

CONTENIDO

RESUMEN -----	8
ABSTRACT -----	8
INTRODUCCIÓN-----	9
1. ASPECTOS GENERALES DEL USO DE LA METODOLOGÍA DEL VALOR GANADO COMO HERRAMIENTA PARA CONTROLAR COSTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN-----	11
2. ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR EL CONTROL DE COSTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN -----	21
3. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS QUE OPTIMIZAN EL CONTROL DE COSTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN -----	37
4. COMPARACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS CLASIFICADAS QUE OPTIMIZAN EL CONTROL DE COSTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN-----	40
CONCLUSIONES-----	42
RECOMENDACIONES-----	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Criterios de clasificación de las estrategias planteadas para cada categoría propuesta.	37
Tabla 2 Clasificación de las estrategias analizadas dentro de las categorías propuestas.	38

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Número de estrategias analizadas, clasificadas en cada categoría.	39
Gráfica 2 Porcentaje de estrategias analizadas, clasificadas dentro de cada categoría.	39

RESUMEN

En el siguiente trabajo, se analizarán las estrategias que se han planteado para optimizar el control de costos en proyectos de construcción, permitiendo destacar aquellas que sean aplicables al territorio colombiano, de acuerdo al contexto de la industria constructora en el país. En primera instancia, se presentan las investigaciones locales y regionales que se han adelantado sobre la temática, así como las mencionadas estrategias que se han aplicado a nivel nacional e internacional; posteriormente, se clasificaron en varias categorías, mostrando aquellas que generan un producto final, otras que dependen del estudio de la metodología central desde distintos enfoques, y aquellas que se asocian con nuevas teorías matemáticas, las cuales deben ser estudiadas con mayor profundidad. Finalmente, se evidenció que las estrategias clasificadas en la primera categoría, pueden ser directamente aplicadas en futuros proyectos de construcción, mientras que las clasificadas en la segunda y tercera categoría, deben ser acogidas por la academia, desde los semilleros de investigación de las universidades, con el fin de ahondar más en la temática, estudiando su aplicación en el campo, permitiendo así su enseñanza en los centros de estudio.

ABSTRACT

In the following paper, the strategies to optimize the costs control in construction projects will be analyzed, highlighting those that are applicable in Colombia. First of all, the local and regional investigations about the topic and the strategies applied in the national and international level will be presented. Secondly, these strategies were classified in those that generate a product, others that integrates the central method with different approaches, and those that were associated with new math theories. Finally, it's evidenced that the strategies classified in the first group can be applied directly on future construction projects. Meanwhile, those classified in the second and third group should be taken into account by the colleges' investigation centers. So, the investigations about these strategies can be dipped more, and its application in the field, as well as its teaching in the universities will be done.

INTRODUCCIÓN

En todo proyecto que se presente a nivel de ingeniería, existe un sinnúmero de variables con las cuales se debe trabajar simultáneamente de manera adecuada para satisfacer a los *stakeholders* y a otras personas involucradas y afectadas por el mismo (*Guide to the Project Management Body of Knowledge - PMBOK Guide*, 2017). Una de esas variables que se deben analizar son los costos del proyecto, los cuales, si no se controlan adecuadamente, pueden generar sobrecostos. Particularmente, cuando se ejecutan proyectos de construcción, dichos sobrecostos, en parte, son producto de la deficiente articulación e integración de los involucrados, lo que genera incompatibilidades, principalmente, en los diseños del proyecto (Lozano Serna et al., 2018); de la misma manera, factores como la fluctuación de la moneda y las prácticas fraudulentas evidencian, en mayor o menor grado, una contribución a los mencionados sobrecostos (Lozano Serna et al., 2018).

La acumulación de sobrecostos a lo largo del proyecto deriva en obras que quedan inconclusas o que se tienen que someter a prórrogas, suspensiones o adiciones, lo que a su vez, termina resultando en infraestructura que no llega a desarrollar la función proyectada y se convierten en bienes que no se pueden sustentar (Aponte Díaz, 2014). En Colombia, hasta el 9 de septiembre de 2020, la Contraloría General de la Nación reportó un total de 1400 obras sin terminar y proyectos críticos, representando una inversión total de recursos públicos que alcanza la cifra de 25 billones de pesos (Contraloría, 2020).

Dentro de los estudios que se han llevado a cabo a nivel local en la ciudad de Cartagena de Indias, y en la región Caribe colombiana, el enfoque está sobre algunas filosofías que han surgido ligadas a la industria de la construcción, tales como Lean Construction y BIM. Además, se han propuesto herramientas para la gestión social, ambiental y económica de los proyectos, así como formas de mitigar sus impactos sobre las poblaciones circundantes de los mismos. Sin embargo, los lineamientos propuestos por el PMI no han sido tema de estudio, y mucho menos la metodología del valor ganado; por ello, se debe destacar la importancia de la presente monografía en visualizar el potencial que tienen las distintas alternativas y estrategias que se han planteado en el uso de la metodología, que ayuden a los

gerentes de proyectos a tomar decisiones informadas y acertadas en la ejecución de los mismos.

El principal objetivo del presente trabajo de grado es identificar las distintas estrategias, bajo los lineamientos del Project Management Institute – PMI, que se han aplicado alrededor del mundo, que han permitido optimizar la forma como se ejerce control sobre los costos de proyectos de construcción, mediante un análisis cualitativo de las estrategias encontradas, clasificándolas y organizándolas en distintas categorías, y poder así compararlas para destacar las más favorables que puedan adaptarse al territorio nacional.

1. ASPECTOS GENERALES DEL USO DE LA METODOLOGÍA DEL VALOR GANADO COMO HERRAMIENTA PARA CONTROLAR COSTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

El Project Management Institute (PMI) es una entidad a nivel mundial que se encarga de presentar las reglas básicas para gestionar y gerenciar, de manera adecuada, un proyecto. A través de los años de su existencia, han publicado diversos instrumentos que orientan a los tomadores de decisiones sobre la manera como deben trabajar en la ejecución de los proyectos. En su texto “*Guide to the Project Management Body of Knowledge – PMBOK Guide*” o en español “Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos”, cuya sexta edición fue la base para el desarrollo de esta monografía, presenta un procedimiento claro, basado en las buenas prácticas, para poder manejar los costos en la ejecución de los proyectos y controlar las variables que los afectan directamente.

Un estándar global que recomienda el Project Management Institute (PMI) es el Método del Valor Ganado (EVM, por sus siglas en inglés), el cual se enfoca en la medición del desempeño del proyecto (Czemplik, 2014), así como en hacer proyecciones a futuro y verificar que el trabajo se esté ejecutando de la mejor forma posible. El uso de este estándar ha derivado en nuevas formas de aplicarlo en la ejecución de proyectos, observando sus debilidades y fortalezas, y proponiendo nuevos puntos de vista. En principio, se presenta una revisión de los principales antecedentes a nivel local y regional, así como el estado del arte a nivel nacional e internacional para entender lo que se ha trabajado de la temática.

Desde el punto de vista local y regional, la aplicación de la metodología del valor ganado no se evidencia dentro de la revisión bibliográfica hecha. El enfoque de las investigaciones se ha puesto sobre otras filosofías que han surgido para complementar el análisis de la gestión de proyectos de construcción, como son la Lean Construction y la BIM (Building Information Modeling). Por ejemplo, es el caso de (Roca Rivaldo & Vergara Peñate, 2018) que se plantean como objetivo tomar en consideración el sistema Last Planner (herramienta

utilizada en Lean Construction) y, mediante aprendizaje electrónico (o e-learning), permitirle a una empresa dedicada a la ejecución de proyectos civiles, interactuar en un espacio virtual para estar al tanto del progreso de una obra en específico que se venía desarrollando. La evidencia de la aplicación de e-learning se da en la producción de una página web por parte de los autores, en donde los trabajadores asociados al proyecto, realizan el seguimiento del estado de las actividades, y permite la interacción entre los mismos.

En la misma línea, (Cervantes Verdooren & Coll Carrasquilla, 2017) aplican la herramienta Time Lapse (también de Lean Construction) para mejorar la productividad de los trabajadores en una obra civil de estudio. Se toman los principales paquetes de trabajo, como son las excavaciones, estructura e instalaciones hidrosanitarias y, en principio, se hacen observaciones acerca de los rendimientos de las cuadrillas. Posteriormente, los autores plantean acciones preventivas y correctivas que se pueden llevar a cabo para mejorar la productividad, mostrando a través de cálculos y tablas, las diferencias entre los dos escenarios descritos, es decir, antes y después de las acciones propuestas.

Por su parte, (Pacheco Vargas & Romero Silva, 2019) aplican la BIM en la construcción de un bloque académico para la Universidad de la Costa en la ciudad de Barranquilla, en la cual se utilizan algunos software y equipos especializados en realidad virtual para hacer el diseño, y hacen un comparativo con los costos incurridos en la construcción de una vivienda tipo apartamento, comercialmente vendida, mostrando el presupuesto determinado para ello. La principal conclusión a la que se llega es que, utilizando la metodología BIM, o el conjunto de software y hardware, se ahorra hasta un 75% de costos, comparado con el presupuesto asignado para la construcción de la vivienda.

Si bien es válida la presentación de los resultados de la aplicación de la metodología BIM, la conclusión a la que llegan no está acorde, puesto que no se puede comparar los precios de unos software y hardware especializados, que representan solo equipos, con los costos incurridos en la construcción de una vivienda, los cuales implican, además de los equipos, herramientas, materiales y mano de obra con los que se debe contar para tal actividad. Es por ello que se recomienda, para futuros estudios, incluir todo lo necesario para la aplicación de

la metodología BIM en un proyecto de construcción, como son las mencionadas herramientas y mano de obra.

A nivel nacional, los estudios tienden más al análisis de los lineamientos del PMI (así como de la metodología del valor ganado), como por ejemplo, el trabajo de (Quimbayo Álvarez & Jurado Jiménez, 2020) en donde se comparan las estrategias propuestas por distintos estándares internacionales en gestión de proyectos (enfocándose con mayor peso en el PMI) y las que realmente ponen en práctica las empresas de construcción de la ciudad de Pereira, Risaralda. A partir de los resultados, determinaron que la mayoría de los encargados de gestión de proyectos de las empresas tienen conocimiento sobre dichas estrategias y el 90% de ellos resaltan la importancia de la utilización e incorporación de las herramientas para gestionar obras eficientemente (Quimbayo Álvarez & Jurado Jiménez, 2020). Además, reconocen que la brecha radica en que muy pocos están dispuestos a realmente adquirir la cultura y la disciplina organizacional que demandan los estándares internacionales, y tampoco se presenta evidencia del uso generalizado de las estrategias y herramientas que se proponen.

