



TECNOLOGÍA
en marcha

Revista trimestral
Setiembre 2025
Volumen 38
ISSN-E 2215-3241

Número especial
I Congreso Internacional
de Gestión de Proyectos

Comisión Editorial

Felipe Abarca Fedullo. Director.
Editorial Tecnológica de Costa Rica

Juan Antonio Aguilar Garib
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Universidad Autónoma de Nuevo León.
México

Carlos Andrés Arredondo Orozco
Facultad de Ingenierías

Universidad de Medellín. Colombia

Lars Köhler
Experimenteller Botanischer Garten
Georg-August-Universität Göttingen.
Alemania

Jorge Solano Jiménez
Instituto Costarricense del Cemento
y del Concreto

Edición técnica

Alexa Ramírez Vega

Revisión filológica

Esperanza Buitrago Poveda

Diseño gráfico

Felipe Abarca Fedullo

Diagramación

Alexa Ramírez Vega

Diseño de cubierta

Felipe Abarca Fedullo

Imagen de cubierta

Felipe Abarca Fedullo

Datos de catalogación en publicación

Tecnología en Marcha / Editorial Tecnológica de Costa Rica. - Vol. 38, número especial. CIGEPRO. Septiembre, 2025. ISSN-E 2215-3241

1. Ciencia y Tecnología –
Publicaciones periódicas CDD:600



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Apdo 159-7050 Cartago, Costa Rica
Tel.:(506) 2550-2297, 2550-2618
Correo electrónico: editorial@itcr.ac.cr
Web: <https://www.tec.ac.cr/editorial>
http://revistas.tec.ac.cr/tec_marcha



TEC | **Tecnológico**
de Costa Rica

La Editorial Tecnológica de Costa Rica es una dependencia especializada del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Desde su creación, en 1978, se ha dedicado a la edición y publicación de obras en ciencia y tecnología. Las obras que se han editado abarcan distintos ámbitos respondiendo a la orientación general de la Institución.

Hasta el momento se han editado obras que abarcan distintos campos del conocimiento científico-tecnológico y han constituido aportes para los diferentes sectores de la comunidad nacional e internacional.

La principal motivación de la Editorial es recoger y difundir los conocimientos relevantes en ciencia y tecnología, llevándolos a los sectores de la comunidad que los requieren.

La revista *Tecnología en Marcha* es publicada por la Editorial Tecnológica de Costa Rica, con periodicidad trimestral. Su principal temática es la difusión de resultados de investigación en áreas de Ingeniería. El contenido de la revista está dirigido a investigadores, especialistas, docentes y estudiantes universitarios de todo el mundo.

Publicación y directorio en catálogos

 redalyc.org

 SciELO

 latindex

 Dialnet

 melICA

 REDIB
Red Iberoamericana
de Innovación y Conocimiento Científico

 DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS JOURNALS



TECNOLOGÍA *en marcha*

Contenidos

Presentación

Presentation

Enrique Barreda-Lizano 2

Modelo de gestión de información, conocimiento y comunicaciones para la gestión de proyectos

Information, knowledge and communications management model for project management

Bárbara Rojas-Quirós, José Roberto Santamaría-Sandoval 5

Implementación de herramientas de gestión en la dirección y ejecución de obras viales

Implementation of management tools in the direction and execution of road works

Roy Barrantes-Jiménez, Christian Valverde-Cordero 19

Análisis, desde la perspectiva “La Teoría del Cambio”, de los retos y oportunidades en la adopción del PMBOK-7 en los proyectos de diseño y construcción del sector ingeniería y arquitectura en Costa Rica

Analysis, from the perspective “The Theory of Change”, of the challenges and opportunities in the adoption of PMBOK-7 in design and construction projects in the engineering and architecture sector in Costa Rica

Erick Mata-Abdelnour 33

Control vertical de infraestructura civil, mediante lidar terrestre y topografía clásica

Vertical control of civil infrastructure, using terrestrial lidar and classic topography

Esteban V. Vargas, Juan Mc Gregor-Sanabria, Gustavo Lara-Morales 49

Herramientas de financiamiento basadas en suelo urbano para una mejor gestión de la planificación territorial

Financing tools based on urban land for better planning management

Karla Barrantes-Chaves 63

Desafíos de la gestión del agua en proyectos de obra: Una mirada para Costa Rica

Water management challenges in construction projects: A look at Costa Rica

Nidia Cruz-Zúñiga 74

Presentación

Presentation

Enrique Barreda-Lizano¹

Barreda-Lizano, E. Presentación. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Marzo, 2025. I Congreso Internacional de Gestión de Proyectos (CIGEPRO). Pág. 2-4.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i6.8179>



¹ Presidente del Congreso CIGEPRO 2024. Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica. Costa Rica.

En el presente número especial de la revista Tecnología en Marcha, se presentan algunos de los trabajos más destacados del **I Congreso Internacional de Gestión de Proyectos, CIGEPRO 2024**, seleccionados por el Comité Científico del evento, compuesto por distinguidos profesionales y académicos del país. El congreso tuvo lugar en la Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA), San José, Costa Rica y fue el resultado de un esfuerzo conjunto entre la Universidad de Costa Rica, por intermedio de la Escuela de Ingeniería Topográfica y la Escuela de Ingeniería Civil, el Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica y la Asociación Costarricense de Gestión de Proyectos. Se contó además con charlistas internacionales de alto nivel para las conferencias magistrales del evento.

Este congreso se llevó a cabo los días 07 y 08 de noviembre de 2024, en el marco de los retos y desafíos que plantea la revolución tecnológica, el desarrollo de habilidades interpersonales, el conocimiento técnico y la innovación. CIGEPRO tuvo por objetivo propiciar un espacio de intercambio de experiencias para el fortalecimiento de los vínculos entre la academia y el ejercicio profesional, en el ámbito de la gestión de proyectos de ingeniería, arquitectura y construcción, mediante el establecimiento de procesos de investigación y desarrollo, que potencien la aplicación efectiva de mejores prácticas para el logro de resultados exitosos.

Estos esfuerzos buscan fomentar la consolidación de programas de cooperación técnica, académica, científica, interinstitucional e internacional en el ámbito de la ingeniería de proyectos, desde la perspectiva de la investigación, la formación y la extensión. Este primer congreso marca el inicio de un marco de colaboración entre universidades, empresas, organizaciones profesionales y el Estado.

Los resúmenes de todas las ponencias fueron publicados en las Memorias del Congreso, en formato digital. A los autores de los mejores trabajos se les invitó a escribir un artículo en extenso para esta publicación especial, y así profundizar en las temáticas del evento mediante una publicación científica.

El Congreso abordó, en resumen, los siguientes ejes temáticos:

- Gestión de proyectos: Buenas prácticas, procesos, técnicas, herramientas, sistemas de información, gobernanza y auditoría.
- Metodologías y tecnología: Innovación, metodologías en cascada, ágiles y mixtas aplicadas a proyectos de IAC: Scrum, BIM, LEAN, LEED, IA.
- Habilidades interpersonales: Desarrollo de habilidades de liderazgo, ética y comunicación efectiva. Construcción de equipos de proyecto de alto desempeño.
- Gestión de contratos de obra: Métodos de entrega del proyecto, resolución de controversias contractuales, Asociaciones Público Privadas, FIDIC.
- Gestión ambiental y sostenibilidad: Metodologías y buenas prácticas aplicadas al análisis de ciclo de vida del proyecto. Regeneración, prevención y mitigación.
- Oficina de Gestión de proyectos: Planificación estratégica y el portafolio de proyectos. Indicadores. Gestión del cambio organizacional. Modelos de Madurez.
- Auditoría de proyectos: Competencias. Aseguramiento de la calidad. Cumplimiento. Gestión de la mejora continua. Evaluación del desempeño.
- Gestión del ciclo de vida del proyecto: Gestión de la preinversión, gestión del financiamiento, gestión de los proyectos de mantenimiento.

- Ingeniería de Proyectos. Experiencias, casos y aplicaciones: Proyectos vinculados a la Construcción, Industria, Energía, Salud, I+D+i, Gobierno.

Los artículos seleccionados para esta edición especial reflejan los esfuerzos de profesionales de la investigación academia, por realizar un aporte en la construcción de espacios para el fortalecimiento de los vínculos entre la academia y la práctica profesional, en el desarrollo de la gestión integrada de proyectos en la industria de la construcción costarricense.

Comité Científico del Congreso

- Ing. Enrique Barreda Lizano, MAC. Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica
- Ing. Carolina Maliaño Monge. MsC. Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica
- Ing. Mauricio Varela Sanchez, PhD. Universidad de Costa Rica.
- Ing. Robert Anglin Fonseca, MSE. Universidad de Costa Rica.

Modelo de gestión de información, conocimiento y comunicaciones para la gestión de proyectos

Information, knowledge and communications management model for project management

Bárbara Rojas-Quirós¹, José Roberto Santamaría-Sandoval²

Rojas-Quirós, B; Santamaría-Sandoval, J.R. Modelo de gestión de información, conocimiento y comunicaciones para la gestión de proyectos. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Marzo, 2025. I Congreso Internacional de Gestión de Proyectos (CIGEPRO). Pág. 5-18.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i6.8173>

¹ Maestría en Gerencia de Proyectos, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Costa Rica.

bar.rojaso@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-0701-1545>

² Maestría en Gerencia de Proyectos, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Costa Rica.

josantamaria@itcr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-6349-0823>



Palabras clave

Gestión de proyectos; información; conocimiento; modelo de gestión; capital intelectual; rendimiento empresarial.

Resumen

El capital intelectual emerge en esta era como un factor determinante para un rendimiento empresarial exitoso, promoviendo el desarrollo de estrategias para la gestión del conocimiento e información de manera integral. Paralelamente, los proyectos siguen siendo una piedra angular para el logro de las metas empresariales, pero que, al adaptarse a las nuevas condiciones de mercado, sobre todo afectadas por fuerzas tecnológicas, llevan a una necesidad de contar con mecanismos, modelos o métodos que logren integrar aspectos que se han analizado por separado hasta el momento. En este contexto, mediante un abordaje de revisión bibliográfica se llega a un estado del arte mediante el cual se determina que, si bien en distintos cuerpos de conocimiento, marcos de trabajo y modelos se menciona el tema de la información, conocimiento y comunicaciones su abordaje no se presenta de manera integral. A partir de lo anterior y como resultado de un proyecto de graduación de la Maestría de Gerencia de Proyectos del TEC, se plantea esta investigación cuyo objetivo fue proponer un modelo de gestión de conocimiento e información para la gestión de proyectos implicando un estudio de campo con profesionales en el área y de marcos de referencia de tal manera que se proponga para su uso. El método de investigación aplicado fue con un enfoque mixto en donde se establecieron como categorías de estudio: información y conocimiento empresarial, gestión de la información y conocimiento, marcos de gestión de proyectos, modelos de portafolio. Con esto se estableció una muestra estadística sobre una población cuya característica era ser profesionales en el campo de la gerencia de proyectos egresados de un posgrado, donde la información a la que se tuvo acceso fue del TEC, UCI, ULACIT y ULATINA. La muestra establecida fue de 331 personas, con un margen de error del 5% y nivel de confianza del 95%. A esta muestra se le aplicó una encuesta conformada por un instrumento de 10 preguntas y, además, se incorporó un grupo poblacional que son representantes de organizaciones como PMI en Costa Rica a los cuales se les aplica una entrevista. Una tercera técnica aplicada fue la revisión bibliográfica sistemática para la revisión de literaturas y marcos de referencia tanto predictivas como ágiles. El principal resultado obtenido es que si bien en los distintos marcos estudiados se hace referencia a cada elemento, como es información, el conocimiento y las comunicaciones, no se encuentra explícitamente un modelo que los integre, por lo que, considerando los resultados de campo se genera un modelo genérico para la gestión de estos elementos y aplicable en todo el proceso de gestión de proyectos. Finalmente, se concluye la importancia de contar con un modelo que integre estos elementos considerando su articulación hacia una necesidad empresarial que es la capitalización del conocimiento y la protección de la información, un elemento vital en la articulación de la estrategia como son los proyectos.

Keywords

Project management; information; knowledge; management model; intellectual capital; business performance.

Abstract

Intellectual capital emerges in this era as a determining factor for successful business performance, promoting the development of strategies for comprehensive knowledge and information management. Simultaneously, projects continue to be a cornerstone for achieving

business goals. However, adapting to new market conditions, particularly influenced by technological forces, necessitates mechanisms, models, or methods that integrate aspects that have been analyzed separately until now. In this context, through a literature review approach, a state of the art is reached, determining that although various bodies of knowledge, frameworks, and models mention information, knowledge, and communication, they do not address these aspects comprehensively. Based on the above and as a result of a graduation project for the Master's in Project Management at TEC, this research proposes a knowledge and information management model for project management, involving a field study with professionals in the area and reference frameworks to propose its use. The research method applied was a mixed approach, establishing the following study categories: business information and knowledge, information and knowledge management, project management frameworks, and portfolio models. A statistical sample was established for a population characterized by professionals in the field of project management who had graduated from a postgraduate program, with information accessed from TEC, UCI, ULACIT, and ULATINA. The sample size was 331 people with a 5% margin of error and a 95% confidence level. This sample was surveyed using an instrument with 10 questions, and a population group comprising representatives from organizations like PMI in Costa Rica was also interviewed. A third technique applied was a systematic literature review for both predictive and agile reference frameworks. The main result obtained is that although the studied frameworks refer to each element—information, knowledge, and communication—there is no explicitly integrated model. Therefore, considering the field results, a generic model for managing these elements is generated and is applicable throughout the project management process. Finally, the research concludes the importance of having a model that integrates these elements, considering their alignment with a business need, which is the capitalization of knowledge and the protection of information, a vital element in the articulation of strategy, such as projects.

Introducción

El conocimiento se ha vuelto un activo fundamental para el éxito de las organizaciones, y el desarrollo de nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones ha permitido gestionar e intercambiar información de manera más eficiente. Este cambio ha modificado profundamente el uso y significado del conocimiento, destacando su importancia en los factores críticos de éxito organizacional [1]. La Gestión del Conocimiento e Información (GCI) comprende estrategias y herramientas para capturar, organizar, compartir y utilizar el conocimiento dentro de una organización. Desde 1995, diversas publicaciones han resaltado la importancia de administrar el conocimiento, dado que las economías industrializadas han evolucionado de los recursos naturales a los activos intelectuales.

Un estudio de KPMG [2] reveló que el 81% de las 423 organizaciones encuestadas tenían o consideraban programas de gestión del conocimiento, señalando beneficios como la mejora en la toma de decisiones y el servicio al cliente. Investigaciones posteriores confirmaron que estas prácticas están directamente relacionadas con el rendimiento organizativo y financiero [3][4]. Estudios recientes también subrayan la relevancia de la GCI en el desempeño y la resiliencia organizacional [5][6]. Según el American Productivity & Quality Center [7] 2024), se espera un aumento en la inversión en tecnologías de apoyo a la GCI en los próximos años.

Por otro lado, la gestión de proyectos en ambientes empresariales ha demostrado su valor y necesidad de estandarización, metodologías y profesionalización. Existe una relación directa entre la gestión activa del conocimiento en proyectos y el valor empresarial [8]. Este vínculo ha sido explorado especialmente en proyectos tecnológicos, donde el conocimiento se posiciona como prioridad para el éxito.

La gestión de conocimiento e información en proyectos implica acciones como la transferencia de información dentro del proyecto, su utilización para generar acciones, y su transferencia a otros proyectos. Esto abarca tanto la perspectiva interproyecto, que se refiere a la relación entre proyectos de un portafolio empresarial, como la perspectiva intraproyecto, que se refiere a las relaciones entre subproyectos dentro de un mismo proyecto [9]. Los modelos de gestión del conocimiento a nivel organizacional se basan en la estructura organizativa y se benefician de la socialización de la información y los objetivos estratégicos a largo plazo [10].

Sin embargo, en el entorno dinámico de la gestión de proyectos, con estructuras temporales y equipos cambiantes, estos modelos enfrentan desafíos. Las limitaciones de tiempo y presupuesto dificultan la captura y el intercambio de conocimiento, y el aprendizaje reflexivo entre equipos [11].

Actualmente, el mundo empresarial enfrenta una dicotomía: por un lado, hay una creciente adopción de modelos de negocios basados en proyectos, y por otro, el desarrollo de sofisticados sistemas de gestión del conocimiento. La confianza, la estructura organizativa y el sistema de recompensas son claves para la transferencia de conocimientos [11]. La gestión del conocimiento es vista como esencial para el éxito de los proyectos y la ventaja competitiva [12], destacando su importancia estratégica vinculada al liderazgo, la estructura organizativa y la resiliencia empresarial [13].

La investigación no logró encontrar un modelo de GCI que conecte la estrategia organizacional con la gestión de proyectos. Los actuales modelos de GCI no incluyen adecuadamente a los interesados de los proyectos y son limitados en cuanto a los activos de información valiosos y las etapas del ciclo del proyecto que deben gestionar [8]. Las organizaciones enfrentan dificultades para implementar sistemas efectivos de gestión del conocimiento debido a la falta de estandarización [14].

En organizaciones basadas en proyectos, hay una contradicción entre los objetivos a corto plazo y el aprendizaje organizacional a largo plazo, resultando en la pérdida de conocimiento al finalizar los proyectos [11]. Además, las limitaciones de tiempo y presupuesto dificultan la captura, almacenamiento y compartición del conocimiento, y el aprendizaje reflexivo entre los equipos [11].

Las iniciativas de gestión del conocimiento en empresas de proyectos requieren incentivos, un sistema adecuado y coordinación interdepartamental para ser exitosas. También es necesario ajustar los procesos para facilitar los flujos de conocimiento entre la organización y el cliente, aprovechando la innovación abierta [11].

En este contexto y en el marco de la maestría en gerencia de proyectos, se desarrolla un proyecto de investigación con la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los elementos necesarios para gestionar eficazmente el conocimiento y la información generados en proyectos, creando valor estratégico para las organizaciones desde la perspectiva de los gestores de proyectos?

El objetivo principal de esta investigación es identificar los componentes clave de la gestión del conocimiento y la información a nivel organizacional y cómo estos se han adaptado a la gestión de proyectos. Para ello, se plantearon los siguientes objetivos específicos: evaluar el tratamiento del conocimiento y la información a nivel empresarial; comparar el tratamiento de la información y el conocimiento en marcos de buenas prácticas mediante un estudio analítico; identificar las necesidades y desafíos específicos de los gestores de proyectos en cuanto a la gestión del conocimiento y la información mediante un estudio de campo, y elaborar una lista de requisitos para el modelo; y, finalmente, proponer un modelo explícito que facilite la aplicación práctica de la gestión del conocimiento, la información y la comunicación en proyectos, aplicando métodos comparativos y constructivos de soluciones.

Metodología

Debido a la extensión y multidisciplinariedad de los temas abordados en esta investigación, se aplicó un método mixto que incorpora diversas técnicas de procesamiento de datos, específicas para las secciones cuantitativas y cualitativas. Las principales herramientas de recolección de datos utilizadas fueron la revisión bibliográfica, un cuestionario y una entrevista autoadministrada.

Para la selección del método de investigación, se partió de la problemática de definir quiénes son los gestores de proyectos, dada la diversidad de esta población, y determinar en qué niveles influye la GCI. Para ello, se establecieron las siguientes categorías de investigación: la información y el conocimiento en el ámbito empresarial, y la gestión de la información y el conocimiento en proyectos. Se priorizó la revisión bibliográfica para la primera categoría y el cuestionario para la segunda.

La revisión bibliográfica siguió las pautas establecidas por PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Este proceso sistemático permitió identificar y seleccionar estudios relevantes sobre la gestión del conocimiento y la información a nivel organizacional y su aplicación en la gestión de proyectos.

Esta investigación comprendió una sección de recolección de datos aplicada a una población con representatividad estadística y la aplicación de una herramienta a una población sin respaldo estadístico, pero con un profundo conocimiento en temas relacionados con la industria.

El cuestionario se administró a una muestra de 331 individuos, seleccionados de una población total de 2360 profesionales costarricenses egresados de programas de posgrado en Gerencia de Proyectos. Se obtuvo una tasa de respuesta del 16%, equivalente a 56 respuestas. El cuestionario evaluó el nivel de conocimiento general en gestión del conocimiento, los métodos utilizados para gestionar la información y el conocimiento, y las necesidades específicas en esta área.

Además, se realizó una entrevista autoadministrada con un profesional del Project Management Institute, una organización certificadora en gestión de proyectos. Esta entrevista buscó recopilar información sobre las prioridades, avances, retos y oportunidades en la gestión de la información y el conocimiento, desde la perspectiva de una organización enfocada en la estandarización de la gestión de proyectos.

Gestión de la Información y el Conocimiento a nivel organizacional

En primera instancia los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica ubican a la información y el conocimiento como activos fundamentales en la estructura organizacional. La documentación, el registro y la consolidación de información son aspectos centrales en diversos departamentos. Sin embargo, en la actualidad, se observa un cambio de enfoque hacia la priorización de la comunicación efectiva de la información como un elemento esencial para el éxito organizacional.

A nivel organizacional, se ha demostrado que existe una dispersión de datos que a veces duplica tareas y dificulta la recuperación de información en el momento necesario [16]. Además, se ha observado que disponer de sistemas informáticos complejos o grandes volúmenes de información no marca una diferencia significativa en las organizaciones.

Ante esto se ha evidenciado en muchas organizaciones una tendencia en la gestión de la información hacia la implementación de sistemas diseñados para facilitar el intercambio fluido de información entre los miembros de la organización. Estas prácticas de gestión de información se implementan comúnmente en un entorno de Intranet, buscando así proporcionar

máxima utilidad y accesibilidad a los miembros de la organización. Sin embargo, a pesar de la aplicación de sistemas informáticos de gestión de la información, se ha identificado un vacío significativo, donde la implementación de estas herramientas no es suficiente para alcanzar de manera integral los objetivos estratégicos de la organización.

Para que un modelo de GCI generé valor en la organización, lograr una eficiencia óptima y la consecución de metas organizacionales requiere contar con una serie de elementos específicos, más allá de los tecnológico. Estos elementos identificados como esenciales para el éxito de la GCI se describen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Elementos esenciales para la gestión de la información.

Elemento	Características	Propósito
Cultura Organizacional	Fomentar una cultura que valore la importancia de la gestión de la información. Capacitación continua para empleados en buenas prácticas de manejo de datos.	Una cultura que fomente la conciencia y la responsabilidad en la gestión de la información es fundamental para el éxito a largo plazo. Se considera el elemento con mayor prioridad para la gestión de la información
Integración con la Estrategia Organizacional	Alineación de la gestión de la información con los objetivos estratégicos de la organización. Uso de la información para la toma de decisiones estratégicas.	La alineación de la gestión de la información con los objetivos estratégicos garantiza que la información sea un activo valioso para la toma de decisiones. Se considera la cultura organizacional, como motor de la estrategia.
Gestión de la documentación	Recogida de la información. Acopio o acumulación. Tratamiento de la información, donde se encuentra la clasificación, ordenamiento y transferencia. Difusión de la información	La captura y transferencia efectiva de la información aseguran la continuidad y la mejora continua en la gestión de proyectos. Es imperativo considerar el tipo de información valiosa para la organización, es decir su alineación a sus objetivos estratégicos y a la vez a la cultura organizacional.
Infraestructura Tecnológica	Sistemas de gestión de bases de datos. Plataformas de colaboración. Herramientas de almacenamiento y recuperación de información.	Contar con las herramientas tecnológicas adecuadas es esencial, pero debe estar respaldado por una cultura y estrategia organizacional sólidas. El mismo sistema que ha sido replicado en otras organizaciones con gran éxito puede no tener una respuesta exitosa si no cuenta con esta línea de prioridad. A la vez, se debe tomar en cuenta el tipo de información y la accesibilidad de transferencia requerida en la organización.
Políticas y Procedimientos	Desarrollo y aplicación de políticas de seguridad de la información. Procedimientos para la clasificación y gestión de datos sensibles.	Establecer políticas y procedimientos robustos proporciona el marco necesario para garantizar la seguridad y la eficiencia en la gestión de la información. Pero debe considerar los flujos de accionar de la infraestructura tecnológica ya establecida, y los métodos de gestión de la documentación.

Dentro del análisis de los resultados de el cuadro 1, también se encontró que la mayoría de los desafíos en la aplicación de sistemas de gestión de la información surgen en la desconexión de los elementos encontrados. Esto lleva a obtener una jerarquía por peso de los distintos elementos esenciales en la GCI. Por ejemplo, la implementación de un sistema tecnológico para el tratamiento de la información puede volverse sumamente compleja de utilizar o perder su propósito al implementar procedimientos específicos que no se alinean adecuadamente con las necesidades de la información organizacional. Esta jerarquía se logra aplicando la técnica de conteo y análisis de tendencias de los estudios sobre el éxito de sistemas de GCI. Por lo cual se ubica que el elemento de mayor peso, es decir el que tienen mayor influencia en el éxito de la GCI, es la cultura organizacional, al ser esta el principal motor para el éxito de estos modelos de gestión. Dentro de las tendencias encontradas las políticas y procedimientos tienen el menor peso, como se puede visualizar en la Figura 1

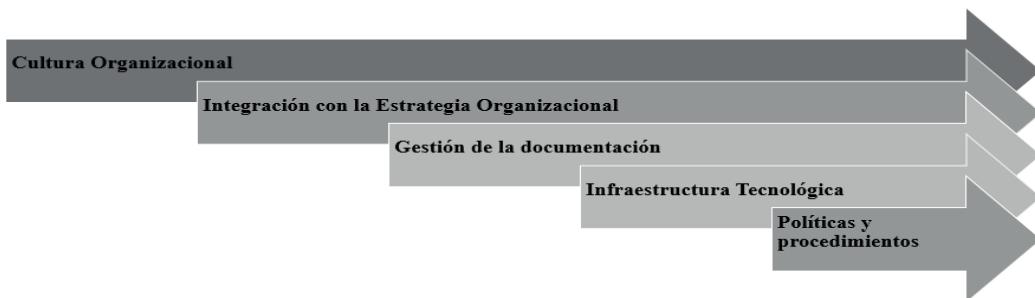


Figura 1. Peso de los elementos de gestión de la información.

Esta investigación resalta la integración de diversos elementos en la gestión de la información, subrayando que su efectividad y generación de valor estratégico dependen de la comprensión profunda de la cultura y estrategias organizacionales. Esto requiere un enfoque sistemático desde la identificación de necesidades hasta la implementación de soluciones tecnológicas adecuadas.

Por otro lado, distintos autores han propuesto modelos para la gestión del conocimiento a nivel organizacional. Para este estudio, se realizó un análisis exhaustivo de los modelos de gestión del conocimiento seleccionados, que incluyen el enfoque de Nonaka y Takeuchi, el Modelo de KPMG, el Modelo Andersen, el Modelo de Bustelo y Amarilla, el Modelo de Rotación de Conocimiento y el Modelo de Integración de Tecnología. Entre las conclusiones fundamentales derivadas de este análisis, se destacan:

- Cada modelo tiene su propia fundamentación, iniciando por las disparidades entre el conocimiento tácito y explícito.
- Estos siguen una secuencia de pasos para su desarrollo e implementación, culminando en la gestión efectiva del conocimiento.
- Presentan diversas estrategias para la creación y gestión del conocimiento, tales como mapas de conocimiento, almacenes, comunidades de aprendizaje, entre otras.
- La cultura organizacional emerge como un factor intrínseco en todos los modelos de gestión del conocimiento.
- La tecnología de la información y las comunicaciones se posiciona como prioritaria en algunos modelos, aunque no de manera uniforme.
- Existe una conexión significativa entre la información y el conocimiento en todos los modelos.

- La organización es conceptualizada como un sistema de relaciones y conexiones interdependientes.

Al analizar esta comparativa de sistemas, se concluye que a diferencia de otros factores organizacionales la GCI involucra la medición de activos intangibles, como el liderazgo y la cultura organizacional, así como elementos tecnológicos. Se resalta también que esta gestión para generar valor debe ser pensada a través de toda la organización, y si se considera un proceso aislado se convierte en solo gestión documental.

Gestión de la Información y el Conocimiento en la Gestión de Proyectos

Seguidamente, este estudio comparativo analiza el tratamiento de los marcos de buenas prácticas de gestión de proyectos de la conceptualización del conocimiento y la información, la transferencia y socialización del conocimiento, los elementos de la cultura organizacional, el empleo de tecnología y herramientas para la codificación de información en conocimiento, así como su funcionalidad tanto en el contexto del proyecto como fuera de él. Como se observa en el cuadro 2, los marcos específicos analizados fueron el PMBOK, Scrum, Kaban, y el IPMA Project Excellence Baseline.

Cuadro 2. Comparativa de marcos de buenas prácticas.