Por su parte, la aplicación de los lineamientos que ofrece el PMI (distintos a la metodología del valor ganado) en organizaciones de distinta índole, es destacado en trabajos como el de (Solarte Gaitán, 2019), que utiliza el Consultorio Ambiental de la Universidad Libre, sede Bogotá, para proponer una serie de nuevos formatos que, en su concepto, deberían tener para la correcta gestión de los proyectos. Asimismo, evidenció las distintas estrategias que utilizó para la divulgación y establecimiento de la nueva documentación. También lo hace (Molina Hurtado, 2017) en la unidad administrativa de construcción, en una empresa de Bogotá, con el objetivo de que gestionen de manera más eficiente los futuros proyectos que ejecuten. Debido a la extensión de los lineamientos del PMI, la autora solo se centra en mejorar la gestión del alcance, el tiempo y los costos de los mismos.

No obstante, en ninguno de los dos trabajos presentados anteriormente, se analiza el impacto de la aplicación de estas nuevas herramientas dentro de las organizaciones. Por ello, se insta a la comunidad académica a hacer seguimiento de estas estrategias en específico, para

conocer si realmente se optimizó el control hecho sobre los recursos, y poder sacar conclusiones al respecto, destacando ventajas y debilidades.

De otro lado, la aplicación de la metodología del valor ganado se ha evidenciado en distintos tipos de proyectos de obra civil, distribuidos en el territorio nacional, que permitió encontrar falencias en la ejecución de los mismos, y hacer ver a los gerentes, dónde se necesitaban tomar acciones correctivas. Es el caso, por ejemplo, de (Morales Rosas, 2016) que aplica la metodología en un proyecto de viviendas en el municipio de Madrid, Cundinamarca. En el documento, definió todos los aspectos necesarios para analizar las variables del método del valor ganado, esto es: la estructura de desglose de trabajo (EDT, o WBS, por sus siglas en inglés), cronograma y presupuesto en el tiempo. Después del análisis hecho, se concluyó que, entre otras cosas, el proyecto hasta la fecha de corte donde se tenía información de su ejecución, se encontraba en sobre costo y atraso, y que sus causas fueron la falta de obreros, “por lo que se autorizó, como medida de choque, la contratación de mayor cantidad de personal para alcanzar los objetivos” (Morales Rosas, 2016).

Asimismo, (Rey Nariño & Salinas Velasco, 2013) analizaron y aplicaron la metodología a la construcción de un proyecto de 2 torres de viviendas de 12 pisos cada una, ubicadas en la zona metropolitana de Bucaramanga, Santander. Tal y como en el caso anterior, los autores adquirieron la información necesaria del proyecto para aplicar el método del valor ganado y hacer los cálculos y análisis pertinentes que les permitieran conocer el estado del mismo. A partir de la información adquirida, a la fecha de corte encontraron que la obra, en términos del cronograma, se encontraba atrasada, pero en términos de ejecución del presupuesto se presentaba un ahorro. Más allá de lo anterior, no se especifica el porqué de la conclusión, y simplemente se especula sobre sus causas, aduciendo a la eficiencia del personal de trabajo o la programación de actividades que no se han ejecutado.

Se evidencia, también, el uso de la metodología en proyectos de construcción públicos, como el caso de (Burgos Cuevas, 2013), en donde pone de manifiesto el estado de un proyecto de construcción de un coliseo de eventos en el municipio de Guasca, Cundinamarca. A partir de la información recolectada en campo y el análisis de la misma, el autor concluyó que, en términos de cronograma y costos, el proyecto se encontraba, atrasado por un lado, y con

sobrecostos, por el otro. Dentro de las causas que se encontraron sobre este hecho, se presenta que el proyecto tuvo “variaciones en las cantidades de ejecución” (Burgos Cuevas, 2013) y que ello tuvo como consecuencia “el recorte de la cubierta, lo que fue decidido por el dueño del proyecto (la alcaldía de Guasca) planeando una futura terminación” (Burgos Cuevas, 2013).

De la misma forma, (González Ibáñez, 2016) hace un seguimiento al proyecto de construcción de una nueva sede del Ministerio de Trabajo en el municipio de Facatativá, Cundinamarca, el cual, poco después de que iniciaran las obras, fue suspendido y prorrogado varias veces, por lo que los costos y tiempos, inicialmente establecidos, fueron sobrepasados. Por ello, el autor puso su conocimiento al servicio de la empresa contratista para analizar el estado financiero del proyecto, para lo cual utilizó el método del valor ganado, y que ella pudiera reclamar lo pertinente a la entidad contratante. De acuerdo al análisis hecho, el autor concluyó que, a la fecha de realización del trabajo, “el proyecto presenta un retraso del 50% en el cronograma de actividades” (González Ibáñez, 2016). También resalta que tales retrasos se dan “debido a los inconvenientes técnicos en los diseños iniciales y los problemas climatológicos que rodeó el tiempo de ejecución del contrato” (González Ibáñez, 2016).

La aplicación de esta metodología también se muestra en el sector del petróleo, tal y como lo hace (Villamizar Arenas, 2020) que la pone en práctica en las obras de construcción de un oleoducto desde Puerto Boyacá, Boyacá, hasta Coveñas, Sucre. En el trabajo, el autor concluye que se obtuvieron ahorros, tanto en tiempos como en costos, en cada una de las tres fases del proyecto en cuestión, estimando una efectividad en la ejecución del 6,36% sobre los costos reales, lo que demuestra que “la técnica es efectiva y contribuye a mejorar el control de proyectos” (Villamizar Arenas, 2020).

Por su parte, la investigación de (Lacouture Carvajal, 2014) evidencia la gestión del valor ganado en un proyecto de infraestructura vial, que contempla la ampliación a doble calzada y la construcción de un tramo de vía que desde el interior del país conduce a la costa Caribe colombiana. A partir del análisis hecho con la información de cronograma y presupuesto entregado por la empresa contratista, se evidenció que, en general, a la fecha de corte para medir el estado del proyecto, éste se encontró adelantado respecto al cronograma planeado,

y con ahorros en términos del presupuesto. Sin embargo, al diferenciar entre las actividades de ampliación de vía y la construcción de la vía nueva, la primera mostraba falencias tanto en cronograma como en presupuesto. Es así como es posible, por ejemplo, encontrar un punto de partida para el análisis de lo que está pasando en las actividades de ampliación de vía, que permita aunar esfuerzos y disponer de todos los recursos necesarios para mejorar los indicadores con el fin de que, tanto el cronograma como el presupuesto, se acerquen a lo planeado, sin sobreponerse a lo inicialmente establecido.

Es de destacar, además, el trabajo de (Gamboa Santa & Pinto Villamizar, 2016), en el cual analizan la situación del proyecto “Construcción de dos baterías sanitarias en el colegio Nuestra Señora de las Mercedes, Sede B, del municipio de Lebrija, Santander”, a través del método del valor ganado. Así, los autores concluyeron, entre otras cosas, “que las demoras en tiempo del proyecto se deben a ciertas actividades como la carpintería metálica, cimentaciones y estructuras, enchapes y pisos y aparatos sanitarios” (Gamboa Santa & Pinto Villamizar, 2016), lo que muestra la importancia de la gestión del valor ganado, que permite identificar claramente en qué actividades se encuentran los retrasos o los sobrecostos, para tomar las acciones que conlleven a la consecución exitosa de los objetivos propuestos.

En general, se observan los buenos resultados que ha traído la aplicación de la metodología del valor ganado en los distintos proyectos de construcción ejecutados en el país, permitiendo señalar los puntos débiles de los mismos, con el fin de que los gerentes tomen las medidas correctivas necesarias para el mejor desarrollo de las actividades.

Dejando de lado el entorno nacional, alrededor del mundo se observa que el estudio de la metodología del valor ganado, realmente ha llamado la atención de la academia, permitiendo comparar el uso de la misma con otras que también se aplican, y viendo el potencial que ofrece su implementación en la industria de la construcción. Es así como se destaca el trabajo de (Abdul-Rahman et al., 2011) en donde se hizo un diagnóstico de los métodos más utilizados en el sector de la construcción para monitorear el rendimiento de los proyectos ejecutados en Malasia. Sus resultados indicaron que los métodos más utilizados para tal monitoreo son: a) modelos estocásticos, b) el método del valor ganado, c) métodos que se basen en la lógica difusa, y d) otros métodos que no clasifican dentro de los anteriores.

Asimismo, (Zhan et al., 2019) miden el nivel de maduración en el uso de la metodología del valor ganado en distintas organizaciones, específicamente, dedicadas a la industria del petróleo y el gas natural en este mismo país. De aquí resultó que, a nivel organizacional, “las compañías implementan la metodología del valor ganado a un nivel moderado, pero no a su máximo potencial, mientras otras la implementan voluntariamente, pero sin alcanzar aún el nivel para optar a una acreditación” (Zhan et al., 2019). Esto se debe, según el mismo estudio, a que “no están familiarizados con la gestión, o no existe apoyo para trabajar con el valor ganado” (Zhan et al., 2019), además de la “falta de acompañamiento de la alta dirección (en un 80% de los casos) y la falta de motivación [para la aplicación de la metodología] (en el 87% de los mismos)” (Zhan et al., 2019).

En este punto, se debe destacar el estudio hecho por (Kim et al., 2016), que amplía un poco más el panorama presentado en el anterior trabajo, y elaboran un diagnóstico sobre los factores que impiden la aplicación del método del valor ganado en la industria de la construcción de Vietnam. Es así como, a partir de las encuestas aplicadas, se identificaron los 4 principales factores que son los causantes de que no se implementen los lineamientos de dicho método, los cuales son:

- ✓ Falta de expertos en manejar la metodología.
- ✓ Falta de conocimiento de la metodología.
- ✓ Falta de guías, normas técnicas y estándares acerca de la metodología.
- ✓ Falta de inversiones, políticas establecidas y recursos humanos que puedan manejar la metodología en las compañías de construcción.

Más allá de Vietnam, el estudio hecho por (Bagherpour et al., 2020) midió las interacciones que se dan entre los principales factores que afectan la implementación de la metodología del valor ganado en los proyectos de construcción a nivel mundial, a través de un algoritmo matemático llamado Modelo Estructural Interpretativo (ISM, por sus siglas en inglés). Con ello, los autores pudieron concluir que las inapropiadas condiciones del mercado inmobiliario, así como los indicadores macroeconómicos son los factores que más influencia tienen sobre la metodología del valor ganado. Esto se puede explicar en el hecho de que los indicadores que maneja la metodología, se miden en unidades monetarias. Luego, como las

condiciones de un mercado y los indicadores macroeconómicos significan movimientos de dinero, esto afectaría a cualquier otra variable que dependa de los mismos.

De la misma forma, determinaron que los factores que son más dependientes y que inciden de manera directa en la implementación de la metodología del valor ganado son:

- a) Cambios en los proyectos.
- b) Inapropiada calidad en los diseños de fase III.
- c) Demoras en los pagos o desfinanciación de los proyectos.

Por tanto, los autores recomiendan fijarse muy bien de estos aspectos y monitorearlos de cerca para que no afecten significativamente los datos de entrada en la aplicación de la metodología.

Por otro lado, se han llevado a cabo estudios donde se analiza el potencial que ofrece la metodología del valor ganado para su aplicación en el sector de la construcción. Retomando el trabajo de (Abdul-Rahman et al., 2011), ellos hacen lo propio a través de encuestas aplicadas a personas que trabajaban en compañías privadas y públicas dedicadas a la construcción. Es así como los autores percibieron que los modelos estocásticos son ampliamente utilizados en la gestión de proyectos, principalmente, entre contratistas privados, debido a la facilidad que representa manejar las variables de entrada, en comparación con las utilizadas en el método del valor ganado. Además, según los encuestados, este método presenta mayores ventajas de flexibilidad y precisión en sus resultados cuando se le compara con los métodos que utilizan la lógica difusa.

De esta manera, el potencial de uso de la metodología es alta ya que brinda resultados precisos y óptimos. Sin embargo, tiene la dificultad en no establecer, de manera clara y concisa, los pasos a seguir para la toma de información que permita hacer los cálculos pertinentes, lo que ocasiona que su uso y el conocimiento de la misma no este ampliamente extendido.

Por su parte, (Nkiwane et al., 2016) presentan un estudio parecido al anterior, pero observando este potencial de uso para proyectos que se desarrollan en Sudáfrica, además de mirar su funcionalidad en el uso de la información para tomar decisiones a nivel directivo en

dichos proyectos. En el estudio, se identifican tres partes que actúan en el correcto desarrollo de estos:

- a) Contratistas (directos encargados de la construcción).
- b) Supervisores (que, además, cumplen funciones de consultores).
- c) Directores de proyecto (que gestionan la parte administrativa).

En términos generales, la principal conclusión a la que llegaron los autores es que el uso de la metodología del valor ganado está ampliamente generalizado entre las empresas y/o personas que se dedican a la dirección de proyectos de construcción, los cuales son considerados como el nivel más alto en la estructura del desarrollo de los mismos. Esto se observa, principalmente, en los años de experiencia que tienen los involucrados en este sector (16 años), por lo cual, han obtenido buenos resultados para controlar actividades y tomar decisiones que afecten positivamente el desarrollo de las mismas y del proyecto en su conjunto.

Por parte de los contratistas y supervisores/consultores, el asunto es diferente. Reconocen que, debido a sus funciones, ahondar en el conocimiento y aplicación de la metodología no agregaría nada a su valor dentro del proyecto. Por el contrario, les generaría más actividades a llevar a cabo, sin conocer realmente el aporte que tendrían los resultados obtenidos.

Es así como los autores recomiendan que, debido a los buenos resultados que se obtienen en el control de proyectos utilizando la metodología del valor ganado, esta última debería ser requerimiento contractual para las futuras obras o proyectos que se desarrollen. De la misma forma, se establece que, en vista de que los contratistas y supervisores tienen mayor contacto con el desarrollo de las obras, estos deberían tener la función principal de gestionar las actividades que se vayan realizando, de manera que se pueda dar una comunicación asertiva entre las tres partes involucradas. Asimismo, se plantea la visión de utilizar el método del valor ganado de una forma pragmática, que permita establecer un plan de trabajo más realista y que genere el espacio para la negociación de recursos y tiempo con el financiador del proyecto.

Finalmente, se observa que la atención a la aplicación de la metodología, viene creciendo y generando interés en distintos países en vía de desarrollo, entre los que se encuentra Colombia, en donde se busca utilizar herramientas que permitan la ejecución efectiva de los recursos, así como su control y seguimiento, de manera que los proyectos que se desarrollen en la industria de la construcción, puedan ser terminados eficientemente.

2. ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR EL CONTROL DE COSTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Desde el rastreo de documentos hecho, se observaron distintas estrategias propuestas a nivel nacional e internacional, unas más elaboradas que otras, pero igual de importantes para impulsar y seguir estudiando la aplicación de la metodología del valor ganado en los proyectos de construcción.

Así, vale la pena destacar el trabajo de (Barboza Plata, 2013) que resume e integra los conceptos de la guía del PMBOK, establecidos por el PMI, y la metodología del valor ganado, explicando detalladamente los aspectos a tener en cuenta para llevar un control de costos efectivos. Lo más interesante de este trabajo es la diferenciación que hace entre las actividades para definir la línea base del proyecto (tanto en cronograma como en presupuesto) y aquellas para llevar efectivamente el control y seguimiento a la ejecución de las actividades. Posterior a definir dichas actividades, se tomó como ejemplo un proyecto que tiene datos importantes como el cronograma y presupuesto, pero que no aporta más detalles de sus características principales. A este proyecto, le aplicó la serie de pasos definidos, y finalmente, utilizó el software Microsoft Project para generar cuadros y gráficas, muy generales, que mostraran el estado del mismo a una fecha de corte específica.

Si bien el documento es muy general en su contenido, aporta una clara visión acerca de cómo se puede aplicar la metodología del valor ganado. Sin embargo, se debe reconocer el trabajo hecho por (Díaz Ortega & Rincón Dugarte, 2020) en donde diseñaron una plantilla en el software anteriormente mencionado, que genera un cuadro donde se muestran los principales indicadores y variables que se pueden calcular bajo la metodología del valor ganado. El detalle especial de este documento es que, hasta cierto punto, muestra el trabajo hecho por los autores para configurar todas las variables dentro del software, lo que permite adentrarse en el manejo de programas automatizados para la gestión de proyectos. No obstante, esta configuración no es tan clara y detallada, lo que puede llevar a cometer errores a quien tome

este trabajo como guía para lograr una herramienta como la que se muestra en el documento. De esta manera, el trabajo ofrece una oportunidad para que otros autores diseñen un procedimiento más específico, detallado y amplio, que permita describir de manera precisa la configuración de la herramienta, a través de medios como manuales o videos explicativos, con el fin de que se obtenga los instrumentos válidos para la gestión eficiente de proyectos reales.

Es de resaltar los aportes y la manera de entretrejer conocimiento que se da entre los dos documentos presentados anteriormente. Pero la realidad es que todas estas herramientas e insumos no serían efectivos si no presenta la información detallada, concisa y entendible para todas las personas involucradas en un proyecto de construcción. Es allí, donde el aporte que hace (Rivera Peña, 2012) destaca en su trabajo, mostrando el diseño de un insumo, a través del software Microsoft Excel, que permita resumir los indicadores de la gestión del valor ganado, en cuadros y gráficas precisos para su lectura y entendimiento. Además, presenta también un formato de informe ejecutivo que muestra el resumen de toda la información que un gerente de proyectos de construcción necesita para seguir y controlar las actividades que se están llevando a cabo en las obras, lo que, sin lugar a dudas, impacta en las decisiones que se deben tomar para el logro de los objetivos.

De esta manera se observa que, si bien la industria de la construcción ha sido reticente a afrontar nuevos paradigmas en la gestión de proyectos, la investigación que se ha hecho en el país, específicamente en la aplicación de la gestión del valor ganado, permite evidenciar que su manejo en obras de construcción garantiza resultados positivos en la manipulación de variables importantes como son el presupuesto y el cronograma. Además, en un contexto como el colombiano, lleno de tantas dificultades en esta industria, el país debería ser el espacio para debatir ciertas ideas y pensamientos a fin de proponer nuevas alternativas que permitan alcanzar altos estándares en la optimización y control de parámetros propios de la gestión de proyectos, y convertirse en un centro de estudios de los fenómenos que la aquejan.

A partir de lo anterior, diversos autores han dado pasos importantes en encontrar nuevos enfoques para optimizar el análisis que ofrece la metodología del valor ganado, y aunque los resultados son distintos en su forma de expresarlos, contribuyen a ampliar el alcance que

tiene la metodología, permitiendo su implementación en distintas áreas y coadyuvando al debate académico de ventajas y desventajas en la interpretación de sus resultados. Cabe resaltar que, en ciertas ocasiones, estas nuevas teorías y/o enfoques, son validados mediante ejemplos teóricos que plantean los mismos autores, pero también se observan casos en que toman proyectos reales que están en el proceso de o ya fueron ejecutados, de manera que se aplica y comprueba la nueva propuesta.

En primer lugar, se presentan los autores que, utilizando las mismas variables que resultan de la metodología del valor ganado, las sacan de su contexto de interpretación, aportan una nueva fórmula o un nuevo modelo para operar dichas variables, y se obtiene un resultado y un análisis distinto que aporta valor a la metodología. Es el caso del trabajo adelantado por (Chang et al., 2020) en donde le hace una crítica a los distintos métodos que se han desarrollado para estimar el tiempo de terminación de un proyecto, a saber, 1) el método del valor ganado (EVM); 2) método del cronograma ganado (ESM); y, 3) método de la duración ganada (EDM). Cabe aclarar que estos métodos son ampliamente desarrollados por diversos autores alrededor del mundo desde hace 20 años o más, y se ha ido enriqueciendo con otras investigaciones en distintos contextos, siendo el campo de la construcción uno de ellos.