Indicador	PMBOK	SCRUM	KANBAN	Project Excellence
Definición del conocimiento y la información	<p>La Guía menciona una definición general del conocimiento, pero no menciona el concepto de información</p> <p>Se menciona cierta explicación de la diferencia entre datos y conocimiento, pero no a profundidad.</p>	<p>La Guía Scrum no proporciona definiciones claras de conocimiento. Pero otros documentos relevantes si profundizan en la conceptualización de conocimiento e información.</p>	<p>No se hace mención de los conceptos de información y conocimiento.</p>	<p>No se menciona específicamente los conceptos de información y conocimiento.</p>
Gestión del conocimiento	<p>Si se proporcionan procesos específicos para la gestión del conocimiento</p> <p>Se mencionan distintas herramientas para capturar, almacenar y compartir el conocimiento.</p>	<p>No se proporcionan procesos específicos para la gestión del conocimiento</p> <p>No se identifican herramientas, pero hay una fuerte promoción en la interacción y colaboración para la generación del conocimiento.</p>	<p>No se proporcionan procesos específicos para la gestión del conocimiento</p> <p>No se identifican herramientas, pero hay elementos implícitos de la colaboración, liderazgo y retroalimentación para la generación de conocimiento.</p>	<p>No se proporcionan procesos específicos para la gestión del conocimiento</p> <p>No se identifican herramientas, pero hay elementos implícitos de la colaboración, liderazgo y retroalimentación para la generación de conocimiento.</p>
Transferencia de conocimiento	<p>Se describen procesos de transferencia del conocimiento, más estos son algunas veces limitados a ciertos involucrados o en salidas de procesos como registro de lecciones aprendidas.</p> <p>Se describen ciertas herramientas, y mecanismos, pero mayormente enfocado al conocimiento explícito.</p>	<p>Se fomenta ampliamente la transferencia efectiva de conocimiento entre los miembros del equipo al ser fundamental para la guía.</p> <p>Se describen mecanismos en específico para la transferencia de conocimiento tácito.</p>	<p>Se fomenta mediante reuniones de equipo y al visibilizar el trabajo de las actividades mediante el tablero del flujo de trabajo.</p> <p>Se describen algunos mecanismos para la transferencia de conocimiento tácito.</p>	<p>Se fomenta una gran colaboración entre todos los interesados del proyecto para generar conocimiento o recopilar información.</p> <p>No se describen mecanismos para la transferencia de conocimiento tácito.</p>

Indicador	PMBOK	SCRUM	KANBAN	Project Excellence
Comunicación y colaboración	La guía si promueve la comunicación efectiva para compartir conocimiento. Se enfoca en el rol del Director de Proyecto para facilitar la colaboración.	La guía si promueve la comunicación efectiva para compartir conocimiento. Los roles establecidos no plantean completa responsabilidad para facilitar la gestión del conocimiento, pero el Scrum Master acumula la responsabilidad tácitamente.	Este método promueve comunicación constante y efectiva para compartir conocimiento. No se plantean roles específicos.	Este modelo promueve constantemente comunicación efectiva para compartir conocimiento. No se describen roles específicos ya que se parte desde el hecho que las organizaciones ya cuentan con procesos propios.
Aprendizaje organizacional	Se promueve constante aprendizaje y mejora. Se incluyen procesos para el registro de lecciones aprendidas, pero hace falta espacios de reflexión. Aparte de contar con un repositorio de proyectos no se menciona como el conocimiento puede ser transferido entre proyectos.	Se promueve constante aprendizaje y mejora. Se mencionan espacios de reflexión en distintas iteraciones, pero no se registran lecciones aprendidas. No se menciona como el conocimiento puede ser transferido entre proyectos.	Se promueve constante aprendizaje y mejora Se mencionan procesos específicos de retroalimentación. No se menciona como el conocimiento puede ser transferido entre proyectos.	Se promueve constante aprendizaje y mejora No se mencionan procesos específicos, pero se señala la importancia de la constante retroalimentación y la recopilación de lecciones aprendidas. Se menciona la importancia de la continua mejora para el éxito de futuros proyectos también.
Uso de tecnología y herramientas	Se menciona la posibilidad de uso de herramientas tecnológicas, pero no específicas. No se aborda como estas herramientas pueden facilitar la captura, almacenamiento y difusión del conocimiento.	Se menciona el uso de tecnología en todos los procesos de Scrum. No se aborda como la tecnología se relaciona con la captura, difusión y almacenamiento del conocimiento.	Se menciona el uso de tecnología específicamente para los tableros. No se aborda como la tecnología se relaciona con la captura, difusión y almacenamiento del conocimiento.	Menciona el uso de tecnología con un elemento organizacional. No se aborda como la tecnología se relaciona con la captura, difusión y almacenamiento del conocimiento.
Cultura organizacional	Se reconoce la importancia de la organización y los activos de esta para promover el intercambio de conocimiento. No se proporcionan pautas para crear una cultura que fomente la colaboración y el aprendizaje	Se señala la importancia de una cultura organizacional específica para lograr el éxito del uso de Scrum, pero no se especifica en la gestión del conocimiento.	Se señala la importancia de una fuerte estructura organizacional como punto inicial para apoyar el proceso de gestión, pero no se menciona la gestión del conocimiento.	Se reconoce la importancia de una sólida cultura organización para el éxito de los proyectos en general. No se proporcionan pautas para crear una cultura que fomente la colaboración y el aprendizaje

Basado en el análisis de [17][18][19][20].

Al indagar en la valoración de los gestores de proyectos de Costa Rica sobre la GCI entre los principales hallazgos de esta investigación se destaca que el 73.2% de los profesionales en gestión de proyectos tienen conocimiento de métodos para la gestión del conocimiento. Sin embargo, un 60.7% no conoce modelos específicos como los de Nonaka y Takeuchi, KPMG, Andersen o Bustelo y Amarilla, sugiriendo que estos modelos no se han aplicado de manera generalizada en la gestión de proyectos. Esto podría deberse a diferencias entre la gestión organizacional y la de proyectos, así como a cuestiones de tiempo y la naturaleza temporal de los equipos de gestión de proyectos.

La encuesta revela que un 83.9% de los gestores de proyectos utiliza herramientas para la gestión de la información. Un 34.7% emplea la Nube para el almacenamiento de datos, un 22.4% utiliza bases de datos y un 18.4% recurre a repositorios de documentación, confirmando que estas son las herramientas más comunes en la gestión del conocimiento y la información.

Un hallazgo notable es que casi el 60% de los profesionales considera insuficientes sus métodos actuales de trazabilidad de información. A pesar de adoptar herramientas tecnológicas, muchos gestores encuentran limitados estos instrumentos, resaltando la necesidad de una herramienta más especializada para la gestión de proyectos y la trazabilidad de la información. Además, el 76.8% de los encuestados cree que un método específico para la gestión del conocimiento e información en proyectos mejoraría su desempeño laboral.

En conclusión, los gestores costarricenses reconocen los modelos tradicionales a nivel empresarial y utilizan diversas herramientas tecnológicas, pero consideran que un modelo específico para la gestión de proyectos sería muy útil. Este modelo no solo debe recopilar información, sino también mejorar la toma de decisiones, facilitar la trazabilidad de la información y promover una gestión más efectiva y eficiente de los proyectos.

El resultado de la herramienta de entrevista abierta destacó el impacto del PMI en la gestión del conocimiento y la información a través del PMBOK, que ha mejorado la eficiencia y comprensión en proyectos. Sin embargo, se reconocieron deficiencias en madurez y documentación, consideradas críticas para el éxito de cualquier proyecto. Se subrayó la importancia de la gestión del conocimiento en la ejecución de proyectos y la necesidad de mejorar prácticas y herramientas para aumentar la eficiencia. A pesar de los esfuerzos, existe confusión sobre la aplicación de estas prácticas, a menudo vistas solo como documentación o mantenimiento de bases de datos. La gestión del conocimiento incluye la recopilación y uso de datos externos relevantes para los proyectos. Es fundamental tener acceso y saber gestionar esta información desde las etapas iniciales hasta la conclusión del proyecto.

Modelo propuesto para la gestión de Información, Conocimiento y Comunicaciones en Gestión de Proyectos

Con la información recopilada con las secciones anteriores, esta investigación propone un modelo de GCI en proyectos que parte del principio de que la gestión del conocimiento y la información no constituye una actividad temporal, sino un proceso continuo y abierto que debe ser integrado en todas las fases de la gestión del proyecto. Sin embargo, este enfoque no debe limitarse a solo documentación o retención de la información, sino que posee un potencial significativo para el éxito tanto de proyectos individuales como de programas más amplios.

El diseño del modelo propuesto se realizó a partir de un análisis comparativo de marcos de referencia en gestión del conocimiento, información y comunicaciones, así como mediante la recopilación y análisis de datos obtenidos en el estudio de campo. Se utilizó un enfoque iterativo, donde los hallazgos del análisis bibliográfico y las encuestas fueron incorporados progresivamente en la estructuración del modelo. Además, se tomó en cuenta la alineación con prácticas de gestión de proyectos y la integración de la cultura organizacional como eje central. Este proceso permitió la formulación de un modelo conceptual que articula estos elementos en un enfoque aplicable a distintos contextos empresariales.

Uno de los resultados principales del análisis bibliográfico fue la interrelación entre gestión del conocimiento y comunicación como factor crucial para la creación de valor estratégico, la mejora de la colaboración, la reducción de malentendidos y la facilitación de una toma de decisiones más informada y ágil. Debido a esto este modelo incluye la comunicación como uno de los elementos principales.

El modelo se describe comenzando por sus elementos generales y su valor para la gestión de proyectos. Luego, se detalla cómo la información se convierte en conocimiento en este contexto, basado en modelos empresariales previos. Se presentan los elementos específicos de información, conocimiento y comunicaciones en la gestión de proyectos, finalizando con una sección sobre elementos complementarios para fortalecer la gestión del conocimiento y la información, independientemente de las metodologías utilizadas. La Figura 2 representa visualmente el modelo de gestión propuesto.



Figura 2: Modelo de Gestión del Conocimiento y la Información en Proyectos.

El presente modelo propone una integración sólida dentro del entramado cultural y estratégico de la organización. Se destaca que esta propuesta no constituye un proceso independiente, ni una gestión que pueda ser llevada a cabo de manera aislada. Más bien, cada acción de captura o transformación de información, así como la utilización del conocimiento, debe estar intrínsecamente ligada al aporte de valor a la estrategia organizacional y, en última instancia, surgir de los principios fundamentales de su cultura. Además, se enfatiza la necesidad de que la cultura organizacional promueva la valorización y relevancia de la información y el conocimiento, siendo estos las bases de las comunicaciones.

El portafolio de proyectos cae como el siguiente nivel de este modelo ya que se determinó una necesidad de fortalecer el rol conectivo que juegan las Oficinas de Gestión de Proyectos (PMO) entre los objetivos estratégicos y el éxito de los proyectos. Este modelo fomenta la retroalimentación entre gestores de proyectos y el portafolio, creando un ambiente de mejora continua, donde los gestores de la PMO comunican mejoras a los gestores de proyecto y viceversa, fomentando así el éxito de los proyectos y la priorización de las estrategias organizacionales.

Seguidamente en el modelo se encuentra el flujo de proyectos, donde se puede utilizar cualquier metodología deseada. Sin embargo, este hace un llamado a los gestores de proyectos para centrar la gestión del conocimiento como parte integral del flujo de gestión de proyectos. Esto

significa que la metodología o modo de gestión de proyectos también influirá de diversas maneras en la forma o necesidades de la gestión de la información y el conocimiento, pero este modelo no puede preverlo.

Los elementos de información, conocimiento y comunicaciones se presentan como el centro del modelo como un proceso donde cada uno de alimenta del anterior. Como se visualiza en la Figura 3, las interacciones se muestran como un entramado, donde las comunicaciones, que suceden durante toda la fase, son alimentadas por las lecciones aprendidas y el conocimiento. Este último se transfiere de la mente de los individuos al conocimiento grupal, el cual se convierte posteriormente en conocimiento formalizado. Este proceso de formalización surge de la información recolectada, generada y procesada, que está fácilmente accesible en el Sistema de Gestión de Información.

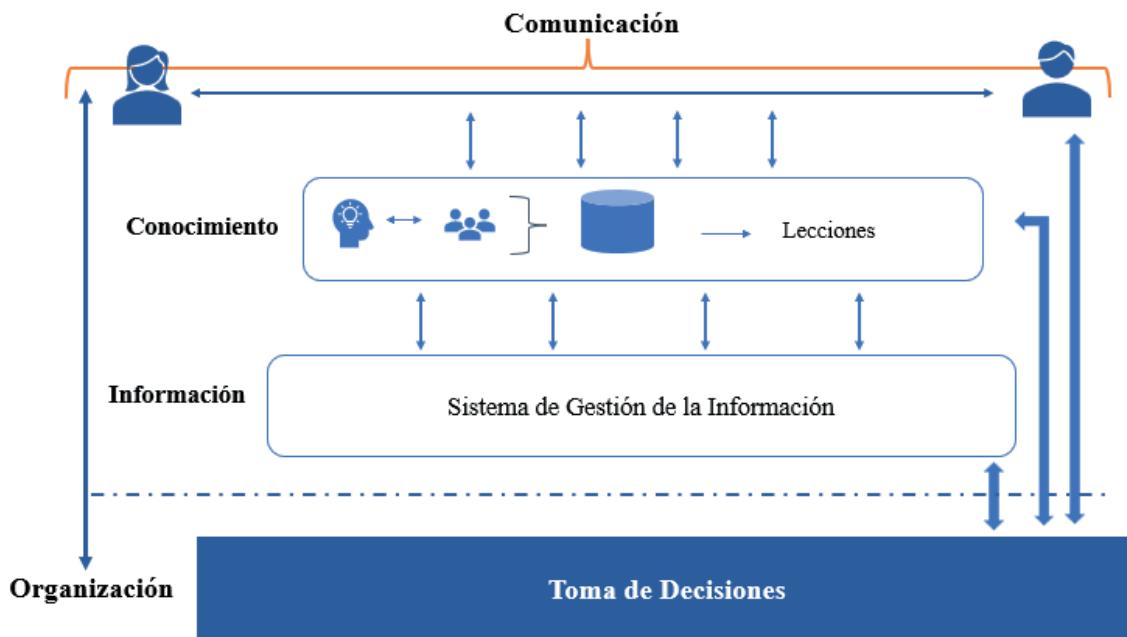


Figura 3. Diagrama de Interconexión de la información, el conocimiento y la comunicación.

En cuanto a los roles, este modelo recomienda contar con un gestor de la información y el conocimiento dentro de los proyectos, que debe estar profundamente involucrado en el proyecto y entender la estrategia y cultura organizacional. Sobre los protocolos se recomienda contar con protocolos claros y específicos sobre el manejo de la información para evitar confusiones y cumplir con requisitos legales o normativos, siendo el proceso de creación y actualización de esta responsabilidad de la PMO. El elemento de post-proyecto en el modelo se refiere a todas aquellas actividades que respaldan la transferencia de conocimiento entre proyectos, donde se recomienda a la PMO establecer las necesidades de comunicación a nivel de proyectos y, especialmente, al fomentar espacios de distribución del conocimiento.

Por último, el modelo realiza unas recomendaciones generales sobre los perfiles profesionales de los gestores del conocimiento en proyectos, las tecnologías a utilizar, tomando en cuenta la importancia de estas para el éxito de la GCI y las diferentes certificaciones disponibles para capacitar a los gestores o mejorar las capacidades organizacionales.



Conclusiones

Esta investigación ha destacado un notable desarrollo en la gestión del conocimiento a nivel empresarial, subrayando su necesidad intrínseca dentro de la organización y el potencial valor que puede generar. Sin embargo, estos avances no se reflejan plenamente en la gestión de proyectos, evidenciando una desconexión con los elementos más influyentes en el éxito de un sistema de gestión del conocimiento empresarial: la cultura organizacional, la integración del sistema con la estrategia organizacional, el liderazgo activo, la comunicación, la infraestructura tecnológica, y las políticas y procedimientos.

Al mismo tiempo, se identificó una oportunidad en el hecho de que los profesionales costarricenses están familiarizados con los modelos de gestión del conocimiento y la información, pero estos no han sido adaptados adecuadamente a la gestión de proyectos. Aunque utilizan diversas herramientas de recopilación y organización documental, indican que los modelos o métodos actuales no son suficientes ni cumplen con sus necesidades específicas en la gestión de proyectos, tales como la trazabilidad, la claridad de los procesos, la facilidad de uso, el registro de lecciones aprendidas y la documentación.

La propuesta de modelo de gestión desarrollada como resultado principal de este estudio resalta la interconexión de los elementos fundamentales para que GCI genere valor a nivel organizacional. Estos factores apoyan la gestión de proyectos, mejoran el registro de lecciones aprendidas, facilitan la distribución de información entre proyectos dentro de una PMO, y promueven el uso constante de la información y el conocimiento para la comunicación y la toma de decisiones.

En conclusión, el modelo propuesto puede generar un valor significativo en diversas organizaciones y su implementación ya está en proceso en una entidad específica. Se considera que investigaciones futuras deben enfocarse en el impacto de la información y el conocimiento en el éxito de los proyectos, explorando cómo estos factores pueden ser optimizados para mejorar los resultados organizacionales.

Agradecimientos

Agradecemos a la Maestría en Gerencia de Proyectos del Tecnológico de Costa Rica, y en especial al coordinador, el señor Milton Sandoval Quirós, por su constante apoyo en la investigación. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al señor Gustavo Conejo, representante del PMI para Costa Rica, por su disposición a contestar la entrevista.

Referencias

- [1] Gómez, D., Pérez, M., Curbelo, I. "Gestión del Conocimiento y su Importancia en las Organizaciones. Ingeniería Industrial". (26.2) 37-46. *Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría La Habana*. 2005.
- [2] KPMG. "Knowledge Management Research Report 2000". KPMG Consulting, London. (2000). [En línea]. Disponible: http://www.providersedge.com/docs/km_articles/kpmg_km_research_report_2000.pdf
- [3] McKeen, J., Zack, M., Singh, S. "Knowledge management and organizational performance: an exploratory survey". Presentado en 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'06) (Vol. 7, pp. 152b-152b). (2006). IEEE.
- [4] Namdarian, L., Sajedinejad, A., Bahanehsteh, S. "The impact of knowledge management on organizational performance: a structural equation modeling study". AD-minister, (37), 85-108. (2020).
- [5] Mahdavi Mazdeh, M., Hesamamiri, R. "Knowledge management reliability and its impact on organizational performance: An empirical study". Program, 48(2), 102-126. (2014).
- [6] Kumbali, H. Ç., İrmış, A. "The Relationship Between Knowledge Management and Organizational Resilience in terms of Organizational Structure". İzmir İktisat Dergisi, 38(2). 448-467. (2022). Doi: 10.24988/ije.1173069

- [7] APQC (American Productivity & Quality Center). "2024 Knowledge Management Priorities and Predictions Survey Report". (2024) [En línea]. Disponible: <https://www.apqc.org/resource-library/resource-listing/2024-knowledge-management-priorities-and-predictions-survey>
- [8] Reich, B., Wee, S. "Searching for knowledge management practices in the PMBOK® guide". Presentado en PMI Research Conference: Innovations, London, England. Newtown Square, PA. Project Management Institute. (2004). [En línea]. Disponible: <https://www.pmi.org/learning/library/searching-knowledge-management-concepts-guide-8294>
- [9] Hanisch, B., Lindner, F., Müller, A., Wald, A. "Project knowledge management: status quo, organizational design, and success factors". Presentado en PMI Research Conference: Defining the Future of Project Management, Warsaw, Poland. Project Management Institute. (2008). [En línea]. Disponible: <https://www.pmi.org/learning/library/project-knowledge-management-life-cycle-7137>
- [10] Mills, A., & Smith, T. "Knowledge management and organizational performance: a decomposed view". Journal of knowledge management, 15(1), 156-171. (2011).
- [11] Pereira, L., Fernandes, A., Sempiterno, M., Dias, A., Lopes da Costa, R., António, N. "Management Maturity Contributes to Project-Bases in an Open Innovation Era". J Open Innov. Technol. Mark. Complex. (2021).
- [12] Davidson, P., & Rowe, J. "Systematising knowledge management in projects". International Journal of Managing Projects in Business, 2(4), 561-576. (2009).
- [13] Guerrero, M. "La gestión del conocimiento en las empresas, su importancia y dependencia del estilo del liderazgo de la alta gerencia". INNOVA Research Journal, 1(1), 1-7. (2016). [En línea]. Disponible: <https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/index>
- [14] Conley, C., Zheng, W. "Factors critical to knowledge management success. Management Success". Advances in Developing Human Resources, 11(3), 334–348. (2009). [En línea]. Disponible: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1523422309338159>
- [15] Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D., & Prisma Group. "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement". International journal of surgery, 8(5), 336-341. (2010).
- [16] Rojas, Y. "Organización de la información: un factor determinante en la gestión empresarial". ACIMED, 12(2), 1. (2004).
- [17] IPMA "Project Excellence Baseline for Achieving Excellence in Projects and Programmes." (2016).
- [18] Kanban Guide. "Kanban Guides.org (2020). [En línea]. Disponible: <https://kanbanguides.org/english/>
- [19] PMI. "A guide to the Project Management Body of Knowledge" (PMBOK guide) (6th ed.). Project Management Institute. (2017).
- [20] Palacio, M. "Scrum Master". Temario Troncal 1. Versión 3.0. Scrum Manager. (2022).

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que para la revisión gramatical y ortográfica de este artículo, empleamos la herramienta de IA ChatGPT. La cual nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, realizamos una revisión final para garantizar que el artículo cumpliera con los estándares de calidad de la revista.

Implementación de herramientas de gestión en la dirección y ejecución de obras viales

Implementation of management tools in the direction and execution of road works

Roy Barrantes-Jiménez¹, Christian Valverde-Cordero²

Barrantes-Jiménez, R; Valverde-Cordero, C. Implementación de herramientas de gestión en la dirección y ejecución de obras viales . *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Marzo, 2025. I Congreso Internacional de Gestión de Proyectos (CIGEPRO). Pág. 19-32.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i6.8174>

1 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
roy.barrantes@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0009-0009-2180-3113>

2 Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, LanammeUCR, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
christian.valverde@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0009-0002-7838-8917>



Palabras clave

Gestión; herramientas; carreteras; técnicas; optimización.

Resumen

Este estudio muestra los resultados obtenidos de la aplicación de herramientas de gestión de proyectos en la dirección y ejecución de obras viales en Costa Rica. Se exploraron diversas técnicas, enfocando en cómo facilitar y optimizar la gestión. Específicamente se tuvo como objetivo mostrar los resultados de implementar técnicas de facilitación a mencionar: lluvia de ideas, evaluación de opciones e intercambio de información, además técnicas analíticas como: métodos de agrupación, análisis de causa raíz, el método de los cinco porqué, cuestionarios y generación de alternativas en la ejecución de proyectos a cargo del Consejo Nacional de Vialidad. Este estudio se llevó a cabo mediante una metodología participativa en conjunto con las principales jerarquías del Consejo Nacional de Vialidad en varias sesiones de trabajo guiadas por los investigadores. Adicionalmente se realizó una compilación de "lecciones aprendidas" en varios proyectos de obra vial de Costa Rica como herramienta de gestión. Estos análisis se realizaron con el objetivo de evidenciar la utilidad e importancia en el uso de estas técnicas y herramientas de gestión en obras viales y la importancia que tienen como elementos facilitadores para la mejora continua y búsqueda de optimizar los procesos. Los resultados obtenidos muestran cómo por medio del uso de estas técnicas es posible determinar una hoja de ruta clara hacia la mejora de los proyectos viales, incorporando los principios básicos de la gestión de proyectos y revelando las áreas que requieren de una mayor concentración de esfuerzos, recursos o reestructuración a nivel institucional.

Keywords

Management; tools; roads; techniques; optimization.

Abstract

This study showcases the results obtained from the application of project management tools in the direction and execution of road works in Costa Rica. Various techniques were explored, focusing on how to facilitate and optimize management. Specifically, the aim was to demonstrate the outcomes of implementing facilitation techniques such as brainstorming, option evaluation, and information exchange, as well as analytical techniques including clustering methods, root cause analysis, the five-whys method, questionnaires, and alternative generation in projects managed by the National Road Council. This study was conducted using a participatory methodology in conjunction with the main hierarchies of the National Road Council across several work sessions guided by the researchers. Additionally, a compilation of "lessons learned" from various road construction projects in Costa Rica was performed as a management tool. These analyses were carried out to highlight the utility and importance of using these techniques and management tools in road works, and their role as facilitators for continuous improvement and the pursuit of process optimization. The findings demonstrate how the use of these techniques can establish a clear roadmap towards the enhancement of road projects, incorporating basic principles of project management and identifying areas that require greater concentration of efforts, resources, or institutional restructuring.

Introducción

Esta publicación expone el impacto de implementar herramientas de gestión en la dirección y ejecución de proyectos viales en Costa Rica, destacando los resultados obtenidos en colaboración con el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). El estudio evaluó cómo estas herramientas pueden incrementar la eficiencia y eficacia en la gestión de proyectos viales, identificando los principales desafíos que reducen la efectividad en la administración, gestión y dirección de proyectos de obra vial en el MOPT – CONAVI. Entre las técnicas utilizadas están la lluvia de ideas, la evaluación de opciones y el intercambio de información. Adicionalmente, se emplearon técnicas analíticas como:

- Métodos de agrupación: Técnicas que permiten organizar datos o actividades en categorías basadas en características comunes para simplificar su análisis y gestión.
- Análisis de causa raíz: Proceso sistemático para identificar las raíces de un problema principal, asegurando que se aborden las causas fundamentales en lugar de los síntomas.
- El método de los cinco porqué: Técnica de interrogación utilizada para explorar las relaciones causa-efecto subyacentes a un problema particular mediante la formulación repetida de la pregunta «¿Por qué?».

De forma paralela se realizó un compendio de “lecciones aprendidas” en proyectos de obra vial en Costa Rica como una forma de incorporar esta buena práctica de gestión de proyectos en la búsqueda de la mejora continua. El término “lecciones aprendidas” se observa con frecuencia en diferentes instituciones como una de las estrategias para efectuar gestión del conocimiento y mejorar los procesos a través de la experiencia vivida [1].

En otras palabras, al ocurrir un evento de manera positiva, se debe buscar repetir o amplificar; por otro lado, si se generan impactos adversos, estas acciones se convierten en eventos por mejorar o evitar en el futuro. Debido a esto, muchas organizaciones inician su gestión de mejora del conocimiento a través de la gestión de lecciones aprendidas, haciendo uso de las mejores prácticas registradas en anteriores proyectos con la finalidad de mejorar la toma de decisiones en las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto.

Las lecciones aprendidas son una forma típica de recopilar y retener el conocimiento de los proyectos; sin embargo, ¿Qué son las “lecciones” y cómo podemos juzgar si realmente hemos “aprendido” algo?

De acuerdo con la guía PMBOK, las lecciones aprendidas se definen como el conocimiento adquirido durante un proyecto que muestra cómo se abordaron o deberían abordarse en el futuro los eventos del proyecto, con la finalidad de mejorar el desempeño [3].

El uso de las lecciones aprendidas es un componente principal de la cultura organizacional, que forma parte del mejoramiento continuo y la gestión del cambio. Los mecanismos de lecciones aprendidas buscan comunicar efectivamente el conocimiento y garantizar que la información sea en beneficio de la planeación, los procesos y actividades llevadas en cualquier organización [4].

Registrar las lecciones aprendidas debe ser un esfuerzo continuo a lo largo de la vida del proyecto para descubrir errores y aciertos que se convierten en oportunidades de mejora. No es necesario esperar hasta el final del proyecto para que se produzca el aprendizaje, las lecciones se pueden identificar en cualquier momento durante el proyecto [2].

Entonces podemos decir que, para realmente “aprender” una lección, se necesitan tres ingredientes:

- Una experiencia de la que aprender (por observación o por participación directa)

- Un patrón de hacer cosas en situaciones similares
- Una meta para mejorar algo.

Gestión de Lecciones aprendidas

El BID considera que la sistematización de las lecciones aprendidas debe formar parte del trabajo diario en cualquier etapa de la vida proyecto. Esta inicia con la internalización de un nuevo conocimiento, el cual es producto de la experiencia operacional y/o corporativa que se tiene en cualquier fase del ciclo del proyecto y continúa en un ciclo de gestión de lecciones aprendidas [5]. El proceso consiste en cuatro etapas como muestra la Figura 1.

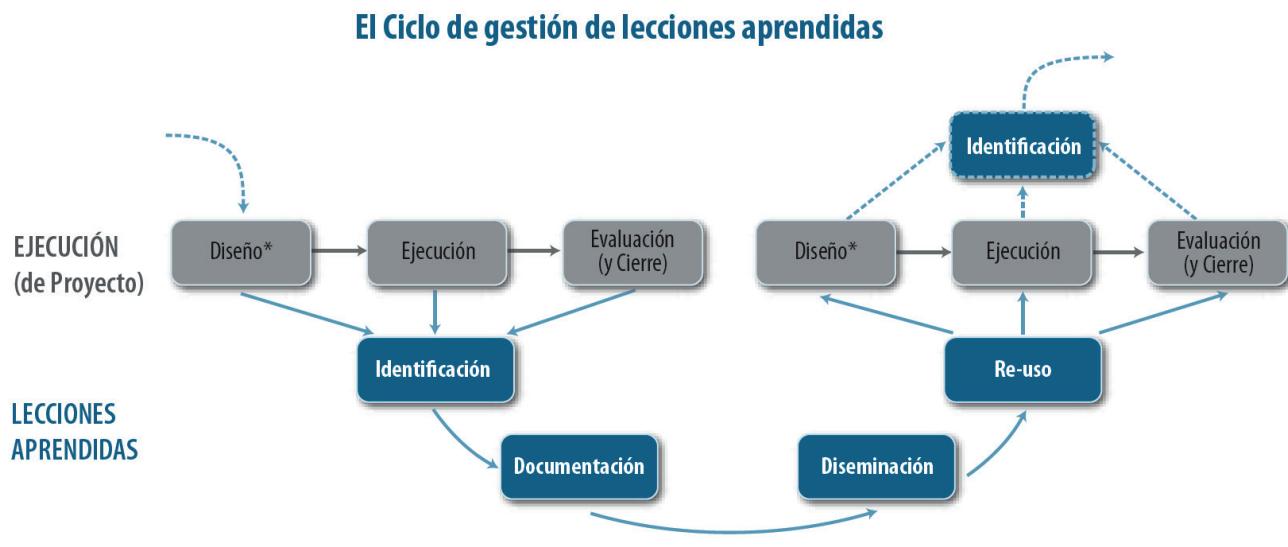


Figura 1. Ciclo de gestión de lecciones aprendidas [5].