La principal debilidad que observa el autor es que, tanto en los métodos de EVM y ESM, “no se reflejan las demoras en el cronograma cuando los costos de las actividades no críticas son mucho mayores que los costos de las actividades críticas” (Chang et al., 2020). Por otra parte, el método EDM “puede fallar en detectar un cambio en la ruta crítica cuando hay rutas paralelas con pequeñas holguras” (Chang et al., 2020). De aquí, que el autor resalte que los índices de rendimiento del cronograma obtenidos por estos métodos, resulten incorrectos, por lo que puede no señalar a los profesionales en gestión de proyectos dónde y cuándo tienen que tomar acciones correctivas.

De estas debilidades surge la idea del autor de presentar una metodología nueva para estimar el tiempo de terminación de un proyecto basándose en la cantidad de obra de las actividades y el rendimiento para ejecutar las mismas. La metodología es utilizada en dos casos teóricos tomados de la literatura respecto del tema, y es comparada con las otras metodologías que ya se mencionaron más arriba. Cada una de las estimaciones resultantes, se compararon con la

duración a la finalización actual, que se obtiene a partir del progreso del cronograma real, para calcular el porcentaje de error absoluto promedio, que sirvió como comparativo de la precisión de cada metodología estudiada.

De los resultados obtenidos, para la metodología propuesta, este porcentaje de error en el primer caso de estudio fue de 0,98%, mientras que para los otros métodos varió entre 3,26% y 9,7%. Para el segundo caso de estudio, utilizando la metodología propuesta, el porcentaje de error fue de 2,88%, mientras que aplicando los otros métodos, los porcentajes de error variaron en el rango de 9,14% a 27,42%. Esto indica que la estimación hecha con la metodología propuesta, se ajusta de manera muy precisa a la forma como se está ejecutando el proyecto, lo que presenta un nuevo enfoque que tiene en cuenta la cantidad de trabajo faltante y el rendimiento para hacer ese trabajo, cuyas variables son directamente evidenciables en los proyectos de construcción, y que el gerente de proyectos puede controlar muy fácilmente.

Por su parte, el trabajo de (Lee, 2015) presenta un método para medir y cuantificar las pérdidas acumuladas debido a la pérdida de eficiencia basada en los datos del proyecto. El método calcula las pérdidas usando la metodología del valor ganado (EVM) incorporando la tasa de producción probable de las actividades, considerando las curvas de aprendizaje para asegurar la realidad y razonabilidad en los cálculos. Incluso, el método no solo considera la pérdida de productividad para periodos hasta la fecha del análisis del proyecto, sino que también concibe esa misma variable al final del mismo, para reflejar el efecto domino en el rendimiento del trabajo faltante.

Para desarrollar esta teoría, el autor diferencia entre dos escenarios: 1) el escenario planeado, que corresponde a la línea base del proyecto, y 2) el escenario actual, que son los datos que se obtienen una vez se está ejecutando el mismo. Con esto en mente, introduce una variable llamada la relación de ineficiencia, en donde asocia la productividad esperada, conocida desde el escenario planeado, y la productividad actual, que se debe medir en el campo. Con ello, y conociendo el costo actual del trabajo completado (ACWP – Actual Cost of Work Performed) en el escenario actual, se puede estimar esa misma variable en el escenario esperado, es decir, sería el valor que tomaría la variable si los retrasos del proyecto no

estuvieran presentes. Finalmente, conociendo estas y otras variables importantes del método del valor ganado en los dos escenarios, tanto en el esperado como en el actual, se puede calcular una estimación para la terminación del proyecto, permitiendo así conocer las pérdidas generadas por los retrasos y proyectándolas hacia el futuro, mediante la variable conocida como estimación a la terminación (EAC – Estimation at Completion).

Si bien el autor utiliza esta teoría en un caso teórico para que el lector aprecie la forma en que se deben manipular las variables, es de suma importancia pasar a la práctica estos conceptos, de manera que se evidencie la trazabilidad del método en su aplicación a proyectos reales de construcción.

A su vez, (Globerson, 2017) aborda una forma de controlar los costos generales del proyecto, tomando como base el método del valor ganado. El autor define los costos generales como aquellos en los que se incurre para la infraestructura o servicios de soporte que permiten que la obra se ejecute de la mejor manera. Entre estos costos se pueden identificar la oficina en campo del director de proyectos, servicios de limpieza y de vigilancia, impuestos y tarifas, servicios públicos, entre otros. Es decir, lo que en Colombia se reconoce como la parte de Administración dentro de los costos indirectos del proyecto, también conocidos como A.I.U.

El autor presenta un indicador que permite conocer cuánto dinero se está invirtiendo en la infraestructura de soporte en comparación con el costo directo de la actividad a la que contribuye a su ejecución. El mismo depende del valor de los paquetes de trabajo que se han ejecutado y del valor de los paquetes de trabajo que han sido planeados para ser ejecutados hasta la fecha de control del proyecto. El autor indica, además, que se puede establecer un valor para este indicador que permita determinar si el valor de los paquetes de trabajo que se han ejecutado es suficiente para no retrasar la obra y permitir que las actividades sigan con el rendimiento de ejecución con la que se viene trabajando, de manera que no se sacrifique el presupuesto planeado para las utilidades del proyecto.

Con lo anterior, se permitiría reducir la intensidad de trabajo de algunas actividades de infraestructura de soporte, y redistribuirlas para su uso en otra ocasión distinta, permitiendo

ahorrar dinero por ese concepto y enfocar los esfuerzos y recursos en actividades más retrasadas, al punto de ajustarse a lo planeado tanto en el cronograma como en el presupuesto.

Hasta este punto, como ya se ha mencionado, las nuevas estrategias y/o enfoques planteados, utilizan los mismos resultados que otorga el método del valor ganado, y a partir de una nueva mirada, se ofrece un nuevo análisis e interpretación para tomar distintos tipos de decisiones que afecten, en la medida de lo posible, de manera positiva al proyecto. Sin embargo, hay autores que, yendo más allá, traen a colación teorías matemáticas que se han desarrollado hace aproximadamente, entre 50 a 60 años, y las utilizan y adoptan a los resultados que ofrece la metodología del valor ganado, permitiendo abordar otros puntos de vista que no se tenían en consideración, y aporta al debate académico, permitiendo encontrar salidas ágiles para la aplicación de la metodología, específicamente, en los proyectos de construcción.

Tal es el caso de una de las metodologías más ampliamente estudiadas, que es aquella que utiliza la lógica matemática difusa como base de los cálculos. La misma es desarrollada por (Moslemi Naeni et al., 2014) en donde, en primera instancia, los autores argumentan que en el desarrollo de muchos proyectos, hay actividades a las cuales no se les conoce la cantidad total de trabajo que hace falta para terminarlas, es decir, son actividades que tienen un alto grado de incertidumbre. Los autores citan un ejemplo para ingeniería civil como lo es la construcción de una presa, para la cual, se debe excavar hasta que se encuentre la roca madre. Para llegar a ella, no se sabe la cantidad de operaciones o de trabajo que se requiere, es decir, que se puede estar excavando por gran cantidad de días sin llegar a alcanzar el objetivo planteado. Luego, es en este tipo de situaciones en que la teoría de números difusos se puede aplicar con las variables de la metodología del valor ganado.

En principio, la teoría se plantea como la posibilidad de expresar, en términos cualitativos, el progreso de una actividad que tiene mucha incertidumbre. Estos términos cualitativos pueden variar desde “a la mitad”, “muy despacio” o “muy adelantado”, entre otros. Luego, se debe cuantificar aquello que, hasta este momento, solo indica la cualidad de la actividad. De ahí que se utilicen los números difusos para lograr tal propósito. Estos números difusos se obtienen desde una función matriz conocida como “función de membresía”, la cual es

asignada por los expertos del proyecto, con base en su conocimiento y experiencia acerca del mismo, y los atributos de las actividades.

Dicha función de membresía permite que, a partir de los resultados obtenidos en los cálculos, se pueda asignar un término cualitativo que califique el progreso de la actividad, o del proyecto como tal. Cabe resaltar que esta función matriz muestra trapecios y triángulos, que son la forma más simple de representar números difusos, y fueron los seleccionados por los autores para la aplicación adecuada de esta teoría.

Los autores muestran los principales aspectos de la teoría, aplicándola directamente con las variables del valor ganado y mostrando qué indican los resultados obtenidos, en comparación con los indicadores normalmente utilizados. Toman como ejemplo una parte de un proyecto de investigación médica que uno de los autores había desarrollado recientemente, aplicándole la ya mencionada teoría. Con esto se garantiza que los datos se ajustan a la realidad y permiten tener una visión clara de la aplicación de la metodología.

Si bien este trabajo presenta los aspectos teóricos de la nueva propuesta, existen otros, como el de (Ponz-Tienda et al., 2012), el cual representa una ampliación a la aplicación de la teoría de números difusos en la metodología del valor ganado. Como ya se expuso, la teoría matemática difusa es bastante completa, y en el trabajo de (Moslemi Naeni et al., 2014) se desarrolla de forma clara y precisa utilizando las variables más conocidas de la metodología. Sin embargo, el trabajo que se presenta ahora complementa al anterior en la inclusión de la interpretación sobre el inicio y fin, tanto temprano como tardío, de una actividad.

Vale resaltar que, en la teoría existente sobre la programación y control de obras, el método CPM/PERT permite la comparación de cómo se lleva a cabo una actividad, teniendo presente la curva S, tanto temprana como tardía. Es precisamente lo que hace este trabajo, con el detalle adicional de que maneja la teoría matemática de números difusos que, como ya se mencionó, se utiliza para actividades con alto grado de incertidumbre.

De esta manera, este trabajo aporta un poco más a la teoría matemática ya mencionada que está siendo analizada por los académicos dedicados al tema, lo que contribuye al debate de qué tan factible puede ser la utilización de esta teoría a nivel práctico, permitiendo interpretar

de forma fácil y sencilla los resultados obtenidos y así tomar mejores decisiones en los proyectos.

Como complemento a la teoría difusa se expone el trabajo de (Yu et al., 2021), que integra esta aproximación con algoritmos utilizados en el área de Aprendizaje Automático (machine learning) para ofrecer un modelo más dinámico (como ellos mismos lo llaman) en el abordaje de la predicción del tiempo de finalización de un proyecto, además de abarcar la forma en que se usan los recursos para la terminación del mismo.

Los algoritmos utilizados hacen parte de una teoría que se conoce como Propagación hacia atrás de redes neuronales (o, Back Propagation Neural Network – BP-NN). En la investigación se muestra cómo utilizar esta teoría para hacer predicciones acerca de la situación de las variables concernientes al método del valor ganado en un momento futuro aplicada a la excavación de suelo entre dos pilas en un proyecto de construcción en Beijing.

En primera instancia, a partir de la información que se les proporciona del proyecto, los autores calculan los parámetros necesarios para obtener la estimación del tiempo de finalización por la metodología del valor ganado, utilizando el enfoque de la teoría difusa. Luego, proceden a aplicar los algoritmos de redes neuronales para predecir los datos futuros del cronograma del proyecto, permitiendo estimar las cargas de trabajo que se requieren para las actividades que se vienen trabajando en los días que faltan. Por último, con esta nueva información, se calcula nuevamente la estimación del tiempo de finalización por la metodología del valor ganado, con la misma teoría difusa.

De esta forma, los autores se permitieron comparar estos resultados con el tiempo de finalización real, de acuerdo a los datos del proyecto, y concluyeron que los nuevos cálculos hechos después de utilizar los algoritmos de las redes neuronales, son más precisos y seguros, puesto que tienen un menor porcentaje de error absoluto. No obstante, los autores invitan a aplicar este nuevo enfoque en nuevos escenarios que también cuenten con actividades que tengan incertidumbre, así como reconocen las limitaciones y supuestos que tuvieron en cuenta para la presentación y aplicación de esta teoría.

Alineado a la idea que se presentó en la utilización de la teoría difusa para el método del valor ganado, está el trabajo desarrollado por (Mahmoudi et al., 2019) en donde sus autores, tienen la preocupación de contar con una metodología de control de proyectos que permita tomar en cuenta actividades con un grado de incertidumbre. Si bien ya se había desarrollado la teoría difusa que propone tomar la teoría matemática del mismo nombre y aplicarla con las variables de la metodología del valor ganado, los autores de este estudio se dan cuenta que la teoría difusa tiene un problema en cuanto a que necesita de la opinión de expertos para interpretar los resultados obtenidos. Luego, el impulso por desarrollar una nueva teoría es que todos los miembros del equipo de gestión de proyectos puedan interpretar correctamente los resultados obtenidos.

Lo que se propone en esta nueva teoría es reducir el rango de incertidumbre que deja la teoría difusa en los resultados, lo cual se logra perfectamente, puesto que pasa de un número con cuatro elementos (en la teoría difusa) a un número con tan solo dos elementos (en la teoría gris). Para entender esto de mejor manera, en el trabajo se presenta una comparación entre estas dos teorías aplicadas a un ejemplo teórico. Se observa que los resultados pueden ser graficados y que, al compararlos, los obtenidos con la teoría difusa representan un trapecio, mientras que los obtenidos por medio de la teoría gris, muestran simplemente un rango entre dos números distintos.

Más allá de lo anteriormente expresado, se muestra en el trabajo que el resultado obtenido por medio de la teoría difusa se ajusta dentro del rango que se obtiene en la teoría gris, mostrando que esta última, perfectamente, puede resultar en las mismas interpretaciones que la primera, de manera que todos los miembros del equipo pueden obtener las mismas conclusiones a partir de los resultados.

Siguiendo con la misma línea en el uso de la teoría gris y su asociación con las variables del método del valor ganado, se presenta el trabajo de (Eshghi et al., 2019) en donde se plantea un nuevo marco de referencia para este análisis en donde se combinan la teoría gris y la de toma de decisiones interactiva y multicriterio para ponderación, además de una serie de indicadores novedosos que no se habían trabajado hasta el momento con la metodología de estudio. La teoría gris (de la cual ya se ha hablado) presenta un nuevo enfoque para manejar

la incertidumbre en las actividades que se pueden presentar en la gestión de proyectos, mejorando la teoría difusa, propuesta con anterioridad, en que reduce el grado de dicha incertidumbre y permite la comprensión de los resultados por parte de todos los miembros del equipo de gestión de proyectos.

De esta manera, el aspecto novedoso de esta investigación es la asociación que se da con la teoría de toma de decisiones interactiva y multicriterio (TODIM, por sus siglas en portugués) para ponderación. Si bien para los fines del presente documento no es necesario tener una comprensión detallada de esta teoría, la misma se puede explicar a partir de la presentación que hacen de ella en el documento objeto de análisis.

Grosso modo, la teoría se basa en una serie de distintos criterios que tienen cierto peso para afectar, en este caso, un proyecto. Sin embargo, estos criterios se unifican y dan una ponderación a una variable específica en un conjunto finito y conocido de variables que permiten calcular un indicador de rendimiento. De todo este proceso resulta un número gris (de lo cual ya se habló) que se opera con otros números grises que representan distintos indicadores en la metodología del valor ganado, permitiendo conocer a través de un solo valor, el rendimiento del proyecto, tanto en términos de presupuesto como de cronograma.

A pesar de las complejas operaciones matemáticas que hay que surtir para aplicar correctamente la metodología, los resultados son mucho más fáciles de comprender que con los obtenidos con la teoría difusa, permitiendo que todos los miembros del equipo de gestión de proyectos tengan, en mayor o menor medida, capacidad de decisión sobre los ajustes que se deben hacer en el desarrollo del proyecto.

No cabe duda entonces, la necesidad que tiene la industria de aplicar estas teorías en proyectos de construcción, con el acompañamiento de la academia, a fin de respaldar las conclusiones obtenidas, o en cambio, refutar las mismas, encontrar puntos de quiebre o falencias en las proposiciones, y generar un debate académico mucho más ameno a nivel mundial sobre estas temáticas.

Siguiendo en la línea de las nuevas propuestas que se han planteado para acompañar y perfeccionar la metodología del valor ganado, aparece el trabajo de (Khamooshi &

Golafshani, 2014). Hasta la publicación de este trabajo, los indicadores que se usaban para medir y mostrar el rendimiento del cronograma de un proyecto, se derivaban de variables medidas en términos de costos o de dinero, por lo que no representaban fielmente resultados concernientes al tiempo de las actividades.

Por ello, los autores proponen una serie de formulaciones y nuevas variables que permitan extraer la información necesaria del proyecto para obtener resultados concernientes al cronograma, es decir, que tengan unidades de tiempo y no unidades de dinero.

De la misma forma, los autores prueban las variables propuestas en un proyecto real de la Guardia Costera de Estados Unidos, en donde se busca ampliar la capacidad de un antiguo garaje de almacenamiento de botes. Con dicha información, hacen el comparativo calculando los parámetros utilizando el método del valor ganado y, a su vez, utilizando su propuesta, que lleva por nombre “Método de la duración ganada” (EDM – Earned Duration Management).

Con esto, los autores concluyen que los parámetros propuestos se enfocan directamente en el seguimiento del cronograma, obteniendo resultados en las unidades de tiempo que corresponde. De igual forma, se hacen recomendaciones para diferenciar claramente los indicadores de presupuesto y los del cronograma, permitiendo determinar a qué variable del proyecto se enfocan el control y seguimiento.

Es bueno aclarar que, todas las teorías asociadas a la metodología del valor ganado tienen dos componentes: 1) las variables que miden el rendimiento del proyecto en el momento de su ejecución, y 2) las variables que hacen proyecciones y permiten determinar el impacto del rendimiento actual de las actividades en el futuro del proyecto. Es así como, la teoría desarrollada en el trabajo anteriormente presentado, muestra lo básico en los cálculos que se deben hacer de estos dos tipos de variables.

Como adición al cálculo de proyecciones a futuro utilizando el enfoque de la duración ganada, se presenta el trabajo de (Sackey et al., 2020) el cual presenta un modelo en donde se estima el tiempo de finalización de un proyecto con base en los tiempos de ejecución de las actividades que ya se han ejecutado o que se están ejecutando en el momento. Surge como

una crítica al modelo original del método del valor ganado y sus posteriores desarrollos, en los cuales, las estimaciones para medir la finalización de un proyecto, se hacían en términos monetarios, lo que dificultaba entender en qué punto se finalizaría el mismo.

Con este nuevo enfoque, se toma la información disponible del proyecto, correspondiente a los tiempos de ejecución de las actividades (medidos en unidades de tiempo) y permite hacer previsiones acerca de los indicadores de finalización de un proyecto.

El modelo fue aplicado en la construcción de unos bloques de salones en un colegio de Ghana. A partir de la información de fecha de inicio, fecha de finalización, costo total y duración estimada, a cierta fecha de corte se obtuvieron los valores de valor planeado y valor ganado, como propone la metodología del valor ganado. En el documento se muestran los resultados de aplicar el modelo propuesto y compararlo con los resultados de los cálculos hechos a través de los modelos existentes.

De acuerdo a los resultados obtenidos, para el modelo propuesto, la variación del tiempo de finalización estuvo a un nivel intermedio respecto a los otros. Además, al medir el porcentaje de error entre las predicciones y los resultados arrojados por el modelo, este se presenta bajo (menos de 2%), lo que indicaría que el modelo propuesto es muy bueno para aplicarlo de manera que se ajusta mucho a las predicciones que se puedan hacer respecto a los tiempos de finalización de los proyectos; esto garantiza tener indicadores más sólidos y saber, con más precisión, el estado de los mismos.

Más allá de los nuevos enfoques o teorías que se han desarrollado para mejorar el análisis del valor ganado, otros autores se han permitido integrar los conceptos de la metodología con distintos aspectos inherentes al desarrollo de los proyectos, utilizando técnicas, en su mayoría matemáticas, para aportar nuevas visiones al debate académico que supone la aplicación del método del valor ganado en proyectos de construcción.

Así, el trabajo de (Batselier & Vanhoucke, 2017) permite a los autores adoptar una metodología de pronóstico utilizando las variables del método del valor ganado. Esta metodología se conoce como “método de suavizado exponencial”, en donde se toma como

base, información pasada para utilizar unas fórmulas específicas del método que permitan pronosticar información para un futuro.