- **Identificación:** Consiste en reconocer y explicitar la probabilidad de que exista una relación causal entre los resultados de una experiencia y/o proceso y los factores críticos que condujeron a dicho resultado.
- **Documentación:** Es aquí donde se plasma el nuevo conocimiento, así como el contexto en el que fue identificado, sus causas, consecuencias y generar acciones para su posterior implementación.
- **Diseminación:** Consiste en la difusión o comunicación del nuevo conocimiento generado, con el fin que se pueda implementar en casos similares.
- **Re-uso:** Consiste en la implementación de la lección aprendida generada, contando con los recursos apropiados y la libertad de consulta de los interesados en la misma.

Los mecanismos o procesos utilizados para recopilar, compartir y difundir las lecciones aprendidas pueden variar; el PMI por su parte, define un proceso que se compone de cinco elementos principales que consisten en: definición del proyecto, recopilación de información, verificación de la aplicabilidad, almacenamiento y difusión. La figura 2 representa el proceso de lecciones aprendidas.



Figura 2. Proceso de lecciones aprendidas [3].

- **Definición del proyecto:** en este paso se define la necesidad específica y el propósito de las lecciones aprendidas durante todo el proyecto. En él se debe definir el equipo que interactuará con las diferentes áreas y el acoplamiento con sus demás entes colaboradores, y dónde el conocimiento y la experiencia serán herramientas fundamentales para la selección de personal. Los interesados deberán estar de acuerdo y definir los formatos que serán utilizados en el producto, la metodología, la recopilación de datos, los procesos y la estrategia de difusión.
- **Recolección:** el proceso consiste en recopilar las lecciones aprendidas previstas y evidenciadas durante los procesos que se desarrollan en cada etapa del proyecto. Estará basado tanto en procesos estructurados y no estructurados como en las críticas del proyecto, las formas escritas y las reuniones que se realicen para el seguimiento de las actividades. Para algunos proyectos en particular, el proceso de recopilación de lecciones aprendidas en colaboración con los interesados puede ser tanto o más importante como la documentación de esta.
- **Verificación y síntesis:** el proceso sirve para verificar y sintetizar las lecciones aprendidas, sus enseñanzas y su posible aplicabilidad en el proyecto o en futuros proyectos. Se establecerán juicios de expertos, para determinar si es o no una lección aprendida relevante y que pueda perdurar en los demás proyectos.
- **Almacenar:** el almacenamiento de las lecciones aprendidas consiste en la recopilación de la información generada en una base de datos para un posible intercambio o difusión. El almacenamiento debe ser de fácil acceso para que los usuarios puedan identificarlas con facilidad.
- **Difusión:** las lecciones aprendidas son de poca utilidad si no son al menos difundidas y utilizadas por otras personas que tienen un interés común. La difusión puede abarcar al menos la revisión de un proceso de trabajo, la formación de cómo se hace, la rutina de lo hecho y la distribución a través de una variedad de medios de comunicación.

Se puede afirmar entonces que el propósito principal de la documentación de las lecciones aprendidas es el de compartir y usar el conocimiento, para promover que se repitan los buenos resultados y evitar la recurrencia de los negativos. El manejo de lecciones aprendidas le ayuda al equipo a descubrir puntos débiles y fuertes en el desarrollo del proyecto e invita a discutir acerca de los resultados y acontecimientos, antes, durante y después del proyecto. También se llega a un análisis que puede llevar al equipo a identificar: otros métodos para el mejor desarrollo de las actividades, la raíz de los problemas presentados y la manera de evitar la aparición de problemas recurrentes en etapas posteriores del proyecto [4].

Debido a que las lecciones aprendidas, incluyen experiencias de éxito como de fracaso, pueden ser utilizadas en la gestión de riesgos, toma de decisiones, gestión de problemas y en la planificación de tareas y recursos. Son aprovechadas para realizar mejoras de los procesos, productos o servicios. Compartir las lecciones documentadas contribuye a que los proyectos similares o futuros puedan beneficiarse mediante su consulta para ejecutar las tareas [6].

Tras detallar el contexto y las técnicas empleadas, la siguiente sección explica en profundidad la metodología utilizada, incluyendo las herramientas y procesos específicos para la recolección y análisis de datos, esencial para comprender los resultados obtenidos.

Metodología

Esta sección metodológica detalla cada fase del proceso, desde la identificación de problemas hasta la generación de soluciones, describiendo las técnicas y herramientas aplicadas en cada etapa para garantizar la objetividad y la eficacia de los resultados, liderado por profesionales de LanammeUCR y con la participación de aproximadamente 30 personas del CONAVI, se llevaron a cabo diversos talleres enfocados en la identificación y análisis de problemas, así como en el desarrollo de soluciones estratégicas, tácticas y operativas, empleando técnicas avanzadas de gestión de proyectos.

Durante la fase de determinación de la causa raíz, se aplicó el método de los cinco porqués, que es una técnica iterativa utilizada para explorar las relaciones causa-efecto de los problemas detectados. Este método, desarrollado por Sakichi Toyoda y popularizado en el sistema de producción de Toyota, consiste en preguntar ‘¿Por qué?’ repetidamente hasta que se revelan las causas fundamentales de un problema [7]. La aplicación de esta técnica permitió a las personas participantes profundizar en los problemas identificados y facilitó la formulación de soluciones más efectivas y sustentables.

La metodología adoptada (ver Figura 3) para este estudio involucró un enfoque participativo, empleando varias herramientas y técnicas de análisis para identificar y resolver los problemas asociados con la ejecución de proyectos viales. A continuación, se detalla el uso de la herramienta “Socrative Student” y el método de análisis de la información:

- **Fase de Identificación de Problemas:** En esta fase inicial, se utilizó “Socrative Student” para facilitar la recopilación de opiniones y percepciones de las personas participantes sobre los principales problemas en la gestión de proyectos viales. La herramienta permitió una votación en tiempo real para priorizar los problemas según su impacto y urgencia, garantizando un proceso democrático y transparente.
- **Fase de Análisis de la Información:** Durante la fase de análisis, “Socrative Student” se empleó nuevamente para evaluar las causas raíz de los problemas identificados. Las personas participantes utilizaron la herramienta para votar sobre posibles causas, lo que facilitó la identificación de las más significativas. Además, se llevaron a cabo análisis detallados utilizando métodos de agrupación y el método de los cinco porqués para profundizar en las relaciones causa-efecto.
- **Fase de Generación de Soluciones:** En la etapa de generación de soluciones, se aplicó un enfoque estructurado donde “Socrative Student” se utilizó para obtener retroalimentación sobre las propuestas de solución presentadas por las personas participantes. Esta herramienta permitió una evaluación rápida y eficaz de cada solución, ayudando a seleccionar las más viables y efectivas.

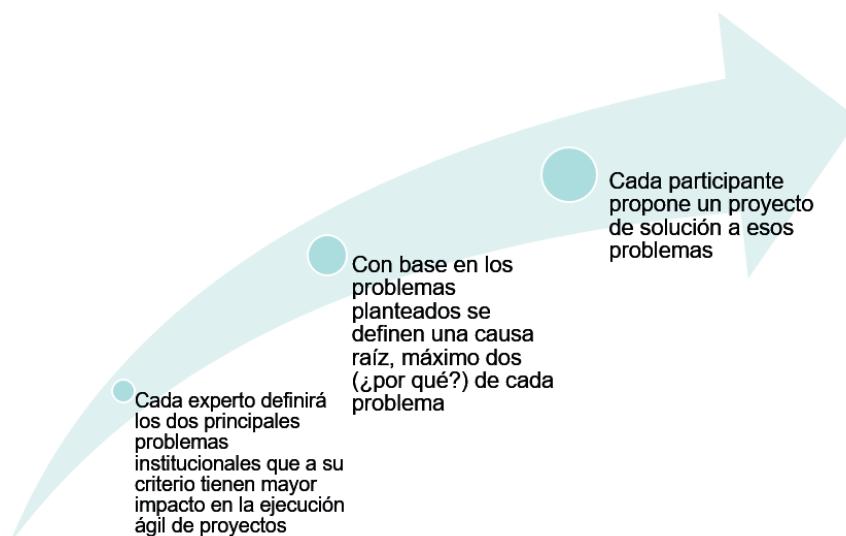


Figura 3. Metodología aplicada.

Integración de la herramienta en el proceso de análisis: “Socrative Student” jugó un papel crucial no solo en la recopilación de datos, sino también en el análisis de la información recopilada. Facilitó la interacción dinámica entre las personas participantes y permitió un análisis inmediato de las respuestas, lo que es fundamental para un proceso participativo y ágil. La herramienta ayudó a asegurar que todas las opiniones fueran consideradas y que las decisiones tomadas estuvieran bien informadas y respaldadas por el consenso del grupo.

Forma de Trabajo

- **Generación de Ideas:** Cada participante, como especialista en su área, tuvo la oportunidad de generar ideas y proponer soluciones.
- **Respeto y Orden:** Se establecieron normas de respeto a las ideas y opiniones de los demás, y se fijaron tiempos para la expresión de opiniones.
- **Registro de Ideas:** Las ideas y propuestas se anotaron en fichas facilitadas para su posterior análisis y discusión.

Dinámica de Trabajo

El taller se dividió en varias sesiones, cada una con un enfoque específico:

- **Sesión 1:** Introducción al taller y priorización de problemas mediante la aplicación Socrative Student.
- **Sesión 2:** Definición de causas raíz y priorización de las más influyentes.
- **Sesión 3:** Identificación de alternativas de solución para cada causa raíz.
- **Sesión 4:** Definición de proyectos específicos para solucionar los problemas seleccionados, detallando actividades, responsables, viabilidad, plazos y recursos.

Con base en la rigurosa metodología descrita, pasamos a presentar los resultados obtenidos, que son esenciales para validar la eficacia de las herramientas y técnicas aplicadas y discutir su impacto en la gestión de proyectos viales.

Resultados y discusión

Esta sección analiza los resultados obtenidos, destacando las principales conclusiones y cómo estas se alinean con los objetivos del estudio. También se discuten las implicaciones de estos hallazgos en la práctica y teoría de la gestión de proyectos viales. La metodología participativa y estructurada permitió obtener resultados significativos, que se presentan a continuación.

Identificación de Problemas

Durante la primera sesión del taller, cada experto participante identificó dos problemas principales que, según su criterio, tenían mayor impacto en la ejecución ágil de proyectos en el CONAVI. Los problemas fueron priorizados utilizando la aplicación Socrative Student, lo que permitió seleccionar los cinco problemas más críticos. Estos problemas incluyen:

- 1. Debilidad en la planificación estratégica y operativa:** La falta de un plan estratégico de proyectos a largo y mediano plazo por parte de la administración.
- 2. Cambios en las prioridades institucionales:** Influencias externas, como decisiones políticas, desastres naturales (e.g., tormenta Nate) y recursos de amparo, que afectan la estabilidad de las prioridades.
- 3. Falta de resiliencia institucional:** La capacidad institucional insuficiente para adaptarse y responder a los cambios y desafíos externos.
- 4. Carteles deficientes:** Problemas en el alcance y ejecución de los carteles, lo que ocasiona atrasos en los proyectos.
- 5. Falta de memoria institucional:** La ausencia de un registro adecuado de lecciones aprendidas, lo que impide la mejora continua basada en experiencias previas.

Definición de Causas Raíz

En la segunda sesión, se procedió a la definición de las causas raíz de los problemas seleccionados. Utilizando el método de los cinco porqué, se identificaron las causas más influyentes para cada problema. Por ejemplo, la debilidad en la planificación estratégica y operativa se atribuyó a la falta de un proceso adecuado de maduración de proyectos a nivel de preinversión y a la presión política para iniciar proyectos sin una planificación adecuada.

Propuesta de Soluciones

Durante la tercera sesión, se identificaron alternativas de solución para cada causa raíz elegida. Las personas participantes propusieron proyectos específicos, detallando actividades, responsables, plazos y recursos necesarios para su implementación. Entre las propuestas destacadas se incluyen:

- 1. Establecimiento de un plan estratégico de proyectos:** Desarrollo de un plan estratégico a largo y mediano plazo que incluya procesos de maduración de proyectos y evaluación de riesgos.
- 2. Implementación de una Oficina de Gestión de Proyectos (PMO):** Contratación de una empresa externa para desarrollar e instaurar una PMO que coordine y supervise la ejecución de los proyectos planteados.
- 3. Fortalecimiento de la memoria institucional:** Creación de una base de datos accesible y bien estructurada de lecciones aprendidas, que se utilice como referencia para futuros proyectos.

Definición de Proyectos

En la cuarta y última sesión del taller, se definieron los proyectos de solución para cada problema identificado. Los proyectos fueron detallados en términos de objetivos, metas, tiempo, recursos y responsables. Además, se consideró la viabilidad legal y la disponibilidad de recursos necesarios para su ejecución. Un ejemplo de proyecto definido es el “Proyecto de Mejora en la Planificación Estratégica”, que incluye actividades como la capacitación del personal en gestión de proyectos, la contratación de consultores externos para la evaluación de la planificación actual y el desarrollo de nuevas políticas y procedimientos de planificación.

Discusión

La implementación de la metodología utilizada en el taller del CONAVI permitió identificar de manera efectiva los problemas críticos que afectan la ejecución de proyectos viales. La participación de expertos y el uso de técnicas analíticas como el método de los cinco porqués fueron esenciales para profundizar en las causas raíz de estos problemas.

Los resultados del taller evidencian la necesidad de fortalecer la planificación estratégica y operativa dentro del CONAVI. La falta de un plan estratégico claro y la influencia de factores externos no controlables han sido identificados como las principales barreras para la ejecución eficiente de proyectos. La propuesta de establecer una Oficina de Gestión de Proyectos (PMO) es una medida estratégica que puede mejorar significativamente la coordinación y supervisión de proyectos, asegurando que se alineen con los objetivos institucionales y se ejecuten de manera eficiente.

Además, la creación de una memoria institucional a través del registro de lecciones aprendidas es fundamental para la mejora continua. Este registro permitirá a la institución aprender de experiencias pasadas, evitar la repetición de errores y aplicar buenas prácticas en futuros proyectos.

Integración de Lecciones Aprendidas

Como parte de las evaluaciones de elementos de gestión en los proyectos de obra vial se realizó como parte de esta investigación un proyecto de recopilación de lecciones aprendidas en distintos proyectos. El ejercicio inicial consistió en buscar fuentes o registros oficiales donde tales experiencias fueran registradas; sin embargo, al ser estas fuentes inexistentes, se procede a realizar entrevistas con algunos profesionales encargados de distintos proyectos tales como el Programa de Inversión de Infraestructura Vial (PIIV), proyecto Cañas – Liberia y Rehabilitación y ampliación a 4 (cuatro) carriles de la Ruta Nacional No. 32, sección: intersección con la Ruta Nacional No. 4-Limón con el fin de iniciar un proceso de recopilación de lecciones aprendidas y con el propósito colateral de fomentar el uso de esta herramienta como fuente de información para impactar positivamente la gestión de los proyectos viales en todas sus etapas del ciclo de vida.

El cuadro 1, presenta el registro de lecciones aprendidas realizadas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPTI).

Cuadro 1. Registro de lecciones aprendidas - MOPT.

Área	Descripción	Recomendaciones
Administrativa, Técnica	Falta de claridad en la forma de evaluar	Se deben imponer criterios mínimos de solvencia técnica y económica y una vez superados adjudicar al precio menor.
Administrativa	Falta de control en los requerimientos impuestos al contratista sobre la experiencia mínima.	Se debe controlar a los subcontratistas y exigir experiencias parecidas a las del contratista principal. Se debe establecer una capacidad financiera mínima y respetar el flujo de caja de la obra y establecer claramente las obligaciones
Técnica, Administrativa	Falta de claridad en la forma de evaluar las características del personal y maquinaria	Las características del personal y maquinaria se deben especificar en el cartel exigiendo los CV y el cumplimiento de esas características a posteriori. En caso de incumplimiento en el plazo exigido se pasaría al 2º clasificado y así sucesivamente.
Técnica, Administrativa	Problemas a raíz de imprecisiones en las aclaraciones solicitadas a los documentos de la licitación y apelaciones a la Adjudicación	Las exigencias deben ser claras y sencillas para evitar aclaraciones y apelaciones. En los TdR debe exigirse no sólo la calidad de materiales sino de la ejecución, tanto en construcción como en supervisión de obras.
Técnica, Administrativa	Maquinaria adecuada que no cumple con los términos medioambientales al igual que operarios inexpertos.	La recepción de la maquinaria en obra debe llevar la aceptación por UEP, la cual puede delegar en la supervisión. La maquinaria debe cumplir los términos Medioambientales y debe especificarse las penalizaciones por incumplimiento. Además, deben exigirse operarios expertos.
Técnica, Administrativa	Se requería establecer zonas de acopio provisionales para residuos tierra-escombro.	Se debe exigir la aprobación previa por la Supervisión, la aclaración previa de la adecuación, la distinción tierra-escombro. Además, debe estudiarse la posibilidad de disposición de tierra en el derecho de vía.
Técnica, Administrativa, Económica	Necesidad de reacondicionamiento de caminos utilizados, su restitución a su estado original y evaluar las consecuencias de su incumplimiento.	Se debe exigir el reacondicionamiento de caminos utilizados y su restitución a su estado original. La Supervisión debe levantar la línea base de estos aspectos. Se deben vigilar temas como el polvo, la limitación de velocidad de traslados, etc. Estudiar la posibilidad de retenciones y retrasos en los pagos.
Expropiaciones, Legal, Económico	Problemas con terrenos a expropiar, demolición y reposición de vallados.	La demolición y reposición de los vallados la debe realizar el contratista previa aprobación de la administración (Gerente de Proyecto). También se debe considerar el posible reuso de troncos no maderables para la reposición del vallado. Debe realizarse una identificación previa de las vallas publicitarias para poder prever problemas de expropiaciones o retrasos.
Técnico, Administrativo	Problemas con la calidad asfáltica y reclamos a raíz de que los medios auxiliares de construcción no estaban incluidos en los precios correspondientes.	Los medios auxiliares de construcción deben estar incluidos en los precios correspondientes. Debe reconsiderarse la carpeta asfáltica en puentes. La normativa sólo contempla el uso de G-20 en la carpeta asfáltica, lo que no es apropiado en capas de rodadura de pequeño espesor. Podría solucionarse con carpeta hidráulica o especificar otras características.

Área	Descripción	Recomendaciones
Técnico	Dificultades en la obtención y la calidad del concreto, al igual que problemas en su puesta en obra debido al viento y altas temperaturas.	Se debe acotar el tiempo para el planteamiento de la fórmula de fabricación del concreto y definir claramente la forma de medida. Debe considerarse la obligación del uso de toldos, la obtención de un buen curado, ir directamente al gráfico y afinar pliego. Se debe exigir un método constructivo continuo garantizando la viabilidad ambiental y penalizar las paradas y mala construcción.
Técnico	Deficiente señalización provisional de obras durante las obras de Cañas-Liberia.	Se debe definir claramente un pliego de señalización y desvíos provisionales. Se puede usar como referencia el Manual de SIECA y adaptar de otros que se conozcan. Se deben definir las protecciones para los peatones así como las pinturas de las ciclovías.
Ambiental, Legal, técnico	Poca claridad en la proveniencia del dinero para la reposición de la tala de árboles.	Se deben realizar convenios con parques Nacionales como medida compensatoria. Prever dinero. Que no sea responsabilidad del Contratista extraerlo del presupuesto aparte.
Técnico, Administrativo	Deficiencia en Señalización de Obras, Control y Vigilancia y Seguridad nocturna	Iluminación en zonas urbanas o periurbanas. En situaciones provisionales, luminarias portátiles. Registro de accidentes y de trabajo.
Administrativo	Se requiere capacitación y formación en habilidades de acuerdo con las políticas del BID	Se debe realizar una inducción a las políticas del BID, solicitar capacitación e incluir a contratistas, supervisión, UEP, UA, etc.

El cuadro 2, presenta el registro de lecciones aprendidas realizadas por el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).

Cuadro 2. Registro de lecciones aprendidas - CONAVI.

Área	Descripción	Recomendaciones
Expropiaciones	Atrasos debido a que no se avanzó con la expropiación de predios previo al inicio de los proyectos.	Se debe realizar pre inversión para poder determinar los predios que requieren ser expropiados y avanzar antes de que inicien los proyectos con estas labores ya que en muchas situaciones se volvieron ruta crítica de los proyectos, y sufrieron atrasos considerables por estos aspectos.
Socio-Ambiental	Necesidad de desarrollar el aspecto socio ambiental de los proyectos y los Planes de Reasentamiento Involuntario por parte del MOPT.	Producto del préstamo se conformó en el MOPT la Unidad de Gestión Ambiental y Social del MOPT, esto ha permitido desarrollar puntos vitales para la ejecución del proyecto y los Planes de Reasentamiento Involuntario, llegando a conclusiones aplicables y canalización de recursos más óptimos.
Control y monitoreo de proyectos	Se requería dar seguimiento de avance de los proyectos internos en la Unidad Ejecutora (UE), tal que se brinden alertas tempranas de imprevistos, atrasos y/o inconvenientes que pueden perjudicar la sana gestión de proyectos.	Se ejecutó un seguimiento interno de avance de los proyectos en la UE, además se trabajó en coordinación del control y monitoreo de proyectos para optimizar los trámites y detectar a tiempo actividades que puedan afectar proyectos mediante un Programa de Ejecución de Proyectos (PEP).

Área	Descripción	Recomendaciones
Financiero	Se observaron diferencias entre los montos aprobados inicialmente y pagados por el Ministerio de Hacienda, debido a que se fija un tipo de cambio inicial.	Se aprendió que se debe gestionar el reconocimiento del diferencial bancario que se generan en la ejecución de este tipo de programas. Se debe solicitar el reconocimiento del diferencial cambiario todos los años para que al final del Programa no se tengan atrasos e inconvenientes por este tema.
Técnico	Necesidad de una revisión rápida y assertiva de los diseños de los proyectos y del seguimiento en la ejecución de los mismos.	Se realizaron contrataciones de personal que permite a la Unidad Ejecutora tener una revisión rápida y assertiva de los diseños de los proyectos y del seguimiento en la ejecución de los mismos.
Técnico	Surge incertidumbre si implementar el contrato de diseño y el de construcción de manera conjunta en los proyectos.	Se debe implementar el contrato del modelo de diseño y construcción siempre y cuando exista un buen anteproyecto, de lo contrario se recomienda utilizar el diseño en primera instancia y luego la construcción.
Administrativo	Se requería la capacitación del personal en programas de control y ejecución de proyectos, en áreas técnicas y administrativas de los mismos.	Se implementó una mejor capacitación del personal en programas de control y ejecución de proyectos, en áreas técnicas y administrativas de los mismos.
Socio-Ambiental	Surge la necesidad de desarrollar el aspecto socio ambiental de los proyectos y los Planes de Reasentamiento Involuntario por parte del MOPT.	Producto del préstamo se conformó en el MOPT la Unidad de Gestión Ambiental y Social del MOPT, esto ha permitido desarrollar puntos vitales para la ejecución del proyecto y los Planes de Reasentamiento Involuntario, llegando a conclusiones aplicables y canalización de recursos más óptimos.
Administrativo	Se requería la capacitación del personal en programas de control y ejecución de proyectos, en áreas técnicas y administrativas de los mismos.	Se implementó una mejor capacitación del personal en programas de control y ejecución de proyectos, en áreas técnicas y administrativas de los mismos.

Este compendio de “lecciones aprendidas” constituye una muestra recopilada entre los años 2016 y 2018 y revela información significativa para la mejora de los procesos registrados en futuros proyectos.

Resumen de Lecciones Aprendidas en Proyectos Viales

A continuación, se presentan varios ejemplos, a manera de resumen, de lecciones aprendidas que han sido documentadas en proyectos de infraestructura vial en Costa Rica. A continuación, se presentan algunos casos destacados:

1. Falta de claridad en la evaluación de propuestas: Se identificó que la falta de criterios claros para evaluar propuestas condujo a problemas significativos en la adjudicación de contratos. La recomendación es establecer criterios mínimos de solvencia técnica y económica y adjudicar al precio menor una vez superados estos criterios.
2. Problemas con la calidad del asfalto: En varios proyectos, la calidad del asfalto utilizado no cumplía con los estándares requeridos. La lección aprendida fue la necesidad de especificar claramente las características técnicas en los carteles de licitación y asegurar un control de calidad riguroso durante la ejecución.

3. Necesidad de planificación previa en expropiaciones: Los atrasos en proyectos debido a la falta de avance en las expropiaciones de terrenos fueron recurrentes. La solución propuesta fue realizar la preinversión necesaria para determinar y avanzar en las expropiaciones antes del inicio de los proyectos.
4. Capacitación y formación del personal: La falta de capacitación adecuada en gestión de proyectos fue identificada como un factor crítico que afectó la ejecución eficiente. Se recomendó implementar programas de formación continua para el personal involucrado en proyectos viales.

Implementación y Monitoreo

Para garantizar la efectividad de la integración de lecciones aprendidas, es crucial implementar un sistema de monitoreo y evaluación continuo. Este sistema debe incluir:

- Base de datos centralizada: Un repositorio accesible donde se registren todas las lecciones aprendidas.
- Revisión periódica: Evaluaciones regulares para revisar y actualizar las lecciones aprendidas, asegurando que se mantengan relevantes y aplicables.
- Capacitación continua: Programas de formación para el personal sobre la importancia de las lecciones aprendidas y cómo aplicarlas en su trabajo diario.

A partir de los análisis previos, las conclusiones resumen los aspectos clave del estudio, enfatizando las contribuciones principales y recomendando direcciones futuras para la investigación y práctica en la gestión de proyectos viales.

Conclusiones

Los resultados del taller de CONAVI resaltan la importancia de una planificación estratégica robusta, la implementación de una Oficina de Gestión de Proyectos (PMO), y la utilidad de las lecciones aprendidas como herramientas clave para la mejora de la gestión de proyectos viales en Costa Rica. La implementación de estos proyectos y recomendaciones contribuirá a la optimización de procesos y a la mejora de la eficiencia y eficacia en la ejecución de proyectos de infraestructura vial.

Las herramientas de gestión implementadas demostraron ser efectivas para identificar y abordar problemas en la gestión de proyectos viales. La recopilación de lecciones aprendidas fue crucial para evitar la repetición de errores y mejorar la toma de decisiones. Se recomienda la institucionalización de estas prácticas y la creación de bases de datos accesibles de lecciones aprendidas para futuros proyectos.

La integración de lecciones aprendidas en la gestión de proyectos de infraestructura vial es una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia y eficacia de estos proyectos. Al aprender de experiencias pasadas y aplicar este conocimiento de manera sistemática, las organizaciones pueden evitar errores recurrentes, optimizar recursos y mejorar significativamente la calidad de sus proyectos. El Boletín 4 de PITRA 2022 proporciona una guía valiosa y ejemplos prácticos que pueden ser utilizados para fortalecer este proceso en el Consejo Nacional de Vialidad y otras instituciones similares.

Referencias

- [1] R. Weber, D. W. Aha, and I. Becerra-Fernandez, "Categorizing intelligent lesson learned systems," in *Intelligent Lessons Learned Systems: Papers from the 2000 Workshop*, D. Aha and R. Weber, Eds., Technical Report WS-00-03, 2000.

- [2] S. F. Rowe and S. Sikes, "Lecciones aprendidas: llevándolo al siguiente nivel," presentado en el Congreso Global PMI® 2006 - América del Norte, Seattle, WA, 2006.
- [3] PMI, *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*, 7th ed., Project Management Institute, 2021.
- [4] M. White and A. Cohan, "A Guide to Capturing Lessons Learned," The Nature Conservancy, 2015. [Online]. Available: [https://www.conversationgateway.org/ConservationPlanning/partnering/cpc/Documents/Capturing_Lessons_Learned_Final.pdf](https://www.conervationgateway.org/ConservationPlanning/partnering/cpc/Documents/Capturing_Lessons_Learned_Final.pdf)
- [5] BID, "Lecciones aprendidas," Banco Interamericano de Desarrollo, 2011. [Online]. Available: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Lecciones-aprendidas.pdf>
- [6] D. Díaz and Y. Prieto, "Gestión de lecciones aprendidas en proyectos de la UCI: Fortalezas y oportunidades de mejora," *Revista Cubana de Transformación Digital*, 2021.
- [7] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, 1988.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que para la revisión gramatical y ortográfica de este artículo, empleamos la herramienta de IA ChatGPT. La cual nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, realizamos una revisión final para garantizar que el artículo cumpliera con los estándares de calidad de la revista.

Análisis, desde la perspectiva “La Teoría del Cambio”, de los retos y oportunidades en la adopción del PMBOK-7 en los proyectos de diseño y construcción del sector ingeniería y arquitectura en Costa Rica

Analysis, from the perspective “The Theory of Change”, of the challenges and opportunities in the adoption of PMBOK-7 in design and construction projects in the engineering and architecture sector in Costa Rica

Erick Mata-Abdelnour¹

Mata-Abdelnour, E. Análisis, desde la perspectiva “La Teoría del Cambio”, de los retos y oportunidades en la adopción del pmbok-7 en los proyectos de diseño y construcción del sector ingeniería y arquitectura en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Marzo, 2025. I Congreso Internacional de Gestión de Proyectos (CIGEPRO). Pág. 33-48.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i6.8175>



¹ Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
erick.mata.a@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8592-0671>

Palabras clave

Teoría del cambio; modelos de adopción del cambio; PMBOK; gestión de proyectos; sistemas de entrega de valor; dominios de desempeño; proyectos predictivos y adaptativos.

Resumen

La gestión de proyectos en el ámbito de la Ingeniería, Arquitectura y Construcción (IAC) en Costa Rica se encuentra de frente el nuevo reto de la adopción del estándar de gestión de proyectos PMBOK-7, del Project Management Institute (PMI). Este artículo propone por qué este reto puede ser uno de dimensiones importantes. Se presenta un análisis de las principales variaciones entre los estándares PMBOK-6 y PMBOK-7. Se analizan los conceptos que se introducen en el nuevo estándar, tales como: sistema de entrega de valor, dominios de desempeño, adaptación. Se proponen diversos retos y oportunidades para la adopción. Tomando como punto de partida un análisis de las bases de datos públicas del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA), se establece una línea de base con los perfiles frecuentes de los distintos tipos profesionales, empresas y proyectos que son tramitados a través del Administrador de proyectos de Construcción (APC). Esto permite delimitar una línea base de partida para un potencial cambio del sector. Se utilizan los principios de la “Teoría del Cambio” y los modelos de “Adopción del cambio” para explicar las diversas etapas que podrían darse en la transición del sector, y se propondrán acciones de facilitación para el camino de adopción del nuevo estándar.

Keywords

Theory of change; change adoption models; PMBOK; project management; value delivery systems; performance domains; predictive and adaptive projects.

Abstract

Project management within the Engineering, Architecture, and Construction (EAC) sector in Costa Rica is now facing the new challenge of adopting the PMBOK-7 project management standard, developed by the Project Management Institute (PMI). This article proposes why this challenge could be one of significant dimensions. An analysis of the main differences between the PMBOK-6 and PMBOK-7 standards is presented. Concepts introduced in the new standard, such as the value delivery system, performance domains, and adaptation, are analyzed. Various challenges and opportunities for adoption are proposed. Taking as a starting point an analysis of the public databases of the Federated College of Engineers and Architects (CFIA), a baseline is established for the frequent profiles of the different types of professionals, companies, and projects that are processed through the Construction Project Manager (CPM). This allows for the delimitation of a starting baseline for a potential sector change. The principles of “Theory of Change” and “Adoption of Change” models are used to explain the various stages that could occur in the sector’s transition, and facilitation actions will be proposed for the path of adopting the new standard.

Introducción

La gestión de proyectos en sectores como tecnología y construcción está evolucionando rápidamente. La gestión ágil y adaptativa gana terreno frente a los enfoques predictivos tradicionales. Ante esta realidad, el PMI lanzó en 2022 la 7ma edición del PMBOK, ofreciendo un estándar más flexible. Este artículo explora las principales novedades del PMBOK-7 y analiza

cómo podrían impactar la planificación, ejecución y control de proyectos en el sector de la Ingeniería, Arquitectura y Construcción (IAC) en Costa Rica, para abordar preguntas como: ¿Por qué es importante este cambio? ¿Cómo se adaptarán los proyectos de construcción a estos nuevos enfoques?

Marco teórico

Enfoques predictivos y adaptativos

Los enfoques predictivos y adaptativos de gestión de proyectos coexisten y se utilizan en formas puras o combinadas según el tipo de proyecto que se deba acometer. Para elegir el tipo de enfoque, generalmente se ponderan variables como las indicadas en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Aplicaciones de los enfoques de gestión predictivos y adaptativos, según características del proyecto.

Enfoque Predictivo	Enfoque Adaptativo
Bajo nivel de incertidumbre en el diseño	Para proyectos con alto nivel de incertidumbre en el diseño del producto/proyecto
Alcance se puede definir a priori, con relativa viabilidad	Alcance no se puede definir a priori de forma viable
Fases de la gestión secuenciales y previsibles (Inicio/ Planificación/Ejecución-Control/Cierre)	Fases de gestión no son secuenciales. En su lugar, procesos incrementales e iterativos
Totalidad del alcance es conocido.	Totalidad del alcance no es conocido. Se va conociendo y definiendo, conforme se va construyendo o desarrollando
El foco de la gestión es cumplir con el plan, los objetivos del proyecto, y suministrar los “entregables establecidos” desde el inicio.	El foco de la gestión es entregar valor al cliente en cada incremento y producir los “resultados deseados”, no necesariamente fijarse estrictamente en “entregables”.
En este modelo se busca controlar y a veces restringir el cambio	En este modelo se abraza el cambio y se gestiona, de forma ágil

PMBOK-6 y PMBOK-7

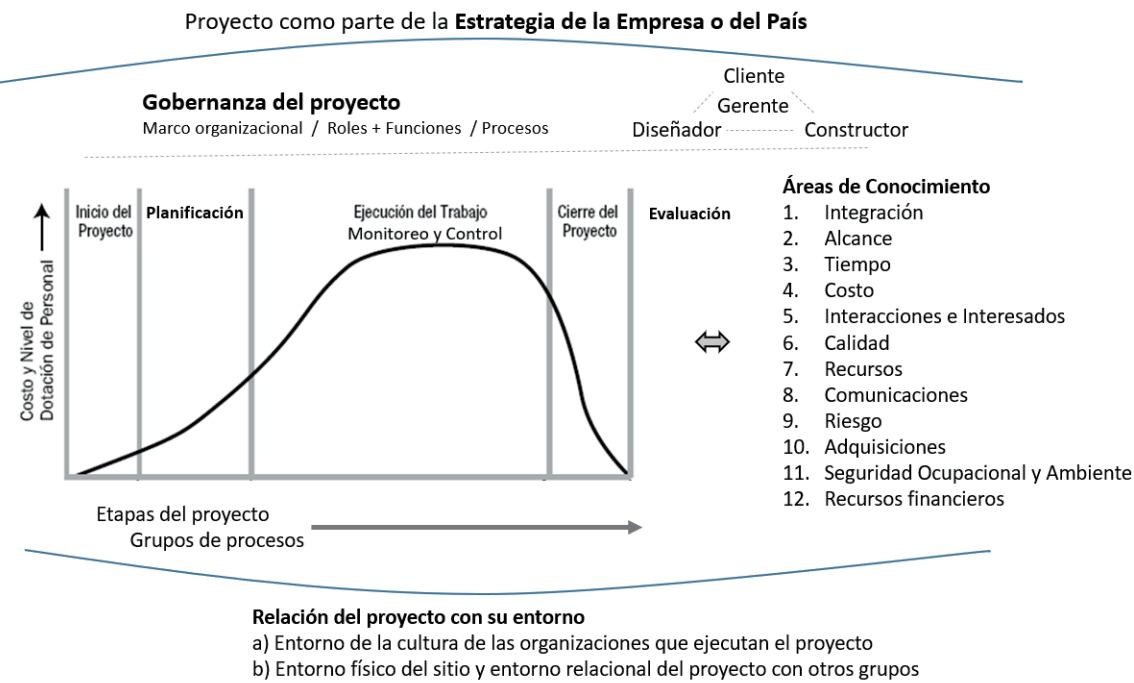


Figura 1. Diagrama de los elementos del estándar de gestión del proyecto PMBOK 6ta Edición.
Interacción entre Etapas – Grupos de Procesos – Áreas de conocimiento. Fuente: Adaptado de [1]

Desde el nacimiento del PMBOK, en su primera edición en el año 1983, hasta su sexta edición publicada en el año 2017, el marco de conceptualización de gestión de los proyectos se basó en la combinación del avance cronológico de las etapas y grupos de procesos del proyecto, con las áreas de conocimiento necesarias para la gestión (ver Figura 1). El estándar, consistentemente tuvo una línea muy afín a la gestión predictiva de proyectos.

Bajo el estándar del PMBOK-6ta Edición, los sistemas de gestión para los proyectos de IAC, generalmente se diseñan de manera similar, bajo el enfoque predictivo. Desde el inicio del proyecto, el alcance y los hitos del proyecto se conocen con cierta predictibilidad. Esto permite realizar un *Plan de ejecución del proyecto*, con una estrategia para gestionar cada una de las 12 áreas de conocimiento. Allí se proponen instrumentos e indicadores para monitorear y controlar el desempeño del proyecto en cada área [2]. Se trabaja en 5 grupos de procesos de inicio, planificación, ejecución, monitoreo-control y cierre del proyecto; de forma ordenada e interconectada (con entradas y salidas). Los proyectos que utilizan este enfoque adoptan diseños de sistemas de trabajo y plantillas de proyectos similares anteriores.

En el año 2022, como respuesta a las necesidades de una industria más amplia y a las nuevas tendencias en desarrollo de tecnologías de *hardware* y *software*, el PMI publica PMBOK-7. En esta edición, el marco de conceptualización de los proyectos ya no tiene, como columna vertebral, la combinación de etapas, procesos y las áreas de conocimiento. En el nuevo estándar, se otorga una mayor flexibilidad adaptativa al diseño que se hará del sistema de gestión del proyecto. Se insta a que en la gestión del proyecto se observen 12 principios que guiarán, los comportamientos y acciones del equipo. Se promueve que el sistema de gestión sea diseñado en el marco de 8 dominios de desempeño, con el objetivo de entregar valor de

forma temprana y frecuente (ver Figura 2). Usualmente ni los diseños de sistemas de trabajo ni las plantillas utilizadas en proyectos anteriores, se adapten al nuevo proyecto. Se debe dar una adaptación del sistema de gestión, para cada nuevo proyecto.

El cambio de procesos a principios lo implementa PMI pues indica que era requerido para aumentar la flexibilidad del estándar en diseñar esquemas ágiles de entrega de valor, ya que los enfoques basados en procesos, que se habían usado por años, a veces resultan rígidos, imperativos o prescriptivos, por naturaleza.

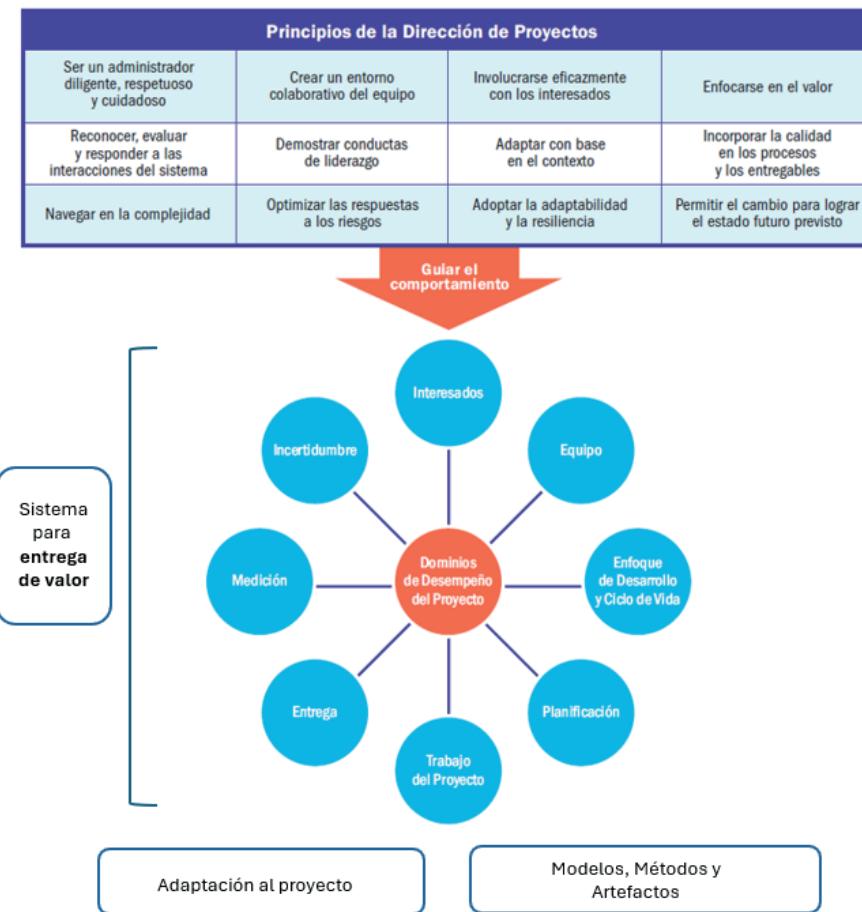


Figura 2. Diagrama de los elementos del estándar de gestión del proyecto PMBOK 7ta Edición. Principios – Dominios de desempeño – Modelos – Métodos - Artefactos. Fuente: Adaptado de [3]

En PMBOK-7, como parte de la flexibilidad que otorga el estándar al diseño del sistema de gestión, se debe llevar a cabo un análisis para hacer una adaptación (del estándar) al proyecto. Esta adaptación varía, según dónde se ubique el proyecto, en el abanico de variedades de proyectos predictivos, adaptativos o híbridos. Posteriormente se selecciona las herramientas que se utilizarán, entre una gran variedad de Modelos, Métodos y Artefactos de gestión que se mencionan en la guía (Figura 2).

Teoría del Cambio y Curvas de adopción

Toda vez que se da un cambio en la forma de hacer las cosas, que se han mantenido invariantes a lo largo de un periodo de tiempo extenso, podrá existir incertidumbre y resistencia. Este artículo utilizará la “Teoría del Cambio” y los modelos de “Adopción del cambio” para aproximarse al camino de adopción del nuevo estándar PMI.

Las teorías de cambio son metodologías que presentan de forma lógica, y a menudo gráfica, los objetivos de transformación que se buscan alcanzar cuando se introduce una novedad (política, programa, estándar, procedimiento, etc.) y la manera concreta con la que se propone conseguir los objetivos de transformación [4].

A continuación, se presentan los elementos base de la Teoría de cambio [5] y [6]. Observar estos elementos permite comprender los pasos que deberían darse, desde un punto de las organizaciones que ejercen liderazgo en esta materia, para facilitar a los grupos de la sociedad durante la transición. Estos líderes bien podrían ser el PMI a nivel mundial, o el CFIA a nivel del país.

a) **El cambio deseado a largo plazo.** Los objetivos que se buscan alcanzar con la introducción de la novedad en cuestión, los cuales se procuran definir en términos medibles. Por ejemplo: Que en un lapso de 3 años, el 75% de los profesionales y empresas miembros del PMI o miembros del CFIA conozca y hayan adoptado el nuevo estándar, al menos en un nivel inicial, para gestionar sus proyectos.

b) **Resultados intermedios y mapeo inverso.** Los *resultados intermedios* son aquellos que podría darse en un horizonte temporal de menor duración. Son resultados en los que es necesario ir avanzando para finalmente llegar a la situación deseada de largo plazo. En el *mapeo inverso* se define el resultado de largo plazo y, a partir de éste, se va retrocediendo hasta llegar a los primeros cambios que tendrían que ocurrir. “¿Qué precondiciones deben existir para poder alcanzar el resultado de largo plazo?” Por ejemplo: Qué cambios tendrían que darse para que, en un lapso de 2 años, el 25% de los profesionales y empresas miembros del PMI o miembros del CFIA conozca y se haya capacitado en el nuevo estándar, al menos en nivel inicial.

c) **Intervenciones o estrategias.** Las acciones o productos que el programa ofrece para lograr los resultados propuestos. Por ejemplo: Que el PMI y el CFIA hayan diseñado y ofrecido al público campañas de sensibilización y capacitación en la materia. La intervención puede diseñarse con el *Enfoque de Marco Lógico*, con objetivos, metas, indicadores, fuentes de verificación y supuestos [7] y [8].

d) **Supuestos.** Las condiciones necesarias en el contexto social, histórico, político y económico del sector, que sustentan la cadena de resultados intermedios y finales. Estos supuestos pueden o no estar bajo el control del programa que promueve el cambio, pero serán condiciones que se deberán dar para que el programa se cumpla. Por ejemplo: Dado que CFIA es un colegio federado, compuesto por 5 colegios miembros, con especialidades distintas, un supuesto sería que el CFIA llegue a un acuerdo, consensuado entre sus partes, de que impulsar la adopción del nuevo estándar es algo importante y de valor para Costa Rica.

Por otra parte, el modelo de la Curva adopción del cambio (Modelo Kübler-Ross) [9], postula un proceso por el cual el ser humano o una organización lidia con el cambio profundo que le genera un nivel de impacto o incertidumbre.

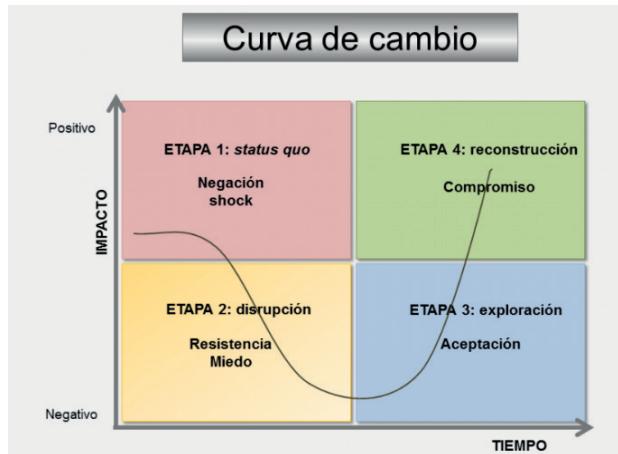


Figura 3. Curva del cambio organizacional. Fuente: Adaptado de [10].

Según este modelo, desde el momento en que se anuncia un cambio, el grupo objetivo de ese cambio transita por cuatro etapas (ver Figura 3):

- Etapa 1: Salida del Estatus Quo:** Se experimenta sorpresa, **negación y shock**. Por ejemplo: el sector de IAC de Costa Rica conoce el nuevo estándar, se inquieta y se niega a hacer el cambio, por considerarlo innecesario y que variará en forma sustancial las prácticas habituales.
- Etapa 2: Disrupción:** El sector IAC expresa **resistencia**. Se enfoca en “lo que se pierde” y no en “lo que se gana”. Podría rememorar fracasos pasados o promover críticas de la propuesta, o incluso desacreditar a los proponentes del cambio. En este momento es importante la sensibilización y la capacitación, para disipar miedos a través del conocimiento.
- Etapa 3: Exploración:** El sector transita hacia la **aceptación**. Evoluciona hacia una adopción generalizada del PMBOK-7. Se reconoce que la actualización es necesaria para mantener la relevancia y competitividad en la gestión de proyectos. Los profesionales de la IAC en Costa Rica ven esta transición como una oportunidad para destacarse y ofrecer servicios de mayor valor a sus clientes
- Etapa 4: Reconstrucción:** El sector IAC expresa **compromiso** con asumir el cambio e impulsarlo. Actores del sector se convierten en *agentes facilitadores* del cambio. El cambio se internaliza y ya no representa un esfuerzo mayor o especial, se da de forma natural. Los profesionales y empresas incorporan cambios clave en la forma de planificar gestionar proyectos. Aprovechan la flexibilidad y adaptación que permite el nuevo estándar como ventajas para gestionar proyectos que tienen mayor incertidumbre. Aumenta la confianza, el control y el orgullo, en hacer las cosas de una forma diferente, moderna y en estar actualizado con las mejores prácticas de la industria.

Metodología

La metodología de la investigación que da paso a este artículo se dividió en 4 etapas:

Etapa 1. Revisión bibliográfica: Permitió construir el marco teórico que incluyó el estudio detallado de estándares PMBOK-6 y PMBOK-7 y su aplicación a proyectos de IAC, los elementos aplicables de la Teoría de Cambio y de la Curva de Adopción.

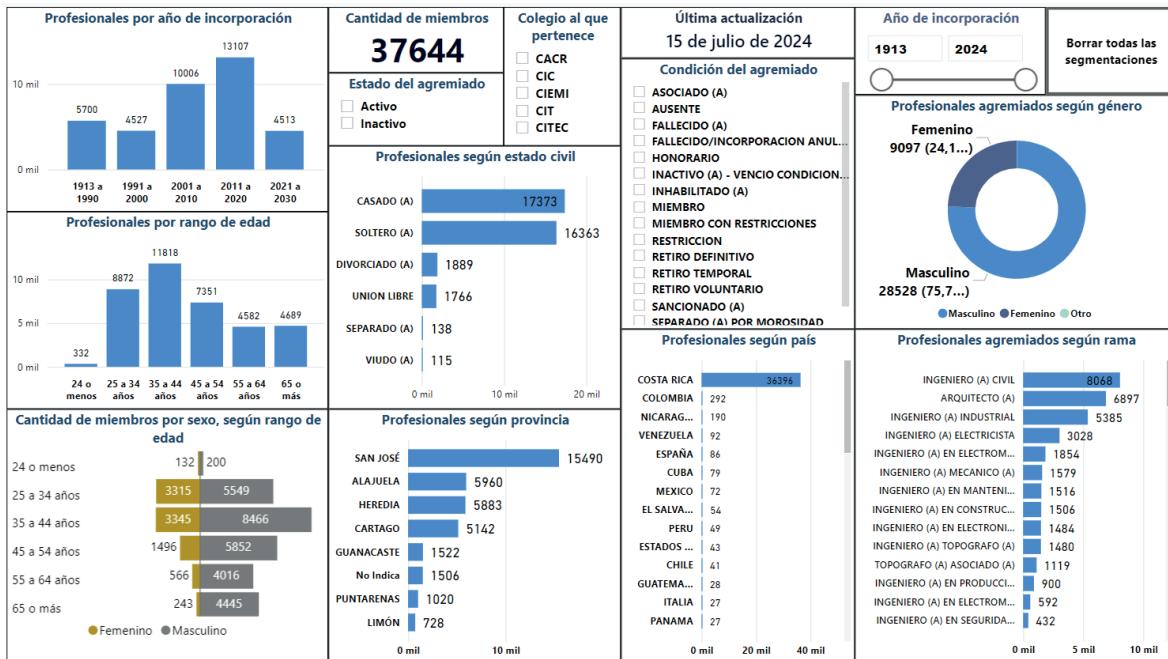
Etapa 2. Definición del perfil típico profesionales y proyectos IAC (línea base): A través del análisis de las bases de datos CFIA, se definió el tipo de proyecto, profesional y empresa más habitual en los proyectos IAC en CR, para establecer la línea base de partida del cambio.

Etapa 3. Mayores cambios y mayores oportunidades del PMBOK-7 para proyectos IAC: A través del análisis del funcionamiento de los estándares PMBOK-6 y PMBOK-7, se llevó a cabo un cuadro y un mapa mental, que resumen los mayores cambios y mayores oportunidades asociados con la transición hacia el nuevo estándar.

Etapa 4. Aplicación de Teoría del cambio y Curva de adaptación al cambio: Se establecen las fases del cambio y las intervenciones que podrían darse o requerirse en el sector para contribuir con su tránsito más fluido por la transición.

Resultados y discusión

El Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA) cuenta con una base datos pública [11], en tiempo real con registros de aproximadamente 15 años. Incluye características generales sobre los profesionales, empresas y los proyectos que se presentan para revisión y trámite en instituciones. En las Figuras 4,5,6 y 7 se presentan algunos de los gráficos que se obtienen de esa fuente y que se utilizaron para definir la línea base de partida del cambio:



. **Figura 4.** Estadísticas públicas CFIA sobre personas profesionales incorporadas al Colegio. (recuperado 14/7/2024). Fuente: CFIA [11].

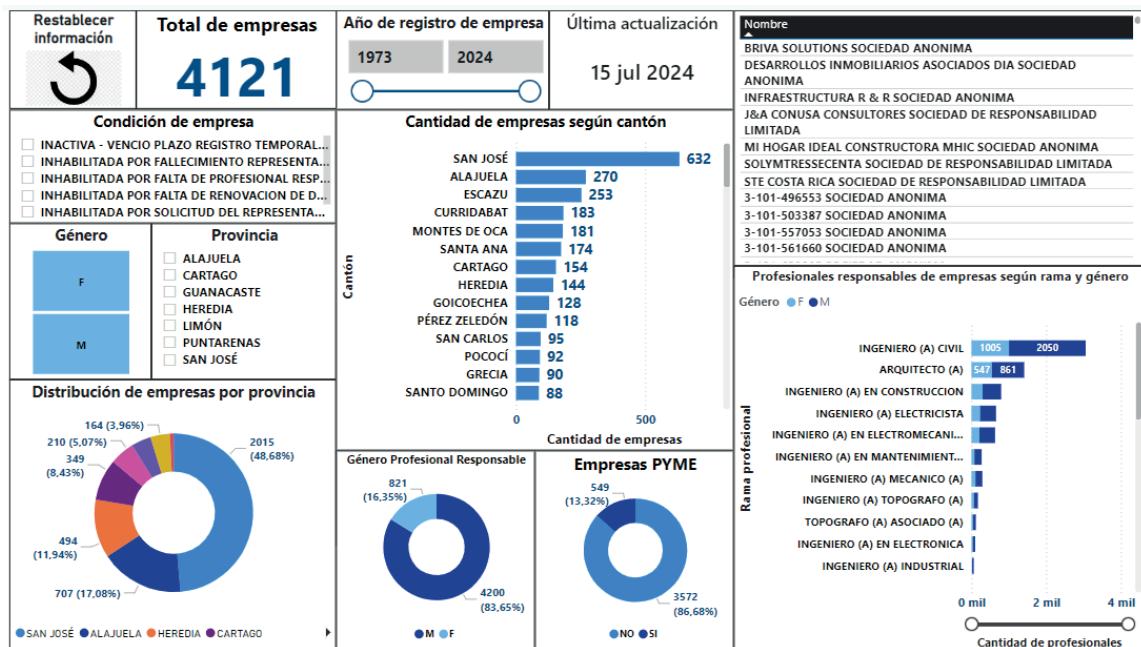


Figura 5. Estadísticas públicas CFIA sobre empresas incorporadas el Colegio (recuperado 14/7/2024). Fuente: CFIA [11].

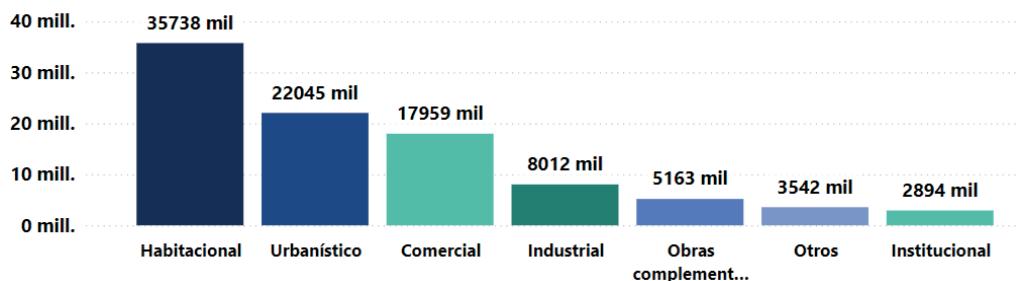


Figura 6. Estadísticas públicas CFIA metros cuadrados de intención de construcción tramitados en el Colegio (recuperado 14/7/2024). Fuente: CFIA [11].



Figura 7. Estadísticas públicas CFIA profesionales por rango de edad (recuperado 14/7/2024). Fuente: CFIA [11].

Información clave sobre empresas que llevan a cabo proyectos IAC

Según la base de datos, las empresas que con mayor certeza podrían tramitar proyectos asociados a casas, edificios o infraestructura (también llamados “proyectos constructivos”) son empresas a cargo de ingenieros civiles 3.055 + arquitectos 1.408 + ingenieros en construcción 792 + ingenieros eléctricos 655 + ingenieros mecánicos 289, para un total de profesionales a cargo de = 6.199 empresas, que corresponde al 89% del total de empresas inscritas. Las empresas inscritas en los últimos 15 años constituyen un 72%. Dada su inscripción más reciente, y que están en proceso de darse a conocer y de sobresalir, se podría pensar que tendrían más motivación para hacer la transición hacia el nuevo estándar.

Información clave sobre tipos de proyectos de IAC

Según datos del año 2023, de la base de datos de proyectos tramitados en el CFIA, el total de proyectos tramitados es 72.478. La clasificación de proyectos, por tipo, es: Nueva obra 74%, Remodelaciones 14% y Obra eléctrica y otros proyectos 12%. El total de área tramitada es 10.672.352m² y el porcentaje de cada tipo de clasificación es este: Habitacional 44%, Comercial 38%, Industrial 12%, Otros 6%.

Los proyectos con área típica menor a 250m², que podrían categorizarse como “proyectos pequeños”, son 67.768 proyectos y esto equivale a 93% del total. Estos son proyectos principalmente Habitacionales y Comerciales.

En términos de provincias, la distribución espacial de cantidad proyectos es: Alajuela = 14.388 (20%), San José = 14.251 (20%), Guanacaste=14.043 (19%), Puntarenas=11.954 (16%), Cartago=7.273 (10%), Heredia 5.903 (8%) y Limón=4.662 (6%). En Alajuela, San José, Heredia y Cartago son principalmente proyectos urbanos de tipo residencial, comercial e industrial. Por otra parte, en Guanacaste y Puntarenas se observan son proyectos de tipo comercial-turístico o viviendas en sectores cercanos playas.

Información clave sobre los miembros que potencialmente tramitan proyectos IAC

Al momento de la redacción del artículo, en julio 2024, la totalidad de miembros del Colegio Federado era 36.744 profesionales. De ellos, los que potencialmente tramitan proyectos de tipo constructivo son: ingenieros civiles: 8.321 + arquitectos 6.902 + ingenieros CITEC 5.706 + ingenieros eléctricos 3.028 + ingenieros electromecánicos 1.854 + ingenieros mecánicos 1.579, para un total de 27.390 miembros. Esto constituye un 74%.

Respecto a las edades de los profesionales, los que tienen 44 años o menos de edad son 11.944, lo que constituye un 44% del total. Se puede argumentar que estas personas, menores de 44 años, dado que están en proceso de darse a conocer y de sobresalir, tendrían más motivación por hacer la transición hacia el nuevo estándar, por lo que pueden tener mayor interés por capacitarse e innovar.