Hasta la publicación de este trabajo, se tenían en cuenta dos consideraciones en las proyecciones de costos y tiempo para los proyectos: a) que el proyecto seguiría su curso tal y como estaba planeado, lo que en la realidad, era muy difícil de observar; y b) que el proyecto estaba sometido a un alto grado de sensibilidad cuando el equipo de gestión de proyectos proponía nuevos cambios para mejorar el desarrollo del mismo.

La crítica que se hace respecto de la limitación a estas dos consideraciones es que estas eliminan la precisión de las mediciones en cuanto no tienen en cuenta: 1) la mejora natural del rendimiento del proyecto debido al incremento de la experiencia de los recursos (en el caso de los obreros), y 2) el efecto de acciones correctivas en la gestión que se hayan tomado recientemente con el ánimo de mejorar el rendimiento de la obra. De acuerdo a esto, surge la necesidad de darle más peso de ponderación a las decisiones que se hayan tomado en los periodos de seguimiento pasados, y que no se limite a las situaciones o consideraciones hechas anteriormente, de manera que se pueda mover en un rango entre las dos.

Así, en el desarrollo de la metodología, los autores proponen dos enfoques distintos: 1) estático y 2) dinámico. Esto tiene que ver con el parámetro fundamental de este método, el valor de β . La diferencia radica en que, en el enfoque estático, el valor de este parámetro debe ser escogido antes de iniciar el proyecto y mantenerse vigente en cada periodo de seguimiento, donde se calculan las distintas variables representativas de la metodología. La elección de este valor depende, en gran medida, de la experiencia del director del proyecto.

Por otra parte, en el enfoque dinámico, el valor del parámetro va cambiando a medida que se progresa en el proyecto, y la elección de su valor, depende del impacto que hayan tenido las decisiones tomadas en periodos de seguimiento anteriores y que hayan repercutido en el rendimiento del desarrollo del proyecto.

Los autores aplican esta metodología y la comparan con los indicadores típicos que se usan en la metodología del valor ganado, encontrando que el método propuesto otorga mayor precisión en cuanto a los porcentajes de error de los resultados obtenidos. Por tanto, esta

propuesta muestra el potencial que tiene para ser aplicada a la gestión de proyectos, de manera que permita predecir mejor los indicadores de costos y tiempos para un futuro, y poder contar con comparativos e indicadores de que las decisiones tomadas para el rendimiento del proyecto, son efectivas.

Otro aspecto importante que se ha integrado en el análisis del valor ganado ha sido la contingencia de riesgos, en lo referente al presupuesto que se asigna para tal fin y cómo puede llegar a evolucionar en la medida del desarrollo del proyecto. Es así como en el trabajo desarrollado por (De Marco et al., 2016), los autores integran un modelo matemático que se basa en regresión no lineal para estimar los costos a la finalización de un proyecto con el comportamiento de la utilización del presupuesto para contingencia de riesgos. Esta propuesta inicia utilizando como base el modelo de crecimiento de Gompertz, que se ajusta bastante a la forma como se utilizan los recursos de un proyecto. A este modelo se le agregan las variables del enfoque del calendario ganado, que ha sido desarrollado a través de los años como alternativa a la metodología del valor ganado.

La principal idea de los autores al agregar a este enfoque el gasto del presupuesto de contingencia de riesgos, es que este toma la forma de una curva S contraria a como se da el gasto del presupuesto normal, pudiéndose entonces, modelar a través del mismo modelo de crecimiento de Gompertz. A partir de esta idea, desarrollan las formulaciones matemáticas pertinentes para hacer la integración entre este modelo y el gasto del presupuesto de contingencia de riesgos.

Con el modelo matemático totalmente definido, se procede a tomar de la literatura existente datos sobre distintos tipos de proyectos que se han desarrollado en el campo de la construcción y se hizo el comparativo utilizando las formulaciones de estimación de costos a la finalización del proyecto junto al modelo previamente explicado desarrollado por los autores. Además se tuvo en cuenta hacer una comparación entre las tres etapas críticas de un proyecto como son el inicio, la etapa intermedia y la finalización.

A partir de los resultados obtenidos, se observa que la utilización del modelo desarrollado, genera mejores estimaciones que el modelo normalmente utilizado para la estimación de

costos a la finalización del proyecto. Además, estos buenos resultados se obtienen en las etapas iniciales e intermedias del desarrollo de los proyectos, las cuales son las etapas más críticas para la toma de decisiones que impacten de alguna manera el desarrollo de un proyecto.

Luego, el modelo matemático desarrollado para la estimación de los costos a la finalización del proyecto es una mejora para llevar a cabo más eficientemente este proceso, integrando muy bien la metodología del valor ganado con la gestión de riesgos a fin de capturar las dinámicas de interconexión que se dan entre estos aspectos de la gestión de proyectos.

Este último modelo desarrollado (modelo de Gompertz) permite presentar el trabajo de (Simion & Marin, 2018) en donde se hace una comparación entre distintos modelos que permiten estimar el costo a la finalización de un proyecto, tomando como base información de distintos proyectos de construcción que se han ejecutado en Rumania. Para la comparación se estudiaron 4 modelos basados únicamente en las variables obtenidas a través de la metodología del valor ganado; otro modelo basado en el crecimiento de Gompertz; y un último modelo que integra este último con la teoría del cronograma ganado, del cual ya se habló en este documento.

Los cálculos para hacer esta comparación se basaron en el porcentaje de error que se obtenía entre los resultados y el verdadero valor del costo a la finalización obtenido a través de los datos suministrados de los proyectos. Esto se hizo para cada uno de los proyectos individualmente, así como también para cada una de las etapas en que se desarrollan los mismos, de las cuales, los autores identificaron 5, a saber: factibilidad, diseño, planeación, ejecución y recepción. De igual forma, calcularon las desviaciones estándar como indicador de la precisión en los resultados.

Del análisis resultó que, entre los modelos que solo utilizan las variables del método del valor ganado y aquellos que se basan en el modelo de crecimiento de Gompertz, los segundos muestran mayor precisión en cuanto a estimar el costo a la finalización de los proyectos. Del mismo modo, si se observan los resultados según la etapa en la que se encuentra el proyecto, se concluye que el modelo que integra el crecimiento de Gompertz con la metodología del

cronograma ganado, muestra mayor precisión en la etapa de factibilidad con una diferencia de hasta tres veces mayor que los modelos del método del valor ganado, manteniendo tal diferencia en las etapas de ejecución del proyecto.

Por último, se destaca el potencial que tiene el modelo integrado de crecimiento de Gompertz con el cronograma ganado para controlar efectivamente los costos del proyecto, de manera que el presupuesto hasta la finalización del mismo pueda ser estimado desde un principio y ejecutado correctamente en su desarrollo. Sin embargo, en el trabajo se hacen las precisiones de por qué no se usa tan extensivamente, aduciendo a la dificultad matemática del uso del mismo, el tiempo para analizar los resultados obtenidos, así como también la gran acogida que tienen aquellos basados en la metodología del valor ganado comparado con los que tienen como base el modelo mencionado anteriormente. Es así como los gerentes de proyectos, optan por la vía fácil y muy conocida de trabajar con los indicadores que proporciona el método del valor ganado.

En definitiva, las teorías y los nuevos enfoques de la metodología del valor ganado, como estrategia principal que adoptó el Project Management Institute (PMI) para la gestión y control de presupuesto, cronograma y alcance de los proyectos, han ido desarrollándose a lo largo de todos estos años, permitiendo generar un debate académico a nivel mundial sobre las ventajas y desventajas del mencionado método. Si bien su aplicación directa en campo poco o nada ha sido evidenciada, Latinoamérica, y más específicamente, Colombia, podrían actuar como agentes principales en esa experimentación del método que todavía falta, a fin de comprobar realmente la factibilidad de su uso en la ejecución de las obras civiles. Sin embargo, es de aclarar, que en la región faltan profesionales que comprendan a nivel macro toda la metodología, y que puedan extender ese conocimiento a los demás profesionales, para su correcto uso e interpretación de los resultados.

3. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS QUE OPTIMIZAN EL CONTROL DE COSTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

En este capítulo, se procede a cumplir con otro de los objetivos planteados para esta monografía que consiste en la clasificación de las diversas estrategias ya analizadas en el capítulo anterior, de acuerdo a las características que tengan en común las mismas. Así, se identificaron tres categorías, las cuales se muestran en la Tabla 1, junto con el criterio de clasificación asociado.

Tabla 1 Criterios de clasificación de las estrategias planteadas para cada categoría propuesta.

Categoría	Criterio de clasificación
Categoría 1	Estrategias que plantean una metodología, generan documentación nueva o entregan un producto o herramienta, que puede ser leído o utilizado por terceras personas.
Categoría 2	Aquellas que toman las mismas variables del método del valor ganado y, con la asociación de un nuevo enfoque, logran otra interpretación.
Categoría 3	Aquí se clasifican las estrategias que son definidas a partir de la asociación de una teoría matemática y el método del valor ganado, lo cual genera un punto de vista innovador.