Línea base que se desprende del análisis de bases de datos del CFIA

Con base en las secciones anteriores, se identifica la siguiente línea de base del tipo de proyecto, empresa y profesional, que más habitualmente lleva a cabo proyectos IAC en CR. Es en este perfil en el que se podrían enfocar, como punto de partida, las instituciones interesadas en apoyar durante la transición de estándar.

Línea base:

- Tipo de proyecto IAC que predomina en Costa Rica: áreas menores a 250m²
- Uso: principalmente viviendas unifamiliares o locales comerciales.

- Plazos totales: cortos (menores a 12 meses)
- Ubicación: ubicados en todo el país, con mayor peso (60%) en Alajuela, San José y Guanacaste
- Tipos de empresas: Aproximadamente el 89% de las empresas inscritas en el CFIA se desempeñan en el área de trabajo de proyectos IAC.
- Edad empresas: 72% de estas empresas inscritas tienen 15 años o menos
- Edad de profesionales: 44% de los profesionales tiene 40 años o menos

Principales cambios de PMBOK 6ta al PMBO 7ma edición

La Figura 8 muestra los principales cambios de la sexta a la séptima edición:

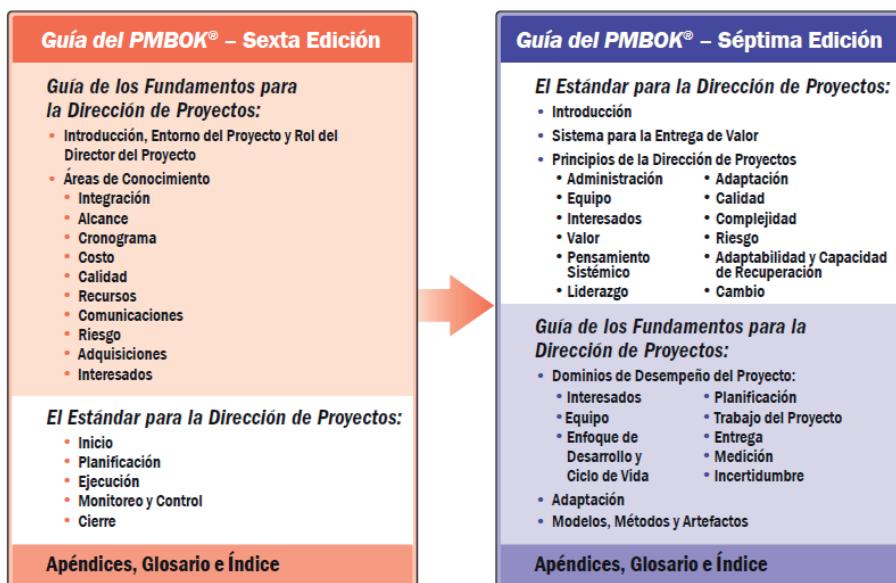


Figura 8. Resumen de cambio en la Estructura del PMBOK 6ta al PMBOK 7ma edición. Fuente: PMBOK-7ma Edición [3].

En el cuadro 2 se presentan los principales cambios para los proyectos de IAC que se planifican con PMBOK-6 y que ahora se planificarán con PMBOK-7.

Cuadro 2. Principales cambios significativos para proyectos IAC al pasar del estándar PMBOK-6 al PMBOK-7.

PMBOK-6	PMBOK-7	Implicación o reto que presenta el cambio para el Sector IAC
<p>Cambio significativo #1 No basado en "procesos" El sistema de gestión del proyecto se diseña sobre la base de procesos: Inicio, Planificación, Ejecución, Monitoreo Control y Cierre</p>	<p>El nuevo estándar se basa en resultados en "resultados" que aportan valor al cliente, y que son alcanzados a través de "dominios de desempeño" y "principios"</p>	<p>El nuevo estándar indica que no impide que el proyecto se gestione sobre la base de procesos, pero este tendría que buscar cómo adaptar dicho enfoque al nuevo estándar. Al respecto, en la Figura 9 se presenta una alternativa para esto.</p> <p>Impacto del cambio: El profesional o empresa tendrán que invertir tiempo en rediseñar su sistema de gestión de proyectos y asociar procesos a los dominios de desempeño.</p>
<p>Cambio significativo #2 No basado "Áreas de conocimiento" El sistema de gestión del proyecto se diseña sobre la base de Áreas de Conocimiento, que se asocian a los grupos de procesos.</p>	<p>El nuevo estándar ya no se organiza en áreas de conocimiento ni los asocia a los procesos. En su lugar, se basa en "resultados" que deberán aportar valor al cliente, y que son alcanzados a través de "dominios de desempeño" y del seguimiento de "principios de dirección"</p>	<p>Al estudiar con detalle el nuevo estándar, el profesional o empresa encontrará que las 10 áreas de conocimiento habituales del PMBOK-6, se podrían ubicar ahora en algunos de los dominios de desempeño, como se puede observar en la Figura 9.</p> <p>Impacto del cambio: El profesión o empresa tendrán que invertir tiempo en rediseñar su sistema de gestión de proyectos y reubicar las áreas de conocimiento a los dominios de desempeño. Esto puede requerir rediseño de macroprosesos, procedimientos o software empresarial.</p>
<p>Cambio significativo #3 Adopción de los "Principios de la Dirección de proyectos" El sistema de gestión del proyecto se diseñaba sin mención a este tipo de principios, ya que se asumía que la organización y los individuos se capacitaban en estos, como "habilidades-blandas-complementarias".</p>	<p>Bajo el nuevo estándar, PMI propone una declaración de 12 principios que se aplican a todo el espectro de la dirección de proyectos y que captan y resumen los objetivos generalmente aceptados para la práctica de la dirección de proyectos y sus funciones básicas.</p> <p>Utilizando estas declaraciones de principios, el nuevo estándar puede reflejar una gestión eficaz de los proyectos en el panorama de entrega de valor total: de predictivo a adaptativo y todo lo demás.</p>	<p>Impacto del cambio: el profesional o la organización que ejecuta el proyecto tendrá que dedicar tiempo para comprender e implementar los "principios de dirección".</p> <p>A nivel del proyecto, el sistema de gestión tendría que promover espacios para implementar los 12 principios. Para cada principio, debería haber un plan y una meta en, el proyecto. Temas, como por ejemplo: "Demostrar conductas de liderazgo", "Aprender a navegar en la complejidad", y otros, no han sido temas habitualmente considerados en los proyectos IAC, que ahora se deberán considerar.</p> <p>A nivel de organización, la alta gerencia tendrá que dar a conocer y promover estos principios como principios empresariales y quizás atarlos a la misión, visión y valores. También tendrá que ofrecer capacitación en ellos y ejemplos de aplicación.</p>

PMBOK-6	PMBOK-7	Implicación o reto que presenta el cambio para el Sector IAC
<p>Cambio significativo #4</p> <p>Enfocarse en la entrega de valor, en vez de en los procesos o entregables</p> <p>El sistema de gestión del proyecto se diseñaba con énfasis en cumplir con el plan, en suministrar los entregables. El concepto de entrega de valor no ha sido tan común en la comunidad que gerencia proyectos IAC.</p>	<p>Bajo el nuevo estándar, el profesional o la organización que ejecuta el proyecto del sector IAC tendría que pensar en cuáles elementos constituyen entregas de valor para su cliente y diseñar un sistema para entrega de valor.</p> <p>El concepto de entrega de valor frecuente al cliente varía de proyecto a proyecto y de cliente a cliente. Quizás, conceptos como el <i>Integrated Project Delivery IPD</i>, el <i>Fast Track</i> o la Prefabricación de partes del proyecto puedan ser esas entregas de valor temprana para proyectos IAC.</p> <p>En otros casos, la entrega de valor al cliente podría ser que venga de una receptividad y rápida la adaptabilidad a cambios. En otros, la entrega de valor podría provenir de garantizar el flujo ágil de información en todo momento con modelos de información BIM y entornos compartidos de datos.</p>	<p>Impacto del cambio: el profesional o la organización que ejecuta el proyecto tendría dedicar tiempo para diseñar, dentro de su sistema de gestión del proyecto, un sistema de entrega de valor para el cliente.</p> <p>Como se ha mencionado, en el caso de IAC no siempre es sencillo de lograr o no siempre podría ser viable, en especial si el proyecto es corto en duración y de baja cantidad de personas.</p>
<p>Cambio significativo #5</p> <p>Dominio de desempeño de la Medición del desempeño del proyecto</p> <p>Bajo el estándar anterior, el proyecto se estructura en línea a los 5 grupos de proceso y a las 10 áreas de conocimiento, pero en ninguna de estas hay una alusión directa a la necesidad de diseñar e implementar métricas.</p> <p>Es claro que los proyectos sí las han utilizado, pero por iniciativa propia y por necesidad, más que por que el estándar lo indicara explícitamente.</p>	<p>Bajo el nuevo estándar, el dominio de desempeño de la "medición" el equipo del proyecto deberá diseñar un sistema de medición que permita la adecuada evaluación sobre el desempeño del proyecto e implementar respuestas apropiadas para mantener un desempeño óptimo.</p> <p>El sistema deberá dar: una comprensión confiable del estado del proyecto.</p>	<p>Impacto del cambio: el profesional o la organización que ejecuta el proyecto tendría dedicar tiempo para diseñar, dentro de su sistema de gestión del proyecto, el sistema de medición. Además, esto podría tener impacto sobre los sistemas de control y procesos que las empresas ya tengan en funcionamiento.</p>
<p>Cambio significativo #6</p> <p>Adaptación del estándar PMBOK-7 a la particularidad de cada proyecto</p> <p>Bajo el estándar anterior, los proyectos utilizaban una estructura muchas veces, similar: etapas-procesos-áreas de conocimiento</p>	<p>Bajo el nuevo estándar, para cada proyecto, habrá que analizar variables como ambigüedad, complejidad y volatilidad del proyecto, con el fin de seleccionar el enfoque predictivo, adaptativo o híbrido. Con base en esta elección, se podrá elegir un ciclo de vida del proyecto y finalmente diseñar un sistema de gestión de proyecto que sea una propuesta integral de: enfoque, ciclo de vida, principios de dirección y dominios de desempeño, métodos y artefactos.</p>	<p>Impacto del cambio: el profesional o la organización que ejecuta el proyecto tendría dedicar tiempo para diseñar, dentro de su sistema de gestión del proyecto, considerando todas estas variables y posibilidades. Las empresas tendrían una gran variedad de posibles sistemas de gestión de proyectos, con combinaciones de métodos y artefactos.</p>
<p>Cambio significativo #7</p> <p>Conocer y aprovechar una gran lista de Modelos, Métodos y Artefactos</p> <p>Bajo el estándar anterior, los proyectos de IAC por lo general tenían un grupo de artefactos que habitualmente se utilizaban: plantillas, registros, gráficos de control, reportes, análisis y proyecciones.</p>	<p>Bajo el nuevo estándar se presenta una sección sobre Modelos, Métodos y Artefactos que ofrece una agrupación de alto nivel de herramientas que apoyan la dirección de proyectos. Se mantienen vínculos con las herramientas, técnicas y salidas de ediciones anteriores.</p>	<p>Impacto del cambio: Mismo que el mencionado anteriormente. El profesional o la organización que ejecuta el proyecto tendrá dedicar tiempo para diseñar, dentro de su sistema de gestión del proyecto, considerando todas estas variables y posibilidades.</p>

Síntesis: ¿Cómo cambia la gestión proyectos IAC con PMBOK-7?

Como parte del análisis llevado a cabo en este artículo, se llevó a cabo un mapeo de cuáles son los elementos más relevantes para los proyectos IAC (que usan el PMBOK-6) y cómo podrían ubicarse en PMBOK-7.

En la Figura 9, se presenta una propuesta preliminar que sugiere donde “se podrían ubicar” lo viejo dentro de lo nuevo. En esta figura, para facilidad de ubicación, se marcaron con un triángulo las áreas de conocimiento del PMBOK- 6 y con un triángulo invertido las etapas del ciclo de vida de gestión del proyecto que se utilizan en PMBOK-6. Finalmente, se marcó con un círculo en cuál dominio PMBOK-7 se podría ubicar el ciclo de vida tradicional secuencial, asociado a un enfoque predictivo, típico de la gestión de los proyectos IAC usado en PMBOK-6. Respecto a este último punto, se reitera y subraya los indicados por los autores del PMBOK-7, respecto a que el nuevo estándar con enfoque en principios no contradice ni impide la alineación de un proyecto con el enfoque basado en procesos de las ediciones anteriores. Según el nuevo estándar “..Muchas organizaciones y profesionales seguirán considerando que ese enfoque (de procesos) es útil con el fin de orientar su capacidad para la dirección de proyectos, armonizar sus metodologías y evaluar su capacidad para la dirección de proyectos. Ese enfoque (de procesos) seguirá siendo importante en el contexto de esta nueva edición...”

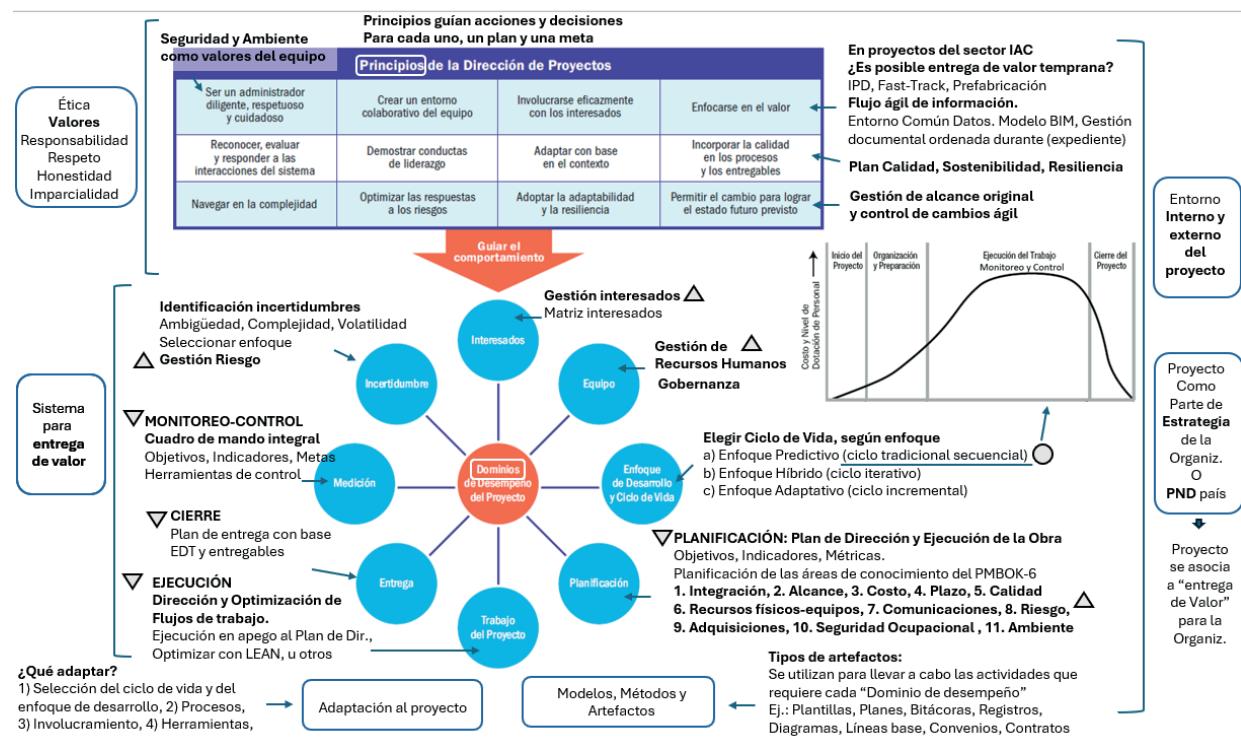


Figura 9. Mapeo de dónde podrían ubicarse los elementos de PMBOK-6, típicos de proyectos del Sector IAC, en un diseño de proyecto basado en PMBOK-7. Fuente:
Adaptado por el autor, de PMBOK-7ma Edición [3] y elementos de [13] y [14]

Síntesis: Potenciales dificultades, motivaciones, beneficios y oportunidades del cambio

Las mayores dificultades, motivaciones, beneficios y oportunidades que se prevén para adoptar el nuevo estándar en proyectos IAC son:

Desafíos: vencer la resistencia y los miedos, capacitación individuos y empresas, rediseño de sistemas y procesos empresariales, reto de diseñar un sistema para cada proyecto (adaptación)

Fuentes de motivación: orgullo de aplicar mejores prácticas industria, aumento de conocimiento-habilidades, saber que PMI sigue siendo estándar líder y referente mundial

Beneficios y oportunidades: aprender a gestionar proyectos bajo diferentes enfoques, ventaja de ser primeros en adoptar, mejorar satisfacción del cliente (por entrega de valor temprana), diferenciación y renombre, mejora en cultura organización (al adoptar los principios de dirección)

Conclusiones

El reto de comprender cómo adoptar el estándar PMBOK-7 a los proyectos IAC es complejo. Para tener éxito en la transición, se deben llevar a cabo estrategias promotoras, como las que se proponen desde la Teoría del Cambio y la Curva de Adopción.

Los mensajes a los profesionales deberán diseñarse para apoyar durante las etapas de negación y de resistencia, y los apoyos para alcanzar las etapas de compromiso y aceptación, según se concluye de los modelos de Curva de adopción.

Del análisis de estadísticas del CFIA es posible extraer una línea base de los profesionales, empresas y proyectos que llevan a cabo típicamente en proyectos IAC en el país. Con base en dicho perfil, es que se pueden diseñar las estrategias para apoyar el cambio. Existen oportunidades de que el estándar se adopte en el sector, dado un perfil potencialmente receptivo, que existe en un porcentaje importante de empresas y profesionales de reciente incorporación al CFIA. No obstante, se deben tener presentes las limitaciones asociadas a que la mayoría de los proyectos en Costa Rica son menores a 250m² y 12 meses de duración, con escaso número de profesionales participantes y de recursos para su administración.

En el artículo se identifican algunas de las mayores dificultades asociadas a migrar al nuevo estándar. Mucho del éxito radica en que los profesionales del sector IAC logren combinar el viejo y el nuevo estándar, con el fin de seguir aprovechando lo mejor de cada uno, con propuestas como las que se presentan en este artículo.

Los profesionales y empresas que se decidan por acometer el cambio tendrán que hacer un esfuerzo, ya que a primera vista el nuevo estándar es totalmente diferente al anterior y esto puede generar rechazo y temor. No obstante, luego de un análisis cuidadoso se verá que es posible hacer una combinación sinérgica entre PMBOK-6 y PMBOK-7, que resultará en una visión y capacidad más amplia para gestionar proyectos.

Existen fuentes de motivación para profesionales y empresas que son identificables. El análisis de los perfiles desarrollados en este artículo sugiere que existen grupos importantes de proyectos y personas que potencialmente estarían interesados en llevar a cabo el cambio, pues los beneficios y oportunidades podrían resultarles atractivos. El proceso requerirá tiempo y recursos de parte de las autoridades del sector, para brindar el apoyo necesario.

Referencias

- [1] PMI Project Management Institute. (2016). Construction Extension to the PMBOK Guide. Sixth Edition. Pennsylvania: PMI, Inc.
- [2] Repetto Alcorta, Martín. (2009). Administración de proyectos de construcción – Parte 2. Artículo de la ESCUELA DE GESTIÓN CÁMARA ARGENTINA DE LA CONSTRUCCIÓN
- [3] PMI Project Management Institute. (2022). Construction Extension to the PMBOK Guide. Seventh Edition. Pennsylvania: PMI, Inc
- [4] https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%A3da_de_cambio (recuperado el 12/julio/2024).

- [5] Retolaza, Íñigo (2010). «Teoría de cambio. Un enfoque de pensamiento-acción para navegar en la complejidad de los procesos de cambio social
- [6] Taplin, Dana; Clark, Hélène (2012). «Theory of Change Basics. A Primer on Theory Of Change».
- [7] Dhillon, Lovely; Vaca, Sara (2018). «Refining Theories of Change». Journal of MultiDisciplinary Evaluation.
- [8] Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas, Manual de la CEPAL.
- [9] https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_K%C3%BCbler-Ross (recuperado 10/julio/2024)
- [10] https://codendigital.com/curva_cambio_uso_transformacion_digital/. (recuperado 10/7/24)
- [11] www.cfia.or.cr Página web del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA)
- [12] ULEAD University. Fundamentos de la Administración de Proyectos Predictivos y Adaptativos. Curso llevado en el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos en junio del año (2022).
- [13] PMI Project Management Institute. (2016). Construction Extension to the PMBOK Guide. Sixth Edition. Pennsylvania: PMI, Inc.
- [14] PMI Project Management Institute (2022). Code of Ethics. (Recuperado el 15-julio-22 de https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/ethics/pmi-code-of-ethics.pdf?sc_lang_temp=es-ES)

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.

Control vertical de infraestructura civil, mediante lidar terrestre y topografía clásica

Vertical control of civil infrastructure, using terrestrial lidar and classic topography

Esteban V. Vargas¹, Juan Mc Gregor-Sanabria², Gustavo Lara-Morales³

V. Vargas, E; Mc Gregor-Sanabria, J; Lara-Morales, G. Control vertical de infraestructura civil, mediante lidar terrestre y topografía clásica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Marzo, 2025. I Congreso Internacional de Gestión de Proyectos (CIGEPRO). Pág. 49-62.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i6.8176>

1 Escuela de Ingeniería Topográfica, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
estebandejesus.vargas@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-3861-0053>

2 Escuela de Ingeniería Topográfica, Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Centro de Investigación en Estudios para el Desarrollo Sostenible. CIEDES UCR. Costa Rica.
juan.mcgregor@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0001-9285-8757>

3 Escuela de Ingeniería Topográfica, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
gustavo.lara@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0003-0380-3311>



Palabras clave

Control vertical; topografía clásica; LiDAR Terrestre; auscultación.

Resumen

En ingeniería la obra civil puede estar sujeta a desplazamiento horizontal y vertical debido a causas naturales, deformaciones o factores netamente humanos, por lo que es importante realizar una verificación precisa para así asegurar que las estructuras se encuentren dentro de los parámetros de diseño previamente establecidos, analizando la información recolectada en campo, para así determinar los posibles efectos en la estructura y proceder a su corrección o mitigación. En el presente caso de estudio se realizó el control de verticalidad de una estructura para determinar la existencia de desplazamientos verticales considerando las recomendaciones del Manual de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010. Para ello se utilizan dos metodologías de medición en conjunto, una basada en la obtención de datos mediante LiDAR Terrestre y otra en la topografía clásica, enlazadas a través del establecimiento de una poligonal de referencia local aplicando el método de Bessel mediante series completas, asegurando el enlace de la información obtenida mediante ambas técnicas, y detectando desplazamientos mayores a los recomendados por la normativa, además se valida la información obtenida mediante LiDAR Terrestre con lo cual se logra obtener un modelo de la estructura en estudio, el cual funciona como referencia para una aplicación puntual de la topografía clásica en zonas de interés y realizar el análisis de la información de forma más eficiente y rápida, asegurando además la calidad de la información. La metodología propuesta no solo valida el uso del LiDAR Terrestre a partir de la comparación con instrumental y metodologías comprobadas en el control de obra civil, sino que permite la detección de desplazamientos mediante una integración precisa de los datos de referencia obtenidos de la nube de puntos y la exactitud de las estaciones totales para verificaciones puntuales. Dicho enfoque facilita el monitoreo continuo de infraestructuras, reduciendo tiempo de análisis y garantizando la calidad de los datos, lo que lo convierte en una herramienta fundamental para la gestión de proyectos.

Keywords

Vertical control; classical surveying; terrestrial LiDAR; auscultation.

Abstract

The civil works may be subject to vertical or horizontal displacements due natural causes, deformations or human factors, so it is important ensure that the structures are within the design parameters form an accurate field check and the respective analysis to determine corrective measures to mitigate or remedy possible impacts on the infrastructure. In the present study case, the verticality of the structure was controlled, to verify its verticality and determine the existence of displacements, taking into consideration the recommendations of the Manual de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010. For this purpose, two measurement methodologies are used together, the first one based in the utilization of the Terrestrial LiDAR and the last one using conventional surveying, linked through the establishment of a local reference polygonal applying the Bessel method with complete series, ensuring the connection between the information obtain through both techniques, and subsequently detecting movements greater than those recommended by regulations. In addition, the data obtain with Terrestrial LiDAR is validated, thereby obtaining a model of the structure under study, serves as a reference for the application of conventional surveying in interest areas and perform the analysis of the information more efficiently and quickly, also ensuring the quality of the data obtain in the vertical

control. The methodology proposed validate the use of Terrestrial LiDAR from the comparison with instruments and methodologies recognized in the control of civil works, also allows the detection of displacements through a precise integration of the reference data obtained from the point cloud and the accuracy of the total station for specific verifications. This approach provides continuous monitoring of infrastructures, reducing analysis time and ensuring data quality, making it a fundamental tool for project management.

Introducción

En la construcción de obra civil es importante recopilar información adecuada sobre el comportamiento de las estructuras presentes en cada proyecto, para así establecer si cumplen con los parámetros establecidos previamente en el diseño, ya sea mediante un control en la nivelería de base estabilizada en una obra vial, la demostración de la capacidad de un puente para resistir adecuadamente las cargas establecidas en el diseño antes de abrirse al público, o el control constante durante la colocación y alineamiento de vigas. Para lograr obtener los datos requeridos respecto al comportamiento de la estructura sin intervenirla o afectarla, es necesario contar con metodologías adecuadas y bien definidas, con las cuales se pueda comprobar el funcionamiento de la obra de forma efectiva, y tomar las medidas correctivas necesarias [1], [2]. Asimismo, debe escogerse el instrumental para cumplir con las tolerancias de diseño para la toma de datos.

Debido a que cada obra de infraestructura tiene características específicas es importante seleccionar la metodología adecuada para llevar a cabo las tareas requeridas, como sucede en el monitoreo de deformaciones mediante técnicas topográficas en grandes estructuras como represas, en las que es necesario contar con redes de control tanto dentro como fuera de la estructura en terreno estable y con inter visibilidad, manteniendo un monitoreo constante tanto en la red de control como los de monitoreo para determinar la existencia de desplazamientos [3]. También al realizar un control vertical de estructuras, utilizando como apoyo datos de un levantamiento previo, debidamente verificado, para así realizar el control de la estructura desde varias perspectivas, manteniendo toda la información enlazada, y determinar mediante la verificación de puntos localizados en la zona alta, intermedia y baja de la estructura, el nivel de desplome del edificio y determinar las medidas correctivas una vez se analice la información suministrada [4].

A nivel general al definir una metodología de control topográfico deben de seguirse una serie de pautas que garanticen la calidad de la información al verificar y determinar los procedimientos a seguir para realizar la inspección [5] estableciendo puntos de referencia dentro de la zona de estudio con comprobaciones, análisis de la exactitud y precisión suministrada por el equipamiento utilizado, además de determinar la existencia de hitos o referencias cercanas a la obra y la calidad de las mismas, para asegurar que la red de puntos de referencia se mantenga en el tiempo en caso de requerir nuevos controles, lo cual se logra de acuerdo con Wolf y C. Ghilani [6] utilizando redes de control horizontal y vertical que permitan asegurar la trazabilidad de la información durante y después de los trabajos realizados. Finalmente, y una vez realizada la toma de datos se debe comprobar que la información se encuentre dentro de las tolerancias establecidas previamente en el diseño de la obra a controlar.

Para la escogencia de una metodología es necesario tomar en cuenta el instrumental disponible, así como sus precisiones. Además, debido a la gran gama de equipos que se pueden encontrar en la actualidad, se debe analizar muy bien tanto los requerimientos de la obra como el presupuesto con el que se cuenta, ya que existe instrumental capaz de obtener millones de punto por segundo, pero que requiere software especializado y un análisis detallado durante el postproceso de la nube de puntos, como sucede como el LiDAR Terrestre [7], o equipos como

Estaciones Totales que mediante técnicas topográficas clásicas, brindan información directa en campo sobre el estado de las estructuras, pero a una menor escala de velocidad y cantidad de datos adquiridos, por lo que requieren de una mayor cantidad de tiempo de ejecución en campo.

Para el desarrollo del caso de estudio se analiza un sector de aproximadamente 60 metros de longitud del muro lateral de un paso a desnivel, el cual es dividido en secciones verticales separadas cada 3 metros. Además, se crea una poligonal base a lo largo de la zona de estudio, para asegurar que la información obtenida tanto mediante Topografía Clásica, como por técnicas LiDAR Terrestre sean compatibles para el análisis y validación de la información.

Por lo anterior el objetivo de este trabajo es aportar una metodología de control que aproveche la rápida recolección y el nivel de detalle derivado de las técnicas LiDAR Terrestre, en la obtención de la información de referencia de toda la estructura, en conjunto con el uso de metodologías topográficas clásicas para la verificación de sectores de la obra que, a partir de la referencia obtenida con la nube de puntos, requieran ser verificadas en distintos períodos y poder ser comparadas con la información del modelo creado, todo ello partiendo de una red de puntos de apoyo con la cual se asegure el enlace de ambas metodologías de recolección de datos y su trazabilidad.

Metodología



Figura 1. Zona de Estudio.

La zona de estudio tal y como se muestra en la Figura 1 consta de una sección de un muro sobre la marginal de un paso a desnivel, dicha sección consta de aproximadamente 60 m de longitud, con alturas máximas entre los 6 y 9 metros, de forma que en caso de existir cambios de verticalidad puedan ser apreciados de forma clara y permitan contrastar las metodologías utilizando técnicas LiDAR Terrestre y topografía convencional. Asimismo, la franja en estudio cuenta con una amplia marginal permitiendo el establecimiento de la poligonal de apoyo con una mínima interferencia en el uso de la misma y mitigando a su vez la afectación en las mediciones debidas a vibraciones producidas por el flujo cercano y a la obstaculización visual entre el instrumental y el área de trabajo.

El objetivo principal de este estudio es brindar una metodología que utilice tanto las ventajas brindadas por los levantamientos LiDAR Terrestre, en cuanto a cantidad de información y velocidad en la adquisición de datos, como los beneficios en cuanto a precisión de instrumental topográfico convencional. Para ello no se deben dejar de lado los efectos de los errores asociados al sistema de medida (instrumento, trípode, objetivo), así como los errores inducidos por las condiciones ambientales, ya que como señala Ghilani [8], los errores están presentes en cada observación realizada.

Por lo anterior y para determinar el error esperado en las mediciones se debe analizar tanto el instrumental a utilizar como el diseño de la poligonal y técnicas de medición. Para determinar el error esperado se utiliza la ley de propagación de errores simplificada, mostrada en la ecuación 1, la cual describe como los errores en las mediciones se van transfiriendo al resultado final.

$$\varepsilon_z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial x_1} \sigma_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial x_2} \sigma_{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial Z}{\partial x_n} \sigma_{x_n}\right)^2} \quad (1)$$

Donde ε_z es el error total, $\sigma_{x_1}, \sigma_{x_2}, \sigma_{x_n}$, son las contribuciones al error (centrado, puntería, instrumento, entre otros) y ∂ indica la derivada parcial de la función que representa a la contribución del error en los casos de mediciones indirectas. A partir de la ecuación 1 se pueden determinar los errores esperados tanto para la poligonal base, como para las mediciones de verticalidad realizadas con Láser escáner y con Estación Total, las cuales se abordarán en los apartados siguientes.

Polygonal Base

Para el enlace de ambas metodologías se estableció una poligonal base o de apoyo que consta de 6 estacionamientos separados cada 15 m, tal y como se muestra en la Figura 2. Además, se establecieron referencias en varios puntos de la zona de trabajo, para la relocalización de puntos en caso de que sean removidos. Asimismo, se añadieron a la poligonal dos pilares localizados en las inmediaciones del paso a desnivel, los cuales fueron medidos utilizando equipo GNSS, para de ser necesario, georreferenciar la información obtenida.

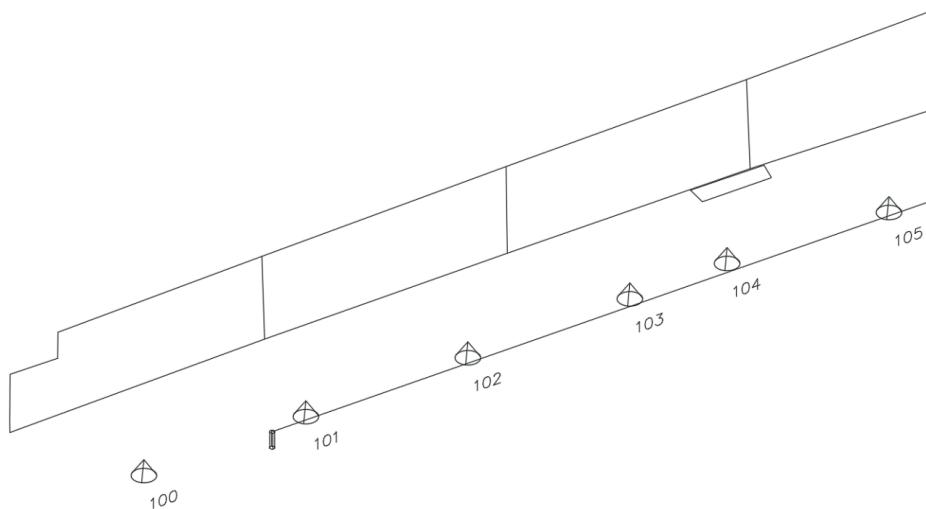


Figura 2 Distribución de puntos a lo largo del muro en estudio.

Una vez materializados los puntos se determinó el error esperado a partir de la ecuación 1, para las mediciones de posición de $\varepsilon_{DH} = \pm = \pm 1.9$ mm, el cual se obtiene tomando en cuenta la desviación típica angular de $\sigma_{ang} = \pm = \pm 1''$, la desviación típica en Medición Electromagnética de Distancias (MED) de $\sigma_{MED} = \pm 1$ mm + 1.5 ppm, en mediciones con prisma de la Estación total, y al error de centrado estimado del sistema de trípodes de madera $\sigma_c = \pm 1$ mm. Tomando el error previamente calculado se procede con la medición de los estacionamientos para dotar de coordenadas a la poligonal, para ello se realizaron tres series mediante la Regla de Bessel a través de una aplicación de series completas, la cual consiste en visar el punto requerido en posición I (CI) del objetivo, tomar el dato requerido, para seguidamente realizar un giro horizontal de 180° y un giro vertical de más de 270°, recolectando información nuevamente del mismo punto, pero en posición II (CD), tal y como se muestra en la Figura 3. Lo anterior proporciona valores angulares libres de errores asociados a la construcción del instrumental, además reduce la influencia de las equivocaciones durante la observación, de ángulos y distancias [9].

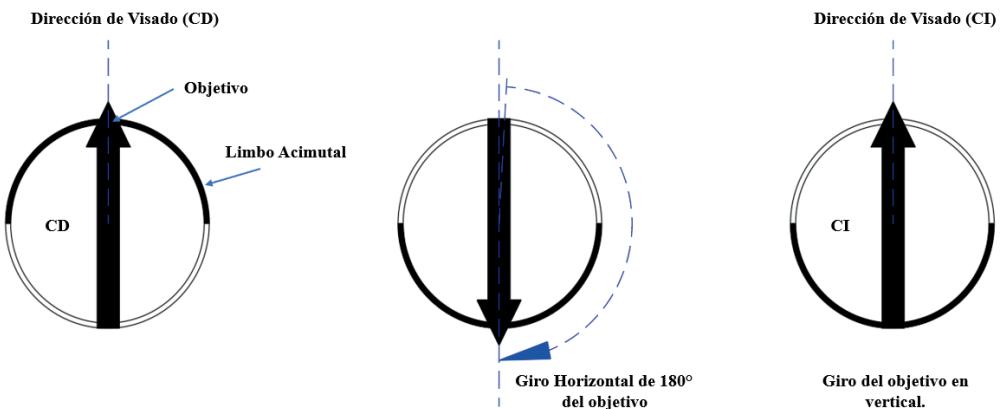


Figura 3. Regla de Bessel para series completas.

En cada medición de series se verifico la calidad de los errores a partir del reporte generado por el colector de datos, verificando tras cada medición la calidad de los datos basándose en el error esperado tanto angular como de distancia, el cual se mantiene dentro de los márgenes esperados, tal y como se muestra en el cuadro 1 y generando el sistema de coordenadas de la poligonal de apoyo expuesto en el cuadro 2.

Cuadro 1 Desviaciones estándar angulares y de distancia.

Punto	$\pm\sigma_{Horizontal}$	$\pm\sigma_{MED}$ (m)	$\pm\sigma_{Vertical}$
100	0°00'02"	0.0000	0°00'01"
101	0°00'00"	0.0001	0°00'02"
102	0°00'02"	0.0001	0°00'01"
103	0°00'01"	0.0001	0°00'02"
104	0°00'00"	0.0001	0°00'01"
105	0°00'03"	0.0000	0°00'01"
106	0°00'01"	0.0000	0°00'01"

Cuadro 2 Coordenadas de la Poligonal Base.

ID	x (m)	y (m)	Altura (m)	Descripción
100	1000.000	2000.000	500.000	EST_01
101	977.728	2060.916	499.185	EST_02
102	969.619	2089.923	498.142	EST_03
103	961.858	2116.805	497.485	EST_04
104	950.997	2152.905	497.551	EST_05
105	935.630	2200.588	498.024	EST_06
106	1012.966	1929.107	499.500	EST_07

Obtención de datos mediante LiDAR Terrestre

Para la medición con Escáner Láser se colocaron tres Targets sobre trípodes robustos, dos localizados sobre estacionamientos de la poligonal, en conjunto con el instrumental de medición y uno cercano al muro de estudio, además se colocaron Dianas temporales a lo largo de la pared, tal y como se muestra en la Figura 4, afín de contar con las referencias necesarias para localizar el levantamiento 3D sobre la poligonal de apoyo y con suficiente traslape para el procesamiento de puntos.

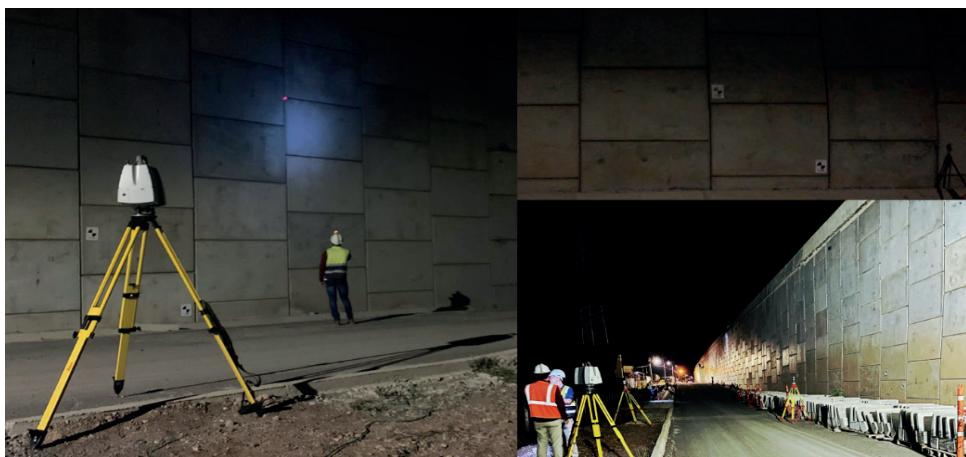


Figura 4. Medición con LiDAR Terrestre.

Posterior a la recolección de información en la zona de estudio, se realizó el procesamiento de la nube de puntos enlazando un total de 12 nubes de puntos, a lo largo de todo el paso a desnivel, en la Figura 5 se muestra en el conjunto un traslape del 60 % y un error menor a 0.010 m, así como muestras de los enlaces individuales.

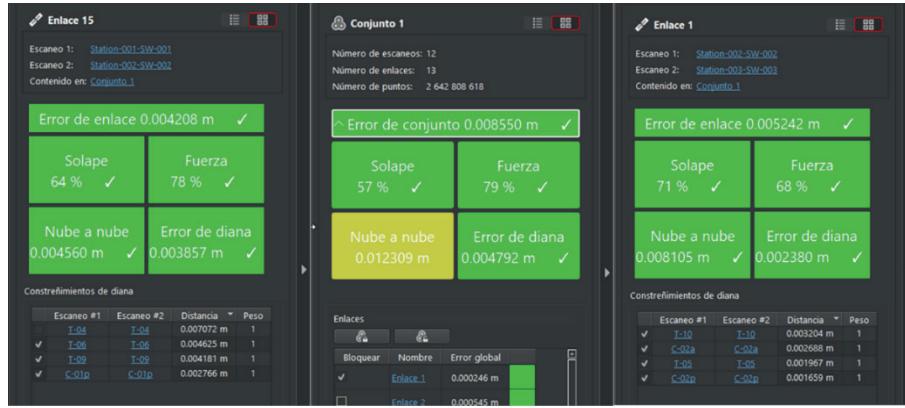


Figura 5. Ejemplo de Conjunto y Enlaces.

En la Figura 6 se muestran los datos antes de eliminación del ruido generado por objetos, plantas y personas en la zona de trabajo, así como la eliminación general de información no relevante.

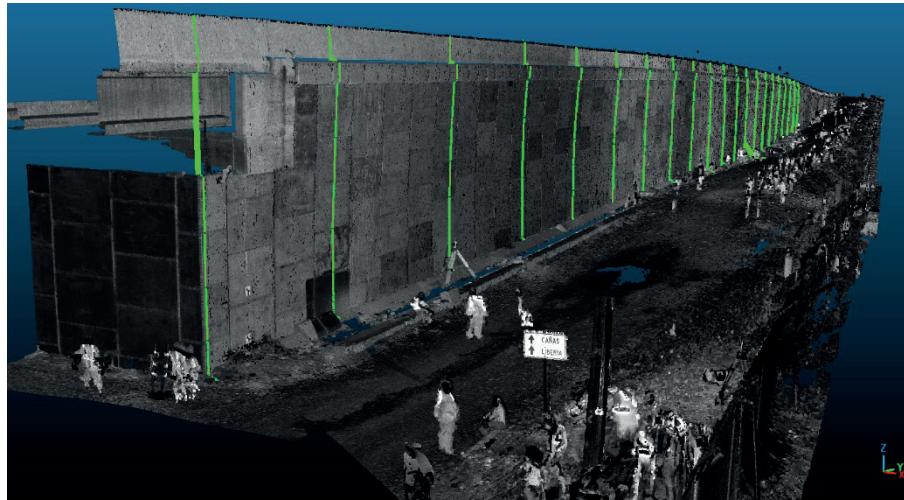


Figura 6. Secciones Sobre Nube de Puntos.

Finalizado el procesamiento de la nube de puntos se extrae la información del comportamiento vertical de la estructura mediante la creación de una superficie de comparación, a la vez que se genera un alineamiento con secciones verticales separadas horizontal y verticalmente cada 3 metros, tal y como se aprecia en la Figura 7. La creación de las secciones verticales puede realizarse tanto de forma automática, como manual, no obstante, para el caso de estudio se opta por la recolección punto a punto de la información para la creación de las secciones, para la posterior comparación con los datos obtenidos mediante la metodología topográfica clásica.

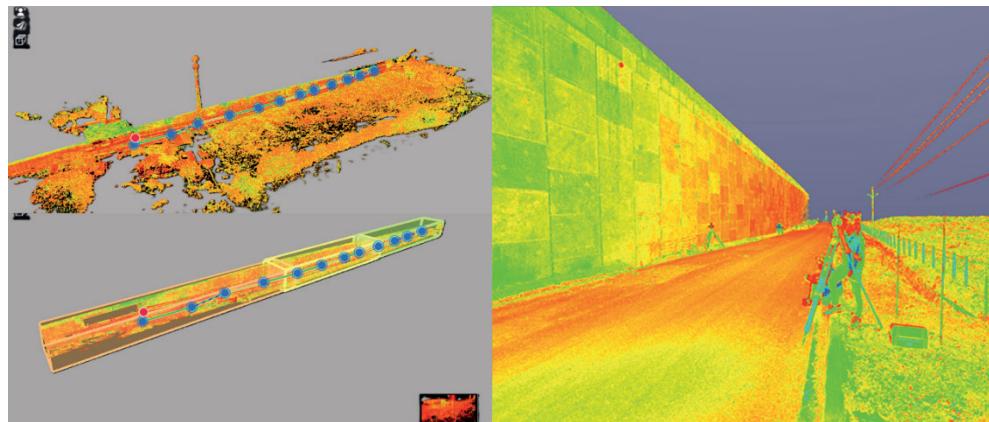


Figura 7. Enlace y limpieza de la nube de puntos.

Recolección de Información Mediante Topografía Clásica

La metodología de levantamiento consiste en la localización de las secciones verticales creadas a partir de la nube de puntos en campo, para ello primeramente se utiliza la técnica de series completas para verificar que cada uno de los estacionamientos de donde se realizarán las mediciones cumplen con las tolerancias previamente establecidas. Una vez verificada la calidad de la medición se crea una línea base en el muro generada a partir de dos referencias extraídas de la nube de puntos del levantamiento LiDAR Terrestre (21 y 22), tomando como punto de partida la sección 0, tal y como se muestra en la Figura 8.

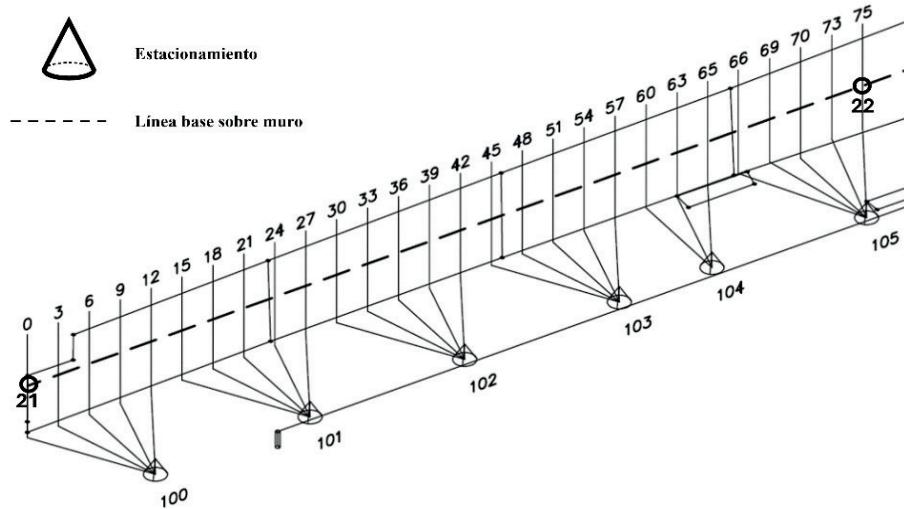


Figura 8. Distribución de secciones sobre línea base, a partir de la poligonal de apoyo.

Como se aprecia en la Figura 8, desde cada uno de los estacionamientos de la poligonal de apoyo, solo se recolectan un máximo de 5 secciones verticales, esto para mitigar el error lateral debido al ángulo generado entre el instrumental de medición y la sección del muro. Finalmente, para la identificación de los datos de cada una de las secciones verticales del muro y facilitar su procesamiento se utiliza una nomenclatura de cuatro dígitos, indicando en los tres primeros el número de sección donde se recolectan los datos y en el cuarto dígito indicando el número de punto medido sobre el muro, de forma tal que el identificador 0030 se refiere a la base del muro de la sección 0+003, mientras que el identificador 0064 al punto 4 recolectado en la sección 0+006. En el cuadro 3, se brinda una muestra de los datos recolectados mediante topografía convencional.

Cuadro 3. Muestra de Datos Recolectados con Estación Total.

ID	x (m)	y (m)	z (m)	ID	x (m)	y (m)	z (m)
0000	985.200	2005.106	499.044	0034	984.405	2007.982	504.417
0001	985.203	2005.110	500.000	0035	984.448	2007.998	507.207
0002	985.197	2005.106	501.501	0060	983.459	2010.840	499.301
0003	985.212	2005.116	503.000	0061	983.453	2010.839	500.724
0004	985.231	2005.128	504.509	0062	983.447	2010.839	502.214
0030	984.353	2007.971	499.3234	0063	983.512	2010.847	503.701
0031	984.352	2007.970	500.714	0064	983.572	2010.855	505.193
0032	984.349	2007.962	502.201	0065	983.656	2010.866	506.955
0033	984.377	2007.972	503.709				

Nota: Se utiliza un sistema de coordenadas local para facilidad de lectura.

Resultados y discusión

Las siguientes gráficas presentan los resultados obtenidos al aplicar las metodologías LiDAR Terrestre y técnicas topográficas clásicas. Para la representación de la verticalidad, se utiliza un gráfico de barras horizontales, para cada estacionamiento, en donde el eje x, indica el incremento positivo (desplome) o negativo del muro, mientras que el eje y indica a la altura del muro a la que fue tomada la información.

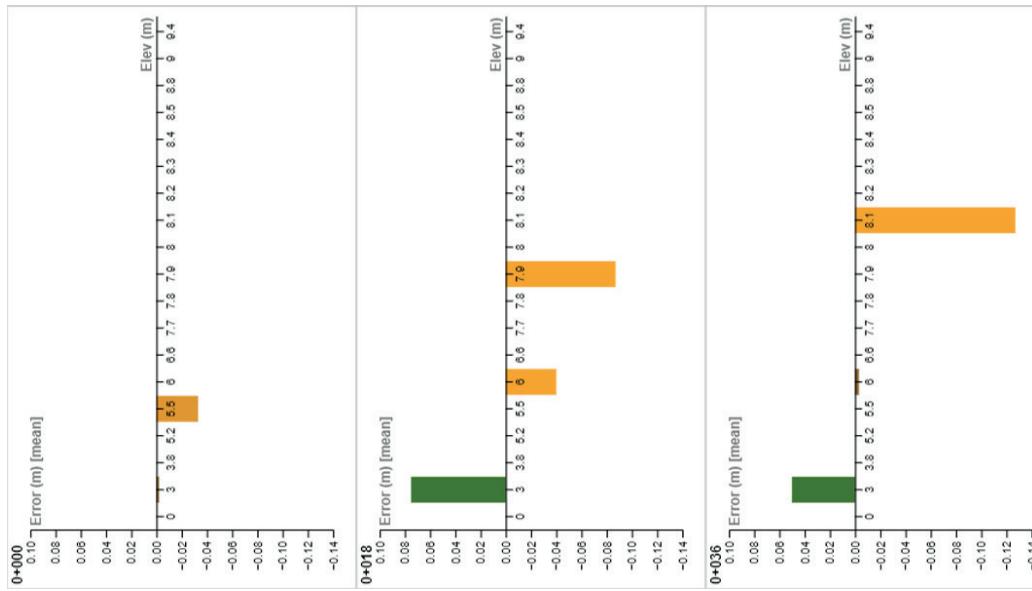


Figura 9. Muestra del desplazamiento vertical mediante metodología LiDAR.

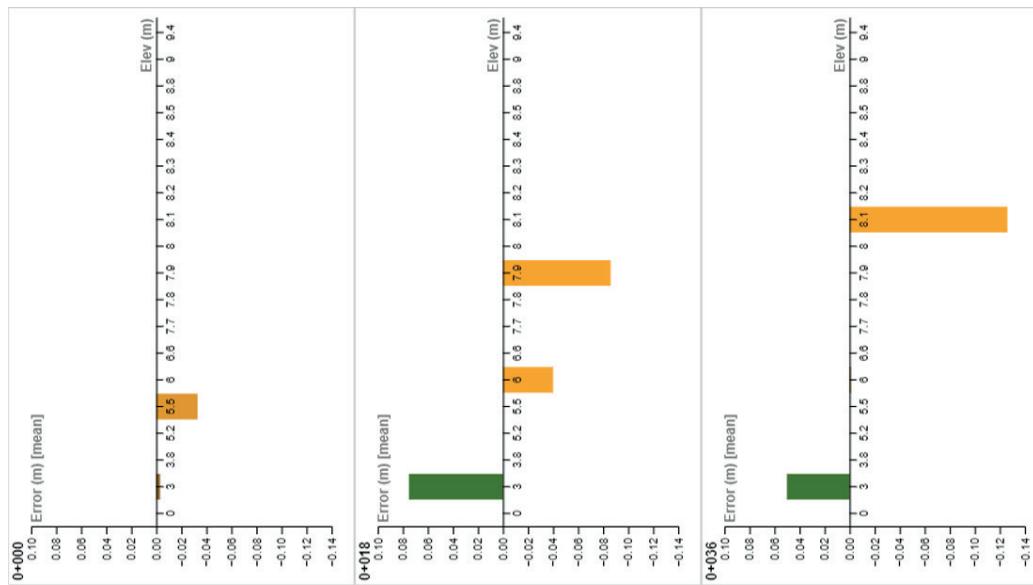


Figura 10. Muestra del desplazamiento vertical mediante metodología topográfica clásica.

La Figura 9 y Figura 10 presentan una alta equivalencia en los datos, esto en parte es debido a que la desviación típica de las mediciones en cada metodología es muy similar, y la cual es calculada partiendo de las especificaciones técnicas de cada equipo y a la dispersión de la poligonal de referencia, por lo que al aplicar la ecuación 1 al sistema LiDAR Terrestre la dispersión de las mediciones puntuales será de $\sigma_{3D} = \pm 3.04$ mm, y de $\sigma_{3D} = \pm 2.50$ mm, para la de la Estación Total, lo que incrementa la confiabilidad en los datos y valida la información obtenida mediante la metodología LiDAR Terrestre, al ser la metodología Clásica más precisa y comprobar que es posible obtener los mismos datos con metodologías más modernas y rápidas. Además, en la Figura 11 se puede apreciar que la máxima diferencia entre ambas técnicas, en la medición vertical no supera los 0.8 cm, respaldado por el cuadro 4 y el cuadro 5.

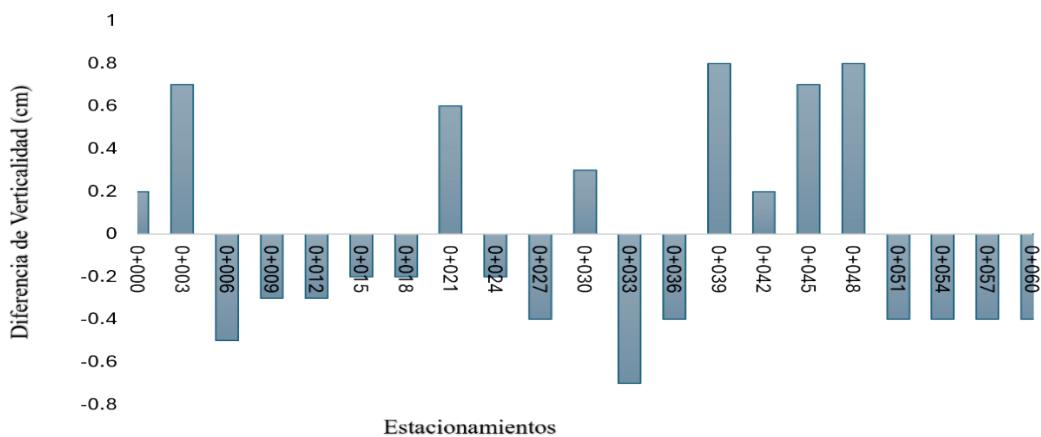


Figura 11. Comparación entre Metodología LiDAR Terrestre y Técnicas Topográficas Clásicas.

Cuadro 4. Comparación entre Metodologías, estacionamientos 0+000 al 0+027.

EST	Comparativa (cm)	EST	Comparativa (cm)	EST	Comparativa (cm)
0+000	0	0+009	-0.1	0+018	0
0+000	0.2	0+009	0	0+018	0
0+000	0.1	0+009	-0.3	0+018	-0.2
0+000	0.2	0+009	-0.3	0+021	0
0+000	0.1	0+012	0	0+021	0.5
0+003	0	0+012	0	0+021	0.6
0+003	0.7	0+012	-0.2	0+021	0.6
0+003	0.6	0+012	-0.1	0+021	0.4
0+003	0.6	0+012	-0.3	0+021	0.5
0+003	0.7	0+012	-0.3	0+024	0
0+003	0.5	0+015	0	0+024	0.1
0+006	0	0+015	0.1	0+024	0
0+006	0	0+015	0	0+024	0.1
0+006	-0.3	0+015	0.1	0+024	-0.2
0+006	-0.5	0+015	0.1	0+024	-0.1
0+006	-0.4	0+018	0	0+024	-0.2
0+006	-0.4	0+018	0	0+027	0
0+009	0	0+018	0	0+027	-0.1

Cuadro 5. Comparación entre Metodologías, estacionamientos 0+027 al 0+060.

EST	Comparativa (cm)	EST	Comparativa (cm)	EST	Comparativa (cm)
0+027	-0.1	0+039	0.7	0+051	0
0+027	-0.3	0+039	0.7	0+051	0.1
0+027	-0.3	0+042	0	0+051	-0.1
0+030	0	0+042	0.2	0+051	-0.1
0+030	0.3	0+042	0.2	0+051	-0.1
0+030	0	0+042	0.1	0+051	-0.3
0+030	0.2	0+042	0.1	0+051	-0.4
0+030	0.1	0+042	0.2	0+054	0
0+030	0.1	0+042	-0.1	0+054	-0.1
0+033	0	0+045	0	0+054	-0.1
0+033	-0.4	0+045	0.5	0+054	-0.4
0+033	-0.7	0+045	0.4	0+054	-0.3
0+036	0	0+045	0.7	0+057	-0.1
0+036	0.1	0+045	0.6	0+057	-0.1
0+036	0	0+045	0.4	0+057	-0.2
0+036	-0.1	0+048	0.8	0+057	-0.4
0+036	-0.4	0+048	0.8	0+057	-0.4
0+036	-0.3	0+048	0.6	0+060	0
0+039	0	0+048	0.6	0+060	0.2
0+039	0.7	0+048	0.5	0+060	0
0+039	0.6	0+048	0.6	0+060	-0.2

La integración de metodologías LiDAR Terrestre con técnicas clásicas a través de un sistema de coordenadas común, ofrece una solución robusta para el monitoreo de estructuras civiles. Además, al contar con información de la estructura gracias al levantamiento LiDAR, es posible verificar zonas de interés de forma puntual en distintos períodos sin la necesidad de realizar un nuevo escaneo de la estructura, con todo el procesamiento y logística que conlleva, en su lugar es posible utilizar la información de referencia generada, para realizar verificaciones puntuales de la estructura, aprovechando técnicas clásicas y obteniendo información comparable de forma rápida y en sitio. De esta forma no solo se mejora la velocidad de detección, sino que optimiza el uso de recursos tecnológicos y humanos, brindando además un mayor control de lo que sucede en la estructura y facilitando el manejo de la información en la gestión de proyectos similares.

Conclusiones

Luego de analizar la información obtenida a través de ambas metodologías, en donde se evidencia la similitud entre las mediciones de verticalidad y tomando en cuenta que el instrumental utilizado en la metodología topográfica convencional cuenta con una precisión angular y de Medición Electromagnética de Distancias (MED) superior a la de un LiDAR Terrestre convencional, validando los datos recopilados por esta última elevando el nivel de confianza en esta metodología.