Fuente: (Autores, 2021)

Teniendo los criterios de clasificación definidos, se procede a establecer las estrategias que se enmarcan dentro de cada categoría. Por facilidad, se presenta la Tabla 2, similar a la Tabla

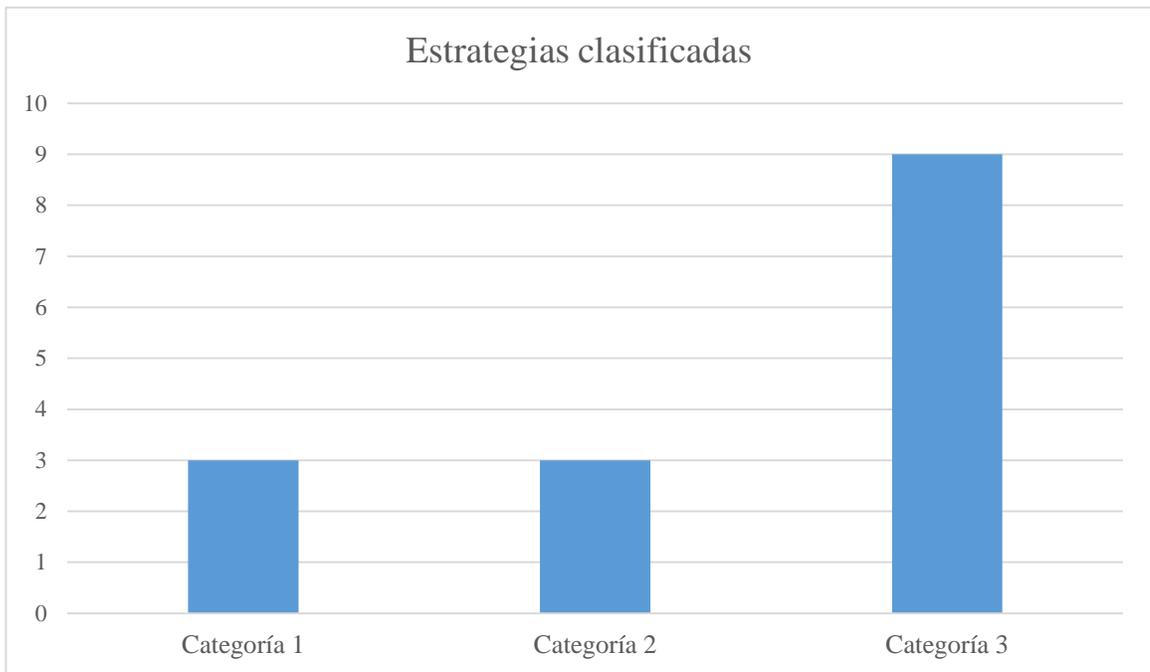
1, con los autores de los documentos que referencian las estrategias analizadas. Cabe aclarar que no se mostrarán la totalidad de los documentos, puesto que algunos solo presentaban un diagnóstico de la situación de la metodología del valor ganado en distintos contextos e industrias de diferentes países.

Tabla 2 Clasificación de las estrategias analizadas dentro de las categorías propuestas.

Categoría	Estrategias que clasifican (Autores de documentos que las referencian)
Categoría 1	(Barboza Plata, 2013); (Díaz Ortega & Rincón Dugarte, 2020); (Rivera Peña, 2012).
Categoría 2	(Chang et al., 2020); (Lee, 2015); (Globerson, 2017).
Categoría 3	(Moslemi Naeni et al., 2014); (Ponz-Tienda et al., 2012); (Yu et al., 2021); (Mahmoudi et al., 2019); (Eshghi et al., 2019); (Khamooshi & Golafshani, 2014); (Sackey et al., 2020); (Batselier & Vanhoucke, 2017); (De Marco et al., 2016).

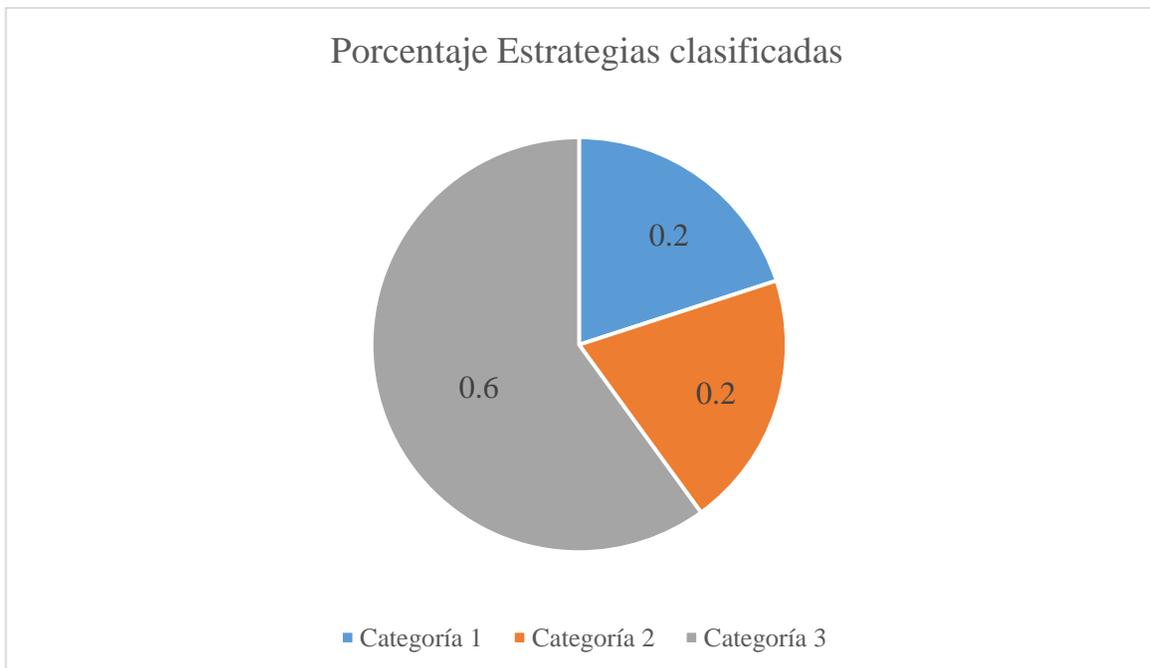
Fuente: (Autores, 2021)

Se observa entonces que, para un total de 15 documentos que plantean estrategias para optimizar el control de costos en proyectos de construcción, 3 se encuentran clasificados en la Categoría 1; 3 más están clasificados en la Categoría y 2, y las 9 restantes pertenecen a la Categoría 3. Así, se puede presentar la Gráfica 1, que muestra el resumen de la clasificación anterior. Asimismo, se muestra la misma información anterior en términos porcentuales, lo que se evidencia en la Gráfica 2.



Gráfica 1 Número de estrategias analizadas, clasificadas en cada categoría.

Fuente: (Autores, 2021)



Gráfica 2 Porcentaje de estrategias analizadas, clasificadas dentro de cada categoría.

Fuente: (Autores, 2021)

4. COMPARACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS CLASIFICADAS QUE OPTIMIZAN EL CONTROL DE COSTOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

A partir de los análisis y la clasificación de las estrategias hechas en el primer y segundo capítulo, respectivamente, se procede a hacer una comparación entre las tres categorías definidas, y observar el potencial que tiene cada una para ser aplicadas en el territorio nacional para la optimización en el control de costos de obra en proyectos de construcción que se adelanten en los años venideros.

En primera instancia, las estrategias clasificadas en la Categoría 1, si bien se aplicaron en el contexto nacional y permitieron a los autores mostrar sus bondades, estas deberían ser de conocimiento más extendido entre las empresas y/o personas dedicadas a la construcción, a fin de que se puedan encontrar puntos débiles que necesiten ser reforzados con más investigación y nuevas propuestas. La debilidad de estas estrategias radica en que, a medida que el conocimiento avance, tales insumos (metodologías, herramientas, documentos) quedaran obsoletos, a menos que con el uso generalizado que se le vayan dando a los mismos, estén en constante renovación y a la vanguardia de las nuevas teorías y metodologías que evolucionen a nivel mundial.

Por su parte, las estrategias de la Categoría 2 muestran los nuevos enfoques e ideas que se pueden obtener a partir de las mediciones típicas para el control de costos, utilizando la metodología del valor ganado. Para poder ser implementadas en el territorio colombiano, deben comenzar a ganar aceptación en la industria constructora, de manera que su uso generalizado se convierta en estándar para los proyectos de obra civil.

De la misma forma, las estrategias que se encuentran en la Categoría 3, al ser teorías matemáticas completamente novedosas, si bien pueden ser transmitidas en el nivel académico a los estudiantes de pregrado, las mismas deben encontrar su acogida en el mundo

empresarial y en el campo de la gestión de proyectos, con el fin de equilibrar, lo que se enseña en las universidades, por un lado, y lo que se aplica en las construcciones, por el otro.

Vale la pena destacar que para las estrategias planteadas dentro de las dos últimas categorías, la labor de la academia es muy importante en el sentido de que desde ella, debe emanar el interés por seguir investigando, generando nuevas hipótesis y confrontarlas con la realidad para sacar las conclusiones pertinentes, de las cuales puedan salir nuevas propuestas que generen el debate necesario para optimizar, aún más el control que se hace sobre los distintos aspectos de un proyecto de construcción.

CONCLUSIONES

A partir del análisis hecho con anterioridad, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Existe gran variedad de estrategias que han planteado distintas personas en distintos contextos, que contribuyen a optimizar el control de costos en un proyecto de construcción; las mostradas en este documento, se asocian a la metodología del valor ganado, que fue adoptada por el Project Management Institute (PMI) dentro de su guía para la gestión efectiva de todo tipo de proyectos. Estas estrategias, a su vez, surgen en lugares con características similares a Colombia: países en vía de desarrollo que deben enfrentar el problema de los sobrecostos y atrasos en las obras. Por ello, el país debe empezar a explorar las distintas posibilidades que pueden surgir de la aplicación de las estrategias en la industria de la construcción.
- Dentro de la variedad de estrategias que han sido planteadas, se destacaron aquellas que generan insumos para el entendimiento de la metodología y posterior aplicación, las cuales se encontraron en el territorio nacional; por su parte, están aquellas que utilizan los mismos conceptos del valor ganado, pero tienen modificaciones en la forma en que se interpretan sus resultados, agregándole nuevos enfoques; y en últimas, la asociación de nuevas teorías matemáticas con los principales conceptos del valor ganado, permiten extender el campo de interpretación que se da a los resultados de la metodología.
- Las estrategias más factibles para su aplicación en el contexto nacional son las clasificadas en la categoría 1, es decir, aquellas que entregan un insumo final para la ejecución de la metodología. Es precisamente la simplicidad de los resultados de las estrategias analizadas lo que permite que el conocimiento se pueda expandir y aplicar en el territorio nacional, de manera que todos los gerentes de proyectos, especializados o no, cuenten con las herramientas suficientes para llevar a cabo más eficientemente la labor de la gerencia de proyectos.
- Al comparar las estrategias expuestas, se evidenció el papel fundamental que debe ejercer la academia en la investigación y propagación del conocimiento de las

mismas, permitiendo así dar la correcta enseñanza de ellas, teniendo como objetivo determinar las falencias derivadas de su aplicación en la industria, y puedan surgir nuevas propuestas que ayuden a solucionarlas para fortalecer aún más la gerencia de proyectos.