Dada la gran cantidad de información obtenida mediante la metodología LiDAR Terrestre, la cual debe ser procesada y requiere en gran medida software especializado, es más adecuado utilizar la metodología para crear una superficie de comparación de la zona de estudio y exportarla a un formato asequible y manejable, en plataformas con las que el usuario final cuente, manteniendo una debida referenciación, para así utilizarla en conjunto con los métodos clásicos para obtener información de forma rápida y precisa, para la comparación con el modelo de referencia.

Al aplicar la integración de las metodologías propuestas, es posible crear modelos virtuales de estructuras que requieran estudios similares, ya que la misma es adaptable y ofrece soluciones efectivas para los desafíos que se dan en el control obras. Además, la metodología propuesta brinda la capacidad de identificar desplazamientos de manera eficiente mejorando la planificación a largo plazo en la gestión del proyecto, al reducir costos y brindar herramientas para el monitoreo continuo de estructuras, sin la necesidad de realizar mediciones completas de la misma.

Referencias

- [1] Ca. F. Cordero Calderón, *Auscultación de Obras*. San José, 1999.
- [2] Y. Arrieta Barboza, "Establecimiento de un Sistema de Información Geográfica para el análisis de estabilidad de torres de transmisión eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad. Aplicación práctica: Línea de transmisión Río Macho-San Isidro del General.," 2016.
- [3] J. J. Vila Ortega, Gonzalo Jiménez Cleves, and Julián Garzón Barrero, "Monitoreo y Control Topográfico de Obras," 2012.
- [4] J. L. Rodríguez Torres, "Levantamientos topográficos y geodésicos para el control horizontal y vertical de proyectos civiles para obra de infraestructura," 2015.
- [5] Surveying Committee, *Surveying and Geomatics Engineering: Principles, Technologies, and Applications*, no. 152. American Society of Civil Engineers, 2022. doi: <https://doi.org/10.1061/9780784416037>.
- [6] P. Wolf and C. Ghilani, *Topografía*, 14va ed. México: PEARSON, 2016.

- [7] J. F. Fontes Quintana, "Uso del GPS y Escáner Láser Terrestre en Levantamientos Topográficos," Universidad de Sonora, 2016. [Online]. Available: <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/1801/1/maytorenariveraalvaroantoniol.pdf>
- [8] C. D. Ghilani, *Adjustment Computations Spatial Data Analysis*, Sixth. John Wiley & Sons, Inc., 2018.
- [9] M. R. Chueca Casquedo, J. M. Benito Oterino, R. Caturla Vázquez, M. T. Fernández Pareja, and F. J. Olmedo Delgado, "Topografía I Contenido Teórico 2da Parte," 2009.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.

Herramientas de financiamiento basadas en suelo urbano para una mejor gestión de la planificación territorial

Financing tools based on urban land for better planning management

Karla Barrantes-Chaves¹

Barrantes-Chaves, K. Herramientas de financiamiento basadas en suelo urbano para una mejor gestión de la planificación territorial. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Marzo, 2025. I Congreso Internacional de Gestión de Proyectos (CIGEPRO). Pág. 63-73.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i6.8177>



¹ Escuela de Ingeniería Topográfica, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
karla.barrantes@ucr.ac.cr

Palabras clave

Suelo urbano; recuperación de plusvalías; ordenamiento territorial; planificación urbana.

Resumen

Las herramientas basadas en el incremento de la plusvalía del suelo urbano permiten, a los gobiernos, financiar obra pública con parte del incremento en el valor de la tierra de las propiedades beneficiadas de las inversiones estatales. Este trabajo expone una serie de casos de estudio internacionales en los cuales se han utilizado herramientas de financiamiento de obra pública basados en la captura de plusvalía; los casos expuestos incluyen ciudades en Asia, Norteamérica, Europa, Oceanía y Latinoamérica. Una vez analizados estos ejemplos, se obtiene un panorama general de las posibilidades de utilización de estas herramientas para Costa Rica. La metodología que se utiliza para esta investigación corresponde a una revisión bibliográfica de base de datos arbitradas mediante operadores booleanos con criterios de selección previamente establecidos; posteriormente, la búsqueda se amplía con documentación institucional. El estudio concluye con una reflexión acerca de los desafíos y los aprendizajes derivados en la utilización de este tipo de herramientas para el financiamiento de obra pública y sus posibilidades de aplicación en el contexto costarricense.

Keywords

Urban land; value capture; territorial planning; urban planning.

Abstract

The tools based on value capture allow governments to fund public infrastructure with part of the increase in the land value from properties that benefit from state investments. This paper presents a series of international case studies about public infrastructure financing tools based on value capture. The cases include cities in Asia, North America, Europe, Oceania, and Latin America. After analyzing these examples, an overview of the possibilities for using these tools in Costa Rica is obtained. The methodology used for this work involves a literature review in peer-reviewed databases using Boolean operators with previously established selection criteria. The search is then expanded with institutional documentation. This paper concludes with a reflection on the challenges and lessons learned in using such tools for financing public infrastructure and their potential application in the Costa Rican context.

Introducción

En Latinoamérica, persisten grandes desigualdades espaciales, y una pobreza generalizada en medio de zonas con un abundante desarrollo económico [1]. La configuración de asentamientos informales en la ciudad puede exacerbar las inequidades sociales al limitar el acceso a servicios de calidad, empleo y educación, en este contexto, el valor del suelo urbano incide en las desigualdades espaciales pero, paradójicamente, puede contribuir a reducirlas si se hace una redistribución de cargas y beneficios de la ciudad [1]. En este sentido, la captura de plusvalías urbanas es un compendio de herramientas de ordenamiento territorial que permite, a los gobiernos locales, invertir en obra pública capturando parte del incremento en el valor de la tierra de las propiedades beneficiadas de las inversiones estatales, reduciendo o minimizando los costos para el público [2]; lo anterior obedece a que el incremento en el valor de las propiedades es resultado de una acción del Estado y no a un esfuerzo adicional de las

personas propietarias. Pese a las posibilidades que ofrecen estas herramientas para mejorar la gestión del territorio, en Costa Rica no se han logrado consolidar como un mecanismo efectivo de financiamiento de obra pública.

Las herramientas de captura de plusvalía ya han sido utilizadas en Latinoamérica para financiar obra pública por muchos años, en Colombia, estas herramientas tienen más de 20 años de existir y han financiado obras viales, de renovación urbana, parques, expropiaciones, adquisiciones de terrenos para vivienda social, entre otros [3]. Además, ese país ha implementado instrumentos como la contribución por valorización, planes parciales y reconfiguración predial. Por otra parte, Brasil ha trabajado con los Certificados de Potencial Adicional de Construcción (CEPACs), transferencias de derechos de construcción y la implementación de herramientas de desarrollo urbano orientado al transporte [4].

La presente investigación abre un espacio de reflexión, mediante una revisión bibliográfica de casos de estudio internacionales, acerca de las posibilidades de las herramientas basadas en el suelo urbano como mecanismo de financiamiento de obra pública y sus posibilidades de aplicación para el caso costarricense.

Metodología

Este trabajo se basa, principalmente, en una revisión bibliográfica de bases de datos reconocidas internacionalmente, así como sitios institucionales. Las bases de datos y repositorios consultados fueron los siguientes:

- Scopus
- EBSCO
- Scielo
- Sitios institucionales: Lincoln Institute of Land Policy, INVU, MIVAH

Para obtener la información deseada se construyeron frases booleanas con las palabras clave citadas a continuación unidas por conectores tales como AND, OR.

- Value Capture / recuperación o captura de plusvalías
- Infrastructure / infraestructura
- Latin America / Latinoamérica
- Reparto de cargas y beneficios
- Plan parcial

Además, se valió de elementos para vincular prefijos como, por ejemplo, el símbolo * .

La búsqueda en bases de datos se centró en artículos científicos arbitrados que corresponden a fechas entre 2010 y 2024 escritos en inglés o español. La síntesis de la información se organizó en casos de estudio. El análisis de la información se realizó mediante análisis temático [5], que permite establecer patrones entre los diferentes casos expuestos en la literatura.

La captura de plusvalías más allá del continente americano

La evidencia sugiere que la contribución de una persona dueña de un terreno al incremento en su valor cuando este aumenta por situaciones de localización, es cero [6]. Kim [6] señala 5 grandes dimensiones que vinculan el incremento del valor de la tierra y el ordenamiento territorial:

1. Cuando existe un cambio en la zonificación original de un sitio y se incrementa la plusvalía por ese cambio, la cual se puede recuperar mediante impuestos o contribuciones por mejoras.
2. La empresa desarrolladora financia la infraestructura dado que necesitará tales recursos para una operación exitosa.
3. Por el arrendamiento de tierras estatales, tal es el caso de China y Singapur.
4. Cuando el Estado constituye empresas públicas y es parte del proceso de desarrollo. Mediante la propiedad pública, los beneficios del aumento del valor de la tierra pueden retenerse dentro del sector público (*New Town Development Corporations*, Reino Unido).
5. Mediante el reajuste de tierras, en este caso, las personas propietarias contribuyen con una porción de su terreno al proyecto mayor, que se llamaría ‘Tierra por infraestructura’ [7]. El reajuste de tierras es un instrumento estrechamente ligado a la recuperación de plusvalías y ha sido utilizado en diferentes modalidades en países como Japón, Alemania, Francia, Suecia, Australia, Corea del Sur, Turquía, India, Indonesia, Nepal y Holanda [6].

La captura de este incremento puede obtenerse de diferentes formas, ya sea directa o indirectamente [8]:

- Los instrumentos directos se consideran una redistribución de la riqueza, comúnmente vienen en forma de impuesto y se cobran interdependientemente del momento cuando se hizo la transformación de la regulación urbana. Generalmente, están respaldados por una normativa nacional.
- Los instrumentos indirectos son más pragmáticos y se basan en la compensación de la desarrolladora por los impactos que se van a generar en la comunidad, sin embargo, su aplicación es más sencilla porque se basan en regulación local.

Además de estos instrumentos de captura, Muñoz Gielen *et al.* [8] señalan obligaciones no negociables, si bien la reconfiguración predial es opcional en algunos países y depende de la voluntad de las personas propietarias, en algunos contextos, el Estado obliga a estas personas propietarias a contribuir con la reconfiguración predial. Por ejemplo, la legislación española, solicita a la desarrolladora la cesión entre un 5% y el 15% de superficie adicional a la infraestructura que necesitará el proyecto. Lo anterior debido a que la constitución española estipula que la comunidad participará en los beneficios de las políticas urbanísticas de organismos públicos.

En Inglaterra existe una política más discrecional que permite a los gobiernos locales negociar directamente con las desarrolladoras. Si bien, existieron dudas sobre la legitimidad de estas negociaciones dado escrutinio legales realizados en el pasado, en la actualidad los acuerdos de desarrollo son públicos, están disponibles en línea y muchas autoridades han introducido políticas más formales [8]. Este proceso de incremento de la regularización de las políticas culminó con la introducción del ‘Impuesto de la Infraestructura Comunitaria’ [9].

Las herramientas de captura de plusvalías han sido fundamentales en la renovación urbana de algunos países, por ejemplo, cuando terminó la Guerra de Corea, una serie de transformaciones incidieron en el incremento del valor de la tierra en Yeongdong, según Kim [6], estos correspondieron a:

- La nueva infraestructura de transporte que mejoró la accesibilidad del sitio a escala nacional, metropolitana y local (incluyendo nuevos puentes).
- La inversión en infraestructura de servicios, por ejemplo, en energía, suministro de gas, tuberías de agua, hospitales, comisarías, parques, escuelas y mercados.

- Un proyecto de reajuste predial transformó antiguas tierras agrícolas en suelo urbano.

El caso de Yeongdong es sobresaliente dado que los nuevos desarrollos de vivienda fueron financiados en su totalidad con la Herramienta del Reajuste predial.

Otra zona de estudio importante corresponde a las zonas costeras, las cuales, en varios países, han estado asociadas a una creciente presión inmobiliaria, lo que a su vez, ha provocado mucha informalidad en desarrollos residenciales de clase media y media alta, muy diferente a la latinoamericana que se concentra en sectores con mayor pobreza. En países como Francia y Grecia existe una gran demanda por segundas residencias en estos sectores [10]. Para el caso de Grecia, Karadimitriou *et al.* [10] mencionan que existe una alta informalidad debido a numerosas construcciones que se han realizado al margen de los permisos de construcción requeridos por las autoridades locales, como resultado, algunos municipios de la *Athens Riviera* cobran un impuesto a estas construcciones que funciona como un proceso de legalización, sin embargo, estos impuestos no logran compensar las externalidades que estos proyectos propician, tales como la infraestructura necesaria para sus demandas, ni los niveles de congestionamiento que producen.

Entre tanto, para el caso de Francia, en la zona costera del *Vendée* los instrumentos de captura de plusvalías son emitidos por el Gobierno Central y aplicados en el ámbito municipal e intra-municipal; en este sentido, los gobiernos locales tienen un margen de negociación con las empresas desarrolladoras. Pese a que los derechos de desarrollo están fuertemente controlados por un riguroso sistema de normativa territorial local, en aquellas zonas de alta demanda aún existe la informalidad y esto podría obedecer a los altos pagos que se deben efectuar [10].

Para estos dos casos se concluyó que los dos recursos utilizados para reducir la informalidad, tales como las tasas de legalización y los impuestos a la propiedad, no eran suficientes para solventar las necesidades de infraestructura que demandaban estos desarrollos, ni permitía atender posibles emergencias derivadas del cambio climático o emergencias naturales. En zonas costeras, la alta demanda inmobiliaria viene acompañada de más demanda de infraestructura dado los posibles incrementos de visitación, pero, a la vez, el desarrollo constructivo en zonas no aptas, con pendientes pronunciadas y vulnerables a deslizamientos exacerbarían los riesgos provocados por un evento natural, donde, en definitiva, es el Estado quien debe asumir las consecuencias territoriales de esas externalidades.

Para el caso de Vietnam, Yoshino *et al.* [11] analizaron los impactos de la autopista Ha Noi-Thai Nguyen en los pueblos que impacta su recorrido y hallaron un incremento de los ingresos fiscales de las empresas de esas zonas, además, en términos de los ingresos tributarios totales, encontraron que estos se incrementaron significativamente en aquellas provincias afectadas por la autopista en relación con las que no lo están. No obstante, señalan que los gobiernos locales tienen el desafío de cuantificar el impacto de la infraestructura en los ingresos fiscales, dado que están influenciados por muchos factores tanto de tipo natural, como de recursos humanos, el mercado y desarrollo tecnológico.

A pesar de estos retos señalan que, para países en vías de desarrollo, la captura de plusvalías, derivadas de la inversión en infraestructura puede contribuir a reducir las desigualdades sociales. En países como Vietnam, generalmente, las PYMES no están en capacidad de invertir grandes sumas en los corredores beneficiados por las nuevas rutas de transporte, aunque podrían estar en disposición de crear nuevas empresas si pudiesen acceder a algún tipo de subsidio. Yoshino *et al.* [11] sugieren varias líneas para solventar esta situación, una de ellas es que los gobiernos locales, cuyos ingresos globales se han incrementado a raíz de una inversión en infraestructura, generen un fondo que subsidie a las PYMES; otra línea de acción sería crear un esquema que permita capturar la plusvalía que van a generar los corredores de las

rutas de nueva infraestructura, mediante el establecimiento de un sistema para involucrar a quienes estén localizados en esa zona de influencia directa, de modo que los gobiernos locales tengan ingresos frescos provenientes de esos propietarios.

Una síntesis de estos instrumentos internacionales la exponente Furtado y Acosta [12] quienes enumeran los *Business Improvement District (BID)*, que corresponde a asociaciones público-privadas, muy populares en Estados Unidos y Canadá en donde personas propietarias, comerciantes y representantes de la comunidad integran una asociación sin fines de lucro y buscan obtener recursos para revitalizar una zona deteriorada; las autoras [12] también señalan las tasas o contribuciones correspondientes al desarrollo de la tierra (conocidas como *exactions*), que pueden cobrarse tanto de manera financiera como en especie, donde promotores aportan tierra o contribuyen con la construcción de infraestructura o equipamiento y se vinculan especialmente a la creación de nuevo suelo urbano, en este instrumento se puede incluir, además, las tasas por impacto que, básicamente, incluyen a los sectores impactados por el proyecto.

Furtado y Acosta [12] además mencionan el instrumento *Inclusionary Zoning* que se efectúa en proyectos residenciales nuevos, en los cuales se debe destinar un porcentaje de las nuevas unidades a personas de ingresos bajos y medios, a cambio, la empresa desarrolladora puede adquirir un bono para incrementar su densidad. Los *Special assessments*, por otra parte, corresponden a una especie de contribuciones especiales que las mismas personas beneficiarias aportan cuando requieren un servicio especial y se financian mediante la emisión de títulos cuya deuda se financia con el impuesto predial.

Otra herramienta que mencionan es el *Tax increment financing (TIF)* que se ha utilizado desde 1950 en los Estados Unidos y busca financiar obras de mejoramiento urbano mediante la posposición de un monto adicional del impuesto territorial, de esta forma el impuesto predial durante el desarrollo de la obra permanece ‘congelado’, pero una vez concluido el desarrollo se realiza un nuevo avalúo y el excedente por el incremento de la plusvalía se cobra con un incremento al impuesto territorial y va a un fondo especial que permite apoyar el desarrollo del proyecto.

La captura de plusvalía en Latinoamérica

La aplicación de instrumentos de recuperación de plusvalías en Latinoamérica se ha vinculado al financiamiento de infraestructura. De modo que estas herramientas buscan recuperar los costos de la inversión en obra pública y se catalogan como una contribución que se destina a un fin específico con una recaudación fiscal [12]. Como se ha señalado en este trabajo, en los países de la región muchas veces se generan incrementos en el valor de la tierra inmerecidos por las personas propietarias -dado que no han hecho ningún esfuerzo para adquirir ese incremento-, estos se pueden dar a partir de la inversión del Estado en obra pública, así como por cambios en la normativa urbana, por ejemplo, cuando un suelo de transforma de rural a urbano [13].

En ese sentido, Colombia, mediante la Ley No. 388 establece hechos generadores que propician la captura de plusvalías e involucran los planes de ordenamiento territorial, estos son: la transformación de suelo rural a suelo urbano, la modificación de una zonificación de usos del suelo y la autorización de un mayor aprovechamiento del suelo en edificación (mayor densidad). Además, se puede incorporar la ejecución de obras públicas que hayan dado lugar a valorización. En este sentido, los motivos señalados en la legislación colombiana coinciden con los expuestos para el caso de Corea [6]. A continuación, se sintetizan algunos de estos instrumentos para Latinoamérica:

Contribución por valorización o contribución por mejoras

La contribución por mejoras consiste en un prorrato de un proyecto de infraestructura de manera que quienes obtienen un mayor beneficio hacen mayores aportes económicos [14]. Esta distribución permite una mayor participación de personas y desarrolladoras que desean dar un seguimiento a la obra, tiene la ventaja, además, que puede darse un inicio rápido de las obras, dado que permite reducir los procesos burocráticos, así, las personas contribuyentes pagan según su capacidad y expanden el portafolio de infraestructura del gobierno local; esta herramienta ha sido aplicada en muchos países latinoamericanos especialmente en Colombia, Brasil, Argentina, Perú, Ecuador, Guatemala y México. [14].

Un ejemplo de su aplicación puede ser la construcción de un nuevo parque, el cual tendría un beneficio directo sobre las viviendas colindantes y su impacto sobre otros residentes podría diferenciarse a razón de una mayor distancia del sitio. En la contribución por mejoras cada una de las personas contribuyentes aportan según su nivel de beneficio. Pese a que, en la mayoría de países de Latinoamérica, existen mecanismos legales para su aplicación, este instrumento aún tiene un rol incipiente en las finanzas locales y representa menos del 1% de los ingresos municipales [13]. Un caso destacable es Cuenca en Ecuador, donde este municipio logró que menos del 90% de los hogares realizaran sus contribuciones en menos de cuatro años y que el 95% de obras recaudaran 60% de contribuciones por mejoras, el caso del Parque de la Madre en esa localidad logró finanziarse con aproximadamente \$5 millones de contribuciones por mejoras [13].

Reconfiguración predial

Este tipo de herramienta se aplica cuando existe una configuración desordenada de lotes que pertenecen a diferentes personas, de modo que se hace complejo llegar a un acuerdo para realizar un desarrollo urbano con un interés común [13]. La reconfiguración predial basa la recuperación de plusvalías en aportes en especie, por lo tanto, las personas propietarias permiten que su lote, mediante un plan parcial, sea utilizado por una entidad que se encarga de desarrollar un proyecto así, una vez concluida la obra, estos propietarios participan en el reparto de los beneficios, esto es lo que se conoce como reparto de cargas y beneficios, de esta forma, el valor inicial de la propiedad se revaloriza, sin embargo, existe el riesgo de una disminución en el tamaño original del predio, debido a que la tierra fue necesaria para la creación de áreas verdes o calles [15], pese a esto, el valor final de la propiedad se incrementa debido a la inversión en estas nuevas obras de infraestructura; este concepto de reajuste de tierras ha sido ampliamente usado además en Japón y Corea [13].

El plan parcial es una figura ampliamente usada en la legislación, según Maldonado Copello *et al.* [16], es el instrumento más significativo del sistema urbano colombiano, dado que representa una articulación entre la planificación urbana y la gestión del suelo, según la Ley 388 de Colombia:

Los planes parciales son los instrumentos mediante los cuales se desarrollan y complementan las disposiciones de los planes de ordenamiento, para áreas determinadas del suelo urbano y para las áreas incluidas en el suelo de expansión urbana, además de las que deban desarrollarse mediante unidades de actuación urbanística, macroproyectos u otras operaciones urbanas especiales [17]

El plan parcial debe contener la delimitación y características del área que se va a intervenir, así como los objetivos que busca el proceso, por ejemplo: mejoramiento del espacio público, renovación urbana, reajuste de tierras, así como mecanismos de reparto de cargas y beneficios, aprovechamiento de inmuebles o expansión urbana. También, debe indicar los parámetros urbanísticos, como intensidades de ocupación y usos del suelo, el trazado, vías proyectadas y

tratamiento del espacio público. En los planes parciales es fundamental indicar el procedimiento para captar las plusvalías, estos planes pueden ser propuestos ante la autoridad municipal por entidades o personas del sujeto privado interesadas en la zona por intervenir, siempre y cuando no contradigan la normativa de ordenamiento territorial vigente [17].

Concesión onerosa al derecho a construir (OODC)

Este instrumento se originó en Brasil y sus siglas corresponden a su nombre en portugués *Outorga Onerosa do Direito de Construir (OODC)*. El OODC da potestad al gobierno local de otorgar licencias de construcción por encima del coeficiente mínimo establecido, pero con la condición de que se realice una compensación de la desarrolladora o personas propietarias [13]. Este concepto también se conoce como 'suelo creado', donde la municipalidad puede crear, por ejemplo, pisos adicionales (alturas mayores, coeficientes de construcción más elevados). Lo anterior bajo la lógica de que un desarrollo que sobrepasa los valores establecidos va a requerir una mayor demanda de los servicios de la ciudad, tales como servicios públicos e infraestructura. Este instrumento se utiliza en ciudades como Blumenau, Curitiba, Porto Alegre, Salvador y São Luis [18].

Certificados de Potencial Adicional de Construcción (CEPACs)

Los CEPACs consisten en certificados que permiten un incremento en la densidad o capacidad de construcción. Los CEPACs se crearon a raíz de la complejidad operativa de llevar a cabo los avalúos para determinar las herramientas que establezcan el valor equivalente de un derecho adicional de construcción, asimismo, los CEPACs corresponden a una herramienta creativa donde el valor de estos certificados está dado por la demanda, dado que se subastan y su valor está en función de las desarrolladoras que estén dispuestas a pagar u ofrecer según las condiciones del mercado [13]. La primicia es que el aumento en el potencial constructivo no debe ofrecerse de forma gratuita por el municipio, sino que debe ser subastado entre quienes tengan intenciones de aprovechar los beneficios que tal potencial traerá en el futuro [13]. Para el caso de São Paulo, los CEPACs se subastan en la bolsa de valores, de esta forma, cuando se busca construir por encima del límite establecido, es necesario contar con CEPACs para poder llevar a cabo esta operación, generalmente, es necesario un CEPAC por cada metro cuadrado adicional, el caso más exitoso de su utilización ha sido São Paulo, pero se han aplicado, también, en Río de Janeiro y Curitiba.

Derechos de transferencia de construcción (TDC)

Consiste en una autorización por parte del municipio para quienes no son capaces de aprovechar el potencial constructivo de su terreno, por ejemplo, en caso de inmuebles de valor histórico, muchas veces no pueden hacer uso del máximo de alturas permitidas o densidad dado que deben conservar el inmueble. Los TDC permiten transferir ese derecho a otro propietario que pueda recibir el potencial constructivo y ejecutarlo [12], esta transferencia se puede realizar mediando ya sea títulos valores o el mecanismo que permita dicha operación según las normas urbanísticas [12]. Este instrumento ha sido usado en Estados Unidos, Brasil, Colombia y México que lo han aplicado para la conservación de centro históricos [12].

Posibles aplicaciones en el contexto costarricense

Costa Rica aún enfrenta retos para implementar estas herramientas en la normativa de ordenamiento territorial, sin embargo, existe posibilidad de integrarlas como parte de los planes reguladores o bien utilizar la normativa supletoria dictada por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). Tanto Brasil como Colombia llevaron a cabo reformas constitucionales

que han permitido otorgarle una función social a la propiedad privada [4], lo que ha facultado mediante mandato constitucional el cobro del Estado de las plusvalías generadas por la acción urbanística [12].

En el contexto costarricense, la Sala Constitucional ha emitido una interpretación evolutiva referente a la función social de la propiedad, la cual introduce limitaciones a la propiedad privada mediante la sentencia 4205-96 [19]. Sin embargo, una reforma constitucional permitiría consolidar la función social de la propiedad y ampliar el rango de operaciones urbanísticas que beneficiarían a la colectividad [4]. A pesar de algunas limitaciones, en este sentido, Costa Rica cuenta con herramientas que se pueden instrumentalizar en los planes reguladores cantonales e incluso es posible utilizar la normativa supletoria emitida por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU).

Entre la normativa vigente en Costa Rica y que todos los gobiernos locales pueden implementar están [15]:

- Ley No. 4240 Planificación Urbana (1968). En el artículo 70 establece el marco normativo para aplicar las contribuciones especiales.
- Reglamento de Renovación Urbana (2017). En este reglamento incorpora los siguientes instrumentos que son posibles de aplicar mediante la creación de planes proyecto:
 - Concesión de mayor edificabilidad por inversión en espacio público.
 - Reajuste de terrenos
 - Reparto de cargas y beneficios
 - Sociedades de economía mixta para la renovación urbana
 - Contribuciones especiales

En caso de que el Reglamento de Renovación Urbana tenga una vigencia limitada, sus normativa puede replicarse en los Reglamentos de Renovación Urbana de los respectivos planes reguladores cantonales.

- Reglamento de Fraccionamiento y Urbanizaciones (2020). Este reglamento ofrece un marco normativo genérico que facilita la reunión de fincas.

Estas herramientas se pueden complementar con otras alternativas innovadoras como Estrategia de Renovación Urbana Sostenible Verde y Azul (ERUS) gestionada por TEVU que busca promover acciones para la adaptación al cambio climático en los procesos de renovación urbana [23].

Pese a que la Ley de Planificación Urbana contempla, desde 1968, las Contribuciones Especiales, este instrumento difícilmente ha sido aprovechado por los gobiernos locales. La actualización normativa que el INVU llevó a cabo a partir del año 2017 abre una ventana de posibilidades que permite a los municipios contar con marcos generales para instrumentalizar de forma más detallada sus planes reguladores; a falta de estos, los municipios pueden generar planes de proyecto de renovación urbana, los cuales deben contar con el visto bueno de la Dirección de Urbanismo del INVU y del MOPT (según el tipo de intervención) para luego ser aprobados por el Concejo Municipal.

Existen municipios, como el de Montes de Oca, en donde herramientas como los derechos de transferencia de construcción se incorporaron en su *Plan Regulador* desde el 2007, con el propósito de servir de incentivo para conservar edificios patrimoniales, no obstante, se ha dificultado su aplicación, lo que podría estar vinculado a una necesidad de instrumentalizar el proceso de traspaso y valuación de los derechos por transferir [15].

Conclusiones

Las herramientas basadas en suelo urbano y la implementación de instrumentos de recuperación de plusvalías tienen una larga trayectoria como aliados en el financiamiento de obra pública a nivel mundial. Algunas de ellas se basan en alianzas que involucran al Estado, la empresa privada y la comunidad; estos métodos de captación van desde el establecimiento de impuestos, tasas o bien mecanismos de compensación.

En Costa Rica, desde 1968 la *Ley de Planificación Urbana* creó las contribuciones especiales, pese a que su uso ha sido incipiente, estas herramientas podrían contribuir a financiar obra pública y ayudar a reducir las desigualdades espaciales. Para el caso de las zonas costeras y sitios vulnerables ambientalmente, estos mecanismos podrían, inclusive, ayudar a mitigar los efectos del cambio climático y permitir a cantones costeros gozar de un retorno y redistribución más justa de los ingresos por concepto de la acción inmobiliaria, que permitiera una mejora de la infraestructura para estas comunidades. Si bien, Ley de Planificación urbana contempla un valioso instrumento como las contribuciones especiales, podría considerarse una reforma que amplie el margen de utilización de más herramientas como es el caso del ‘Suelo creado’, de modo que las municipalidades puedan instrumentalizarlos mejor con sus planes reguladores.

En el ámbito local las municipalidades costarricenses aún tienen el desafío de instrumentalizar estas herramientas para ejecutarlas de forma clara y eficiente, estos instrumentos tienen como eje vertebral los procesos de renovación urbana. La creación del *Reglamento de Renovación Urbana* en el año 2017 [21] permite a aquellas municipalidades sin un plan regulador crear “planes proyecto de renovación urbana” y realizar intervenciones utilizando algunos instrumentos de recuperación de plusvalías permitidos dentro del marco normativo costarricense. A nivel nacional, es fundamental la articulación de los grandes proyectos de infraestructura con la normativa local, en los cuales, además, se incorporen estrategias como el *Desarrollo Orientado al Transporte* (DOT) [24] que organiza el desarrollo urbano con actividades residenciales, diferentes usos del suelo, alta densidad, distancias a pie y transporte público. Estas iniciativas no solo requieren de instrumentos de planificación urbana actualizados, sino, también, de coordinación institucional que facilite la ejecución de las obras, asimismo, la transferencia de conocimiento desde y hacia la academia es fundamental, esto permite una gestión del territorio y ejecución de proyectos de infraestructura que se nutren de la ciencia y, a su vez, generan retroalimentación para investigaciones y formación de profesionales.

Referencias

- [1] Lincoln Institute of Land Policy, “América Latina y el Caribe”. Consultado: el 1 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.lincolninst.edu/es/nuestro-trabajo/america-latina-caribe/>
- [2] K. Kresse, M. Kang, S.-I. Kim, y E. Van Der Krabben, “Value capture ideals and practice-Development stages and the evolution of value capture policies”, *Cities*, vol. 106, 2020, doi: 10.1016/j.cities.2020.102861.
- [3] Y. C. Ortiz, “Value capture instruments: Evolution of the participation in land value increments in Colombia 1997-2017”, *Investigaciones Regionales*, núm. 51, pp. 167–187, 2021, doi: 10.38191/IIRR-JORR.21.024.
- [4] K. Barrantes Chaves, “Lecciones aprendidas de casos latinoamericanos en la gestión del territorio y contexto costarricense”, 2015, Consultado: el 31 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/620>
- [5] V. Braun y V. Clarke, “Using thematic analysis in psychology”, *Qual Res Psychol*, vol. 3, núm. 2, pp. 77–101, 2006, doi: 10.1191/1478088706qp063oa.
- [6] H. M. Kim, “Land value uplift for infrastructure in land readjustment: a case study of Yeongdong (Gangnam) in Seoul, South Korea”, *International Development Planning Review*, vol. 46, núm. 2, pp. 199–226, abr. 2024, doi: 10.3828/IDPR.2023.7.

- [7] T. B. Nguyen, E. van der Krabben, C. Musil, y D. A. Le, “‘Land for infrastructure’ in Ho Chi Minh City: land-based financing of transportation improvement”, *Int Plan Stud*, vol. 23, núm. 3, pp. 310–326, jul. 2018, doi: 10.1080/13563475.2018.1477581.
- [8] D. Muñoz Gielen, I. Maguregui Salas, y J. Burón Cuadrado, “International comparison of the changing dynamics of governance approaches to land development and their results for public value capture”, *Cities*, vol. 71, pp. 123–134, nov. 2017, doi: 10.1016/J.CITIES.2017.05.012.
- [9] T. Crook, “Numbers, Norms, and Opinions: Death and the Measurement of Progress”, *Governing Systems*, pp. 63–105, ene. 2016, doi: 10.1525/CALIFORNIA/9780520290341.003.0003.
- [10] N. Karadimitriou, S. Guelton, A. Pagonis, y S. Sousa, “Public Value Capture, Climate Change, and the ‘Infrastructure Gap’ in Coastal Development: Examining Evidence from France and Greece”, *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, núm. 12, 2022, doi: 10.3390/su14127019.
- [11] N. Yoshino, M. Abe, y H. T. Truong, “Enhancing private infrastructure financing through capturing spillover effect: Conceptual development and an empirical case study of Vietnam’s expressways”, *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, vol. 8, núm. 5, 2024, doi: 10.24294/jipd.v8i5.3100.
- [12] F. Furtado y C. Acosta, “Recuperación de plusvalías urbanas en Brasil, Colombia y otros países de América Latina - Lincoln Institute of Land Policy”, 2020. Consultado: el 22 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.lincolninst.edu/publications/working-papers/recuperacion-plusvalias-urbanas-en-brasil-colombia-otros-paises-0/>
- [13] M. Smolka, *Implementación de la Recuperación de Plusvalías en América Latina*. Lincoln Institute of Land Policy, 2013. Consultado: el 22 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://go.lincolninst.edu/l/153411/2022-11-02/pqbzmm/153411/1667434217TADSdsS6/implementacion_recuperacion_de_plusvalias_full_0.pdf
- [14] O. Borrero-Ochoa y J. Rojas-Ruiz, *Contribución de mejoras en América Latina*. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy, 2020. Consultado: el 23 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.lincolninst.edu/app/uploads/legacy-files/pubfiles/contribucion-mejoras-america-latina-full_0.pdf
- [15] K. Barrantes-Chaves, “Recuperación de plusvalías urbanas como oportunidad para financiar obra pública, incidencia desde la ingeniería topográfica”, San José: Colegio de Ingenieros Topógrafos, 2024.
- [16] M. Mercedes *et al.*, *Planes parciales, gestión asociada y mecanismos de distribución equitativa de cargas y beneficios en el sistema urbanístico colombiano: Marco jurídico, conceptos básicos y alternativas de aplicación*. Lincoln Institute of Land Policy, 2006.
- [17] Gobierno de la República de Colombia, *Ley 388*. Colombia, 1997.
- [18] F. Furtado, V. Rezende, T. Oliveira, y P. Jorgensen, “Sale of Building Rights - Lincoln Institute of Land Policy”, 2010. Consultado: el 23 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.lincolninst.edu/publications/working-papers/sale-building-rights/>
- [19] D. Ávila Bolaños, “Planes reguladores locales y limitaciones al derecho de propiedad”, San José, C.R., 2011.
- [20] INVU, *Ley № 4240 Planificación Urbana*. San José: Asamblea Legislativa, 1968. Consultado: el 23 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: www.invu.go.cr
- [21] INVU, *Reglamento de Renovación Urbana*. San José: Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU), 2017. Consultado: el 23 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.invu.go.cr/documents/20181/32857/Reglamento+de+Renovaci%C3%B3n+Urbana>
- [22] INVU, *Reglamento de Fraccionamiento y Urbanizaciones*. San José, 2020. Consultado: el 23 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.invu.go.cr/documents/20181/32857/Reglamento+Ilustrado+de+Fraccionamiento+y+Urbanizaciones>
- [23] S. Valentini Núñez, “ERUS: una herramienta de desarrollo urbano sostenible”, *Ambientico*, núm. 290, pp. 45–56, 2024, Consultado: el 8 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: www.ambientico.una.ac.cr
- [24] P. Calthorpe, *The next american metropolis: ecology, community, and the american dream*. New York, New York: New York, New York : Princeton Architectural Press, 1993.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.

Desafíos de la gestión del agua en proyectos de obra: Una mirada para Costa Rica

Water management challenges in construction projects: A look at Costa Rica

Nidia Cruz-Zúñiga¹

Cruz-Zúñiga, N. Desafíos de la gestión del agua en proyectos de obra: una mirada para Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° especial. Marzo, 2025. I Congreso Internacional de Gestión de Proyectos (CIGEPRO). Pág. 74-82.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i6.8178>

¹ Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Civil. San Pedro Montes de Oca. Costa Rica.
nidia.cruz@ucr.ac.cr
<https://orcid.org/0000-0002-4416-0626>





Palabras clave

Gestión ambiental; gestión del agua; buenas prácticas; construcción; huella de agua.

Resumen

El recurso hídrico es muy valioso y cada vez más escaso en el mundo. Existe una gran presión para dotar a la población en general del agua que se requiere para todas sus actividades y, en particular, en el sector construcción la demanda es alta y poco flexible. En el presente artículo se expone una síntesis de algunas investigaciones realizadas con estudiantes de grado respecto al panorama del consumo y la gestión del agua en proyectos de construcción de obra civil en el país. Si bien, los resultados que se presentan no corresponden a una muestra estadísticamente representativa del sector, permiten reflejar algunos de los principales desafíos que enfrentan. Los hallazgos han permitido evidenciar como, en la mayoría de los casos analizados, los patrones de uso del agua no cumplen con criterios de sostenibilidad y, en particular, el consumo directo parece tener un comportamiento lineal que responde más al tiempo que dura la obra que a las necesidades reales del recurso. Se evidenció que, aunque existe conciencia de la importancia de ahorrar agua, no es una prioridad ejecutar medidas concretas para lograrlo. La percepción de los profesionales y técnicos que trabajan en construcción parece indicar que el tema es relevante, pero ellos mismos reconocen una falta de conciencia y una inercia difícil de cambiar en la obra. Se concluye que, si en el sector construcción se quieren propiciar prácticas de sostenibilidad para el recurso hídrico, es necesario realizar un arduo trabajo para cambiar la cultura, las costumbres y los hábitos de consumo desde diferentes aristas y con diferentes actores clave.

Keywords

Environmental management; water management; good practices; construction; water footprint.

Abstract

Water is a very valuable resource and is becoming increasingly scarce in the world. There is great pressure to provide the general population with the water required for all its activities, and in the construction sector in particular the demand is high and inflexible. This article presents a summary of some research carried out with undergraduate students regarding the panorama of water consumption and management in civil engineering construction projects in the country. The results presented do not correspond to a statistical sample, but they allow us to reflect some of the main challenges that the sector faces. The results have shown how water use patterns do not meet sustainability criteria in most of the cases analyzed, and in particular consumption seems to have a linear behavior that responds more to the duration of the work than to the real needs of the resource. It is evident that, although there is awareness of the importance of saving water, it is not a priority to implement concrete measures to achieve it. The perception of professionals and technicians who work in construction seems to indicate that the issue is relevant, but they themselves show a lack of awareness and an inertia that is difficult to change in the work. It is concluded that if the construction sector wants to promote sustainable practices for water resources, hard work is required to change the culture, customs and consumption habits from different angles and different stakeholders.

Introducción

Los recursos hídricos se encuentran en riesgo debido al aumento del consumo de agua derivado de diferentes actividades humanas, lo que puede desencadenar un déficit de hasta el 40 % entre la demanda de agua y el agua disponible en el nivel mundial para el año 2030 [1]. En comparación con otras regiones del mundo, los países de América Latina y el Caribe cuentan con una importante dotación del recurso hídrico; a pesar de ello, alrededor de 150 millones de personas viven en áreas con gran escasez de agua, [1]. Esta región también presenta deficiencias en el establecimiento de políticas que promuevan el uso sostenible del agua, lo que dificulta el desarrollo de la cultura del ahorro y la conciencia acerca del impacto al agua.

El uso general de materia prima se ha triplicado en los últimos 40 años, siendo la industria de la construcción la que domina el crecimiento en la extracción global de materiales [2]. Cada material de construcción debe ser extraído, procesado y transportado a su lugar de uso, por lo que se considera que, además de los recursos que los componen, estos materiales tienen asociadas importantes cantidades de energía, agua y dióxido de carbono emitido, necesarios para su producción y transporte. El sector de la construcción es responsable del 16 % del consumo mundial de agua [3]. Otras fuentes indican que la construcción, particularmente de edificios, es directamente responsable de alrededor del 12% del consumo mundial de agua, que se consume a través de la producción de materiales, la construcción misma y otros procesos de apoyo [4]. A pesar de la creciente necesidad de que el sector de la construcción adopte principios de sostenibilidad en sus operaciones, la gestión del agua sigue siendo un área descuidada [5]. El Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 aspira a que, para el 2030, se aumente considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores, que se asegure la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce y que se reduzca el número de personas que sufren falta de agua [6].

En Costa Rica se han venido implementando cambios y adaptaciones en la gestión ambiental de los proyectos de construcción y, en particular, en lo referente al uso del recurso hídrico. Según el Informe Estado de la Nación, en el país se aprovecha eficazmente el recurso hídrico, pero no se logran controlar los impactos negativos de su uso intensivo en distintos sectores de la industria productiva [7]. Tanto la Cámara Costarricense de la Construcción [8] como el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos [9] han desarrollado guías y programas que propician un uso eficiente del agua en la industria de la construcción. A pesar de los esfuerzos, el panorama del consumo nacional sigue en aumento, y los problemas por falta del recurso quedan en evidencia con situaciones de racionamiento y desabasto cada vez más graves y frecuentes.

En la construcción sostenible es de suma importancia la combinación de los principios ecológicos, que promuevan el control de los recursos disponibles durante la construcción, reducir el consumo de recursos, conservar la biodiversidad y mantener un ambiente de calidad y saludable [10]. Diversos autores, como Kiberth [11], han señalado que el uso del agua se constituye como uno de los principales retos por mejorar en el camino hacia una construcción más sostenible.

Analizar el ciclo de vida de la actividad constructiva (planeación y diseño; obtención de materiales e insumos; construcción; operación y final del ciclo de vida) es clave para entender este desafío en el sector. Es en las primeras fases (planificación y diseño) donde se deberían enfocar los esfuerzos para gestionar mejor los recursos, debido a que es precisamente en estos estadios donde se toman las decisiones que tendrán impacto sobre todas las demás fases del ciclo de vida del proyecto. Aunque diversos programas y certificaciones buscan, entre otros aspectos, mejorar la gestión del agua para impactar en el rendimiento sostenible, parece que estas técnicas no se han aplicado eficazmente debido a la fragmentación y a la escasa

coordinación entre las partes interesadas en la construcción; además, se observa una falta de coherencia y de enfoque holístico a la hora de ayudar a los participantes a aplicar prácticas de construcción sostenible en las distintas fases de un proyecto [12].

Particularmente para Costa Rica, las noticias nacionales manifiestan que la escasez de agua es una problemática que afecta significativamente el desarrollo inmobiliario [13]. En ese sentido, durante 2014, alrededor de veintisiete cantones paralizaron por tiempo indefinido obras constructivas a raíz del faltante hídrico. Además, se ha observado, de manera creciente, manifestaciones de la población, tanto a nivel de centros de población como en zonas rurales, en donde reclaman de manera vehemente por la falta de recurso. Lo anterior ha quedado evidenciado en los informes del Estado de la Nación para los años 2023 y 2024, los cuales advierten, entre otros puntos, que existen evidencias de potenciales problemas de disponibilidad hídrica en el país, muchos de ellos en zonas de bajo desarrollo social. [14].

En cuanto al uso y consumo del agua en la construcción, Castillo [17] menciona dos posibles usos, directo e indirecto, y a la vez hace referencia a otros autores que también lo recalcan. A saber, es consumo directo de agua aquellas actividades cuyo uso del recurso sea imprescindible para el proceso constructivo, como en la preparación y el curado del concreto. Para estos casos, la calidad del agua debe ser de preferencia similar a la potable [18]. Por otro lado, es consumo indirecto aquel uso del recurso en actividades que la utilicen como auxiliar, tales como limpieza de materiales o equipos, control de polvo, limpieza de superficies de la obra. En estos casos, se puede utilizar otras fuentes de agua no precisamente potable [17].

La optimización del uso del agua comprende su utilización, conservación y la gestión de calidad; los cuales se puede agrupar en dos conceptos fundamentales: uso eficiente del agua y conservación del agua [18]. Aunque a veces se utilizan indistintamente, la eficiencia y la conservación del uso del agua son en realidad conceptos diferentes. La eficiencia mide la productividad del agua utilizada para fines específicos, mientras que, conservación remite al debate del desarrollo frente a la preservación y, por tanto, no es muy útil para los análisis destinados a identificar mejores opciones de gestión de la demanda de agua [18].

En cuanto a la reducción de pérdidas y residuos, el concepto de eficiencia de agua se apoya en la reutilización, el reciclaje y las fuentes alternativas. Al efecto, se identifican cuatro principios de la eficiencia hídrica: controlar y gestionar, reducir el uso, minimizar el consumo y sustituir el agua potable por agua gris o de lluvia [19]. Las investigaciones que se han realizado en la Universidad de Costa Rica para medir y sopesar el comportamiento del sector construcción en cuanto a la eficiencia y conservación del recurso hídrico, han considerado estos aspectos clave mencionados en la literatura y han sondeado entre los profesionales a cargo de las obras sus prácticas de consumo y por otro lado, han medido en diferentes proyectos el potencial impacto en el sector. Este artículo presenta una síntesis de los principales resultados de dichas investigaciones.

Metodología

El objetivo de la investigación se enmarca en retratar parte de la realidad de la gestión del agua en la construcción en Costa Rica. La investigación se ha realizado mediante varios trabajos finales de graduación de algunos estudiantes de Licenciatura en Ingeniería Civil, de la Universidad de Costa Rica; que han recopilado tanto datos de campo como consultas a profesionales a cargo de los proyectos, con el fin de definir el panorama del agua en la construcción. Las consultas realizadas contemplaron encuestas cerradas estructuradas dirigidas a representantes del sector construcción. La muestra alcanza las 30 personas del sector técnico profesional, mediante un sondeo a conveniencia, donde se mandó el link de la consulta de forma abierta a diferentes bases de datos de profesionales en el área con las que cuenta la Escuela de Ingeniería Civil,

y se esperó respuestas según la anuencia de cada persona. La composición de la muestra alcanzada reflejó que el 60% tienen el grado de licenciatura, 50% en ingeniería civil, seguido por 43.3% de ingeniería en construcción. La muestra contempló 60% de personas que indican trabajar en la GAM y 40% fuera de esta área. De la muestra obtenida, 20% son mujeres, lo que puede concordar con la realidad de la población trabajadora en el ámbito. Esta consulta es parte del trabajo realizado por Corrales [20].

Para la parte de las mediciones en campo se sintetizan los resultados de Mora [21], Mora y Cruz [22] y Castillo [15], quienes realizaron mediciones directas en campo del consumo de agua en diferentes proyectos durante la fase de construcción. Con los resultados de estos trabajos se buscó en el presente artículo realizar una comparación entre las percepciones que los profesionales tienen respecto a sus prácticas en campo y lo que se observó directamente en los proyectos. Aunque no se tienen muestras estadísticamente representativas del país, estos análisis dan una primera perspectiva de la situación con miras a profundizar las investigaciones y a plantear acciones en colaboración con el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) para incentivar, aún más, la sostenibilidad del recurso hídrico en el sector.

Resultados y discusión

El primer gran hallazgo que las diferentes investigaciones lograron aclarar es que no hay forma de mejorar la gestión de un recurso que no se mide detalladamente y que no se relaciona con cada actividad constructiva en términos de la cantidad del recurso que se consume. Tal como indicó Castillo [15] es necesario iniciar con un control adecuado de los consumos en obra, tanto directos como indirectos, y un registro detallado por consumo no solo por día, sino por avance en la obra y por volumen de otros materiales colocados -que requieran consumo de agua para sus procesos-. Esto fue luego reforzado en las investigaciones de Mora y Cruz [22], donde se evidenció, al cuantificar los consumos directos, como en las 4 obras visitadas y monitoreadas no existía una conciencia adecuada del ahorro del agua y se reflejaba un consumo que no guardaba proporción con las diferentes actividades que se iban realizando, sino que se dependía únicamente del tiempo transcurrido en obra.

En cuanto a los resultados preliminares de Corrales [20], se evidencia como las personas profesionales que están en el campo el día a día reconocen la importancia de la gestión ambiental de los proyectos para minimizar los impactos, pero no lo aplican tal cual. En especial respecto al cuidado del agua, el 40% califica la práctica actual de gestión del recurso como regular, contra solo un 13.3% que la califican como muy buena [20]. También, se ha evidenciado que en obra, la actividad del curado del concreto suele identificarse como la más demandante en agua (33.5% de las personas encuestadas la perciben así) a pesar de ser una acción muy puntual, y entre las mismas personas encuestadas el 29% indicaron que esta actividad del curado es donde más se desperdicia el preciado líquido; mientras que otras actividades más cotidianas como el control de polvo parece no ser tan importante para ellos en cuanto a consumo del recurso pese a que es una actividad que persiste más en el tiempo durante toda la fase de construcción.

En cuanto a la gestión en obra, entre las medidas más eficientes que se destacan está el tema de contar con un plan de manejo del agua, al igual que el tema de la colecta de agua de lluvia (65.5% de las personas así lo perciben). Respecto a las medidas más eficientes y aplicables para mejorar la gestión, la gran mayoría indican que aumentar la conciencia es uno de los puntos clave (79.3%) [20]. Finalmente, las consultas evidencian como muchas de las personas (más del 90%) afirman estar dispuestos a la reutilización del agua no potable, en especial para actividades como control de polvo (40.7%) o cabinas sanitarias (25.9%), pero en campo estas acciones aún se ven poco implementadas según lo observado en los diferentes proyectos

visitados [22]. De esas mismas visitas realizadas se determinó como la mano de obra es un factor crucial para el ahorro del recurso [21], pues muchas de las causas del desperdicio tienen que ver con errores humanos, o malas prácticas fácilmente corregibles. También las mediciones en campo evidenciaron que el consumo del agua tiene un comportamiento lineal, y es proporcional a los días de obra, y no a las actividades que se estén desarrollando [22], [15]. Esto refleja que el agua realmente no está siendo inteligentemente utilizada, sino que hay un abuso de consumo por estar siempre disponible, hasta incluso se puede asociar al relativamente bajo costo del servicio.

Volviendo a los datos de la consulta directa a los profesionales, es importante rescatar que respecto a la actividad que menos consume agua en la obra el 26% indicó que el uso de las cabinas sanitarias; por lo que lo asocian a una buena práctica para ahorro del recurso durante la construcción. Por otro lado, el 41% de los profesionales indicaron que la actividad en la que menos se desperdiciaba el agua era en la elaboración del concreto, pues consideran esta agua fundamental para la actividad y que queda inmersa en la obra, por lo que su uso está, según su apreciación, justificado [20]. Es importante anotar que, de comentarios asociados a estos resultados, se pudo reflejar que los profesionales opinan que el uso del agua para elaboración del concreto debe ser potable. Otro estudio realizado por Solís [24] midió en dos proyectos en construcción que el principal consumo de agua en la construcción se da por la mezcla de concreto, la cual representa en promedio el 54% del total del agua empleada en el proyecto.

En otro estudio realizado por Calderón [23] se indicó que entre los impactos que más miden las empresas constructoras está el consumo de energía (80%), luego el agotamiento de recurso naturales (60%) y, en tercer lugar, el uso del agua (con apenas un 40%). Esto concuerda con los resultados de las otras investigaciones donde se ve como el ahorro del agua no es una prioridad para el gremio de la construcción, aunque si reconocen su relevancia. Este mismo estudio [23], que utiliza una metodología mucho más robusta para evidenciar los impactos ambientales de los proyectos de obra, a través del análisis de ciclo de vida, logra evidenciar como, en términos de consumo de agua, los resultados indican que el uso de ventanerías de aluminio y de rejas de hierro son por mucho las acciones donde mayor consumo de agua se refleja (pues esta metodología contempla toda el agua total consumida para la actividad, incluida el agua de los procesos de explotación minera de esos materiales). Es interesante anotar que, tanto en los resultados de los proyectos medidos en obra, como en la percepción de los profesionales de donde se consume el recurso, en ninguno de los otros estudios se evidencian estos puntos como los de mayor consumo.

Tanto los proyectos de vivienda estudiados [22] como los proyectos de edificaciones verticales [15] reflejaron un comportamiento casi lineal en el patrón de consumo acumulado del agua, que más obedecía a un crecimiento vegetativo del consumo con el tiempo que al tipo de actividad que se estaba ejecutando en las obras. Esto podría evidenciar que no existen prácticas de ahorro que realmente influyan en las diferentes etapas del proyecto, sino que el consumo tiende a ser más o menos similar sin importar el avance que lleva la construcción. Otro hallazgo interesante de las investigaciones realizadas es que el comportamiento de consumo de agua en la obra está predominantemente liderado por el consumo directo (con excepción de la etapa donde se elaboran los cimientos, donde el consumo por concreto es casi similar al consumo directo) [15].

En la literatura [25] existen propuestas sobre el uso de alternativas al agua potable (pueden ser aguas subterráneas no tratadas, aguas pluviales o aguas grises), la reducción del uso mediante medidas de eficiencia mejorada y el empleo de sistemas de reutilización y reciclado. La jerarquía del agua sirve de base para priorizar las estrategias de conservación y evitar el

consumo o despilfarro innecesarios; sin embargo, las consultas evidencias cómo en el país aún se está lejos de que el gremio de la construcción interiorice y practique estas fuentes alternativas de agua en los proyectos [20].

En la literatura también se encuentra evidencia referente a que las actividades indirectas de construcción consumen aproximadamente más de dos tercios de la cantidad de agua utilizada en una obra [26]. Las investigaciones realizadas y citadas en este artículo evidenciaron que, para cuantificar correctamente este consumo, se requieren análisis más robustos que contemplen toda la demanda del recurso hídrico, como el análisis de ciclo de vida utilizado por Calderón [23]; y no solo el consumo directo que se ve en campo. Este enfoque podría ser el punto de partida para reforzar los esfuerzos que el CFIA está realizando para impulsar indicadores más integrales del uso del recurso hídrico en la construcción, como lo es la huella de agua.

Por otro lado, en cuanto a las medidas más comunes, que no se implementaban o se utilizan poco en los casos estudiados y que fácilmente podrían marcar una diferencia significativa estuvieron:

- Reparación de mangueras dañadas
- Colocación de pistolas de agua para control de salida
- Uso de curadores químicos para fraguado de concretos
- Colocación de llaves de paso tipo “push” para regular el caudal, en especial en lavatorios.
- Construcción de baterías de baño con inodoros de bajo consumo
- Conexión lo más rápido posible a la red de alcantarillado sanitario (si existe)

Al consultar a los profesionales entrevistados [20] sobre diferentes medidas que creen más convenientes para reducir el consumo del agua en la obra, en la categoría de política en general, las medidas más gustadas fueron la introducción de un plan de acción sobre el agua (17%), reutilizar el agua de lluvia (17%) y contar con una guía para el ahorro del agua en la construcción (16%). En contraste, el 25% indican que aumentar la tarifa del agua sería irrelevante y 21% indicaron que fomentar las auditorías de agua tampoco sería pertinente. En cuanto a medidas asociadas a la cultura y actitud de los trabajadores del sector, la más relevante (32% de las personas la prefirieron) fue el fomentar una conciencia sobre la importancia del agua; mientras que el 45% piensan que introducir sanciones al personal no sería eficiente. En cuanto a medidas asociadas a tecnología u otras opciones técnicas en la construcción, el 53% de los profesionales opinan que el uso de agentes de curado o aditivos no ayuda con el problema; mientras que 46% indican más bien que es altamente efectivo el uso de estas sustancias, lo que refleja un punto de discordia al respecto. Esto parece estar muy relacionado con las prácticas de cada persona y la experiencia que haya tenido con dichas sustancias, pues las respuestas son poco contundentes en el tema.

Uno de los principales hallazgos de la investigación fue que el 92.9 % de los profesionales encuestados estarían dispuestos a reutilizar agua o a utilizar agua no potable en sus proyectos, si un tercero le garantiza la idoneidad. Al respecto de este punto la autora ha estado realizando más investigaciones asociadas al potencial de aprovechamiento de aguas tratadas para los procesos de producción y curado de concretos, ya que en el país existe poca información aun al respecto.



Conclusiones

Los resultados de las investigaciones que se compilan en el presente artículo han evidenciado la necesidad de trabajar más fuertemente en políticas e incentivos que propicien una conciencia y efectividad en el ahorro del recurso hídrico en la industria de la construcción. Como se pudo ver, a pesar de que las personas consultadas indican ser conscientes de los impactos al agua de su actividad productiva, los resultados de las visitas de campo y las mediciones en diferentes proyectos evidencian que la conciencia de los profesionales a cargo de las obras no es suficiente para cambiar los patrones de consumo. También se evidenció como el consumo directo es solo una pequeña parte de los múltiples aspectos que impactan al recurso hídrico en la construcción, pero es el más tangible y el que la mayoría de los profesionales entrevistados reconoce. Por lo tanto, para evidenciar los muchos otros aspectos ambientales asociados a la huella de agua de un proyecto, se requiere continuar con más investigaciones que profundicen en la identificación de todas las aristas de este indicador ambiental. Ello permitirá poner a disposición del gremio profesional asociado a la construcción en el país un aporte significativo desde la academia al sector.

Referencias

- [1] Banco Mundial, "Involucrarse más: ¿cómo resguardar los recursos hídricos de América Latina?", 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2023/05/19/involucrarse-mas-como-resguardar-los-recursos-hidricos-de-america-latina#:~:text=La%20mayor%C3%ADa%20de%20los%20pa%C3%ADses,el%20mundo%20ser%C3%A1%20del%2040%25>. [Accedido: 09-jun-2024].
- [2] CEPAL, "La extracción mundial de materiales se triplicó en cuatro décadas y agudiza el cambio climático y la contaminación atmosférica", 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/comunicados/la-extraccion-mundial-materiales-se-triplico-cuatro-decadas-agudiza-cambio-climatico-la>. [Accedido: 09-may-2024].
- [3] Universidad Católica (UC) Santo Toribio de Mogrovejo, "APLICACIONES DEL AGUA EN LA INGENIERÍA CIVIL", Perú, 2014.
- [4] R. H. Crawford y S. Pullen, "Life cycle water analysis of a residential building and its occupants