- Se destaca la importancia de la investigación en mostrar, resumir y destacar los trabajos que se han desarrollado a nivel nacional e internacional, con nuevos enfoques e ideas que permiten la correcta optimización y control de los costos en proyectos de construcción, de manera que los estudiantes, en distintos niveles de educación superior, profundicen aún más en el estudio de las estrategias ya analizadas. Asimismo, permitiría la expansión del debate académico y profesional, hacia el contexto internacional, a fin de que se valoren las ventajas y desventajas de tales estrategias, a través de la producción científica que resulte de ello.

RECOMENDACIONES

Como recomendación para posteriores investigaciones acerca de este tema, las mismas deberían ser llevadas a cabo a través de semilleros de investigación de las distintas universidades del país, permitiendo que se recolecten los datos necesarios durante el tiempo suficiente, en vista de que los proyectos de construcción son extensos y cuentan con muchas variaciones en su cronograma.

A su vez, tales investigaciones pueden abordar las estrategias aquí mostradas y clasificadas en las categorías 2 y 3, con el objetivo de simplificar su interpretación, permitiendo que se generalice su aplicación de manera efectiva, entre los gerentes de proyectos de construcción.

De igual forma, se extiende la recomendación a las empresas pertenecientes a la industria de la construcción a contribuir con la entrega de información sobre las obras que estén llevando a cabo, con el fin de que los investigadores puedan tener datos confiables y reales sobre la situación de las mismas, y se planteen nuevos enfoques, basados en las investigaciones, que permitan optimizar la forma como se controlan los costos en los proyectos de construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul-Rahman, H., Wang, C., & Muhammad, N. B. (2011). Project performance monitoring methods used in Malaysia and perspectives of introducing EVA as a standard approach. *Journal of Civil Engineering and Management*, 17(3), 445–455.
- Aponte Díaz, I. (2014). *Las fallas de planeación y su incidencia en el contrato estatal de obra*.
- Bagherpour, M., Zadeh, M. K., Mahmoudi, A., & Deng, X. (2020). Interpretive structural modeling in earned value management. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(6), 524–533.
- Barboza Plata, C. (2013). *Metodología para la gestión de monitoreo y control de proyectos de construcción mediante la técnica de valor ganado*.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2013/147201.pdf>
- Batselier, J., & Vanhoucke, M. (2017). Improving project forecast accuracy by integrating earned value management with exponential smoothing and reference class forecasting. *International Journal of Project Management*, 35(1), 28–43.
- Burgos Cuevas, J. S. (2013). *Aplicación del método del valor ganado a un proyecto de construcción*.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/19869/u671590.pdf>
- Cervantes Verdooren, J. J., & Coll Carrasquilla, S. D. (2017). *Análisis del impacto en el mejoramiento de la productividad usando el método Time Lapse durante las etapas del proceso constructivo de los proyectos civiles en la ciudad de Barranquilla*.
- Chang, H.-K., Yu, W.-D., & Cheng, T.-M. (2020). A Quantity-Based Method to Predict More Accurate Project Completion Time. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(10), 2861–2875. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-1924-y>
- Contraloría, G. de la N. (2020, September 9). Aumenta cantidad y valor de elefantes blancos, obras inconclusas y proyectos críticos que ha identificado la Contraloría General: van 1400 por un total de \$25 billones de pesos. 127.
- Czemplik, A. (2014). Application of Earned Value Method to Progress Control of Construction projects. *XXIII R-S-P Seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP)*, 424–428.
- De Marco, A., Rosso, M., & Narbaev, T. (2016). Nonlinear cost estimates at completion adjusted with risk contingency. *The Journal of Modern Project Management*, 4(2).

- Díaz Ortega, A. Y., & Rincón Dugarte, D. A. (2020). *Creación de plantilla tipo en Microsoft Project para el control de proyectos utilizando el método del valor ganado*. Universidad Santo Tomás.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22087#.YS6bJuajOME.mendeley>
- Eshghi, A., Mousavi, S. M., Antucheviciene, J., & Mohagheghi, V. (2019). EARNED VALUE ANALYSIS APPROACH BY EXTENDING NEW KEY PERFORMANCE INDICATORS IN A NEW FRAMEWORK UNDER A GREY ENVIRONMENT. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 53(3).
- Gamboa Santa, H. M., & Pinto Villamizar, J. C. (2016). *Implementación de la técnica del valor ganado para el control de costos y tiempo, en la construcción de dos baterías sanitarias colegio Nuestra Señora de las Mercedes sede B, del municipio de Lebrija*.
<https://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2016/161129.pdf>
- Globerson, S. (2017). Using the earned value approach for controlling overhead cost in construction projects. *The Journal of Modern Project Management*, 5(2).
- González Ibáñez, D. A. (2016). *Seguimiento financiero por medio del método del análisis del valor ganado para la construcción de la nueva sede del Ministerio de Trabajo de Facatativá*. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14082>
- Guide to the Project Management Body of Knowledge - PMBOK Guide* (6th ed.). (2017). Project Management Institute.
- Khamooshi, H., & Golafshani, H. (2014). EDM: Earned Duration Management, a new approach to schedule performance management and measurement. *International Journal of Project Management*, 32(6), 1019–1041.
- Kim, S.-Y., Lee, Y.-S., Thanh Nguyen, V., & Luu, V. T. (2016). Barriers to Applying Value Management in the Vietnamese Construction Industry. *Journal of Construction in Developing Countries*, 21(2), 55–80.
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.21315/jcdc2016.21.2.4>
- Lacouture Carvajal, F. L. (2014). *Implementación de la metodología del valor ganado en un proyecto de infraestructura vial*. Universidad Militar Nueva Granada.
<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11532#.YS6iAT0pfnk.mendeley>
- Lee, J.-S. (2015). Calculating cumulative inefficiency using earned value management in construction projects. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(4), 222–232.
<https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0029>
- Lozano Serna, S., Patiño Galindo, I., Gómez-Cabrera, A., & Torres, A. (2018). Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniería y Ciencia*, 117–151.

- Mahmoudi, A., Bagherpour, M., & Javed, S. A. (2019). Grey earned value management: theory and applications. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Molina Hurtado, L. R. (2017). *Procedimiento estándar para el control y seguimiento del área de construcción de la empresa Emilio Proyectos S.A.S. aplicando PMI*. Universidad Militar Nueva Granada.
<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17219?locale-attribute=en#.YS7iN1PcVpA.mendeley>
- Morales Rosas, L. M. (2016). *Aplicación de la gestión del valor ganado según los lineamientos PMI para el control de costos de la ejecución del proyecto de vivienda Hacienda Madrid el Prado en la Constructora Bolívar*.
<https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/14946#.YS6UQ9wJ8U4.mendeley>
- Moslemi Naeni, L., Shadrokh, S., & Salehipour, A. (2014). A fuzzy approach for the earned value management. *International Journal of Project Management*, 32(4), 709–716. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.02.002>
- Nkiwane, N. H., Meyer, W. G., & Steyn, H. (2016). The use of Earned Value Management for initiating directive project control decisions: A case study. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(1), 192–203.
- Pacheco Vargas, L. O., & Romero Silva, J. R. (2019). *Implementación de la metodología BIM en el sector de la construcción para el modelado virtual piloto del bloque 12 de la Universidad de la Costa*.
- Ponz-Tienda, J. L., Pellicer, E., & Yepes, V. (2012). Complete fuzzy scheduling and fuzzy earned value management in construction projects. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 13(1), 56–68.
- Quimbayo Álvarez, E. K., & Jurado Jiménez, Y. P. (2020). *Diagnóstico del grado de utilización de herramientas de gestión de obras en las empresas constructoras de la ciudad de Pereira*. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2897>
- Rey Nariño, G. A., & Salinas Velasco, J. (2013). *Aplicación de la técnica del valor ganado a un proyecto de construcción de un edificio de vivienda. Estudio de caso*. Universidad Pontificia Bolivariana.
<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1261#.YS6WddtHG6U.mendeley>
- Rivera Peña, C. F. (2012). *Guía de aplicación del método del valor ganado como sistema integral de control, seguimiento y supervisión de obras*.
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1841/digital_22209.pdf?seq
- Roca Rivaldo, L. E., & Vergara Peñate, H. S. (2018). *Diseño de una herramienta estadística que valide la aplicación del Sistema Last-Planner – E- Learning durante el*

ciclo de vida de un proyecto civil.

<https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/253?locale-attribute=en#.YS6Qy0396qE.mendeley>

- Sackey, S., Lee, D.-E., & Kim, B.-S. (2020). Duration Estimate at Completion: Improving Earned Value Management Forecasting Accuracy. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(3), 693–702. <https://doi.org/10.1007/s12205-020-0407-5>
- Simion, C.-P., & Marin, I. (2018). PROJECT COST ESTIMATE AT COMPLETION: EARNED VALUE MANAGEMENT VERSUS EARNED SCHEDULE-BASED REGRESSION MODELS. A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MODELS APPLICATION IN THE CONSTRUCTION PROJECTS IN ROMANIA. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 52(3).
- Solarte Gaitán, G. (2019). *Estandarización de gestión de proyectos del consultorio ambiental de la facultad de Ingeniería de la Universidad Libre a través de la metodología PMI*. <https://hdl.handle.net/10901/17806>
- Villamizar Arenas, A. (2020). *Planeación para la aplicación del método del valor ganado en obra de geotecnia ejecutada sobre el derecho de vía del Oleoducto de Colombia*. Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29278#.YS6aL5WkNWg.mendeley>
- Yu, F., Chen, X., Cory, C. A., Yang, Z., & Hu, Y. (2021). An Active Construction Dynamic Schedule Management Model: Using the Fuzzy Earned Value Management and BP Neural Network. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(7), 2335–2349. <https://doi.org/10.1007/s12205-021-1041-6>
- Zhan, Z., Wang, C., Yap, J. B. H., Samsudin, S., & Abdul-Rahman, H. (2019). Earned value analysis, implementation barriers, and maturity level in oil & gas production. *South African Journal of Industrial Engineering*, 30(4), 44–59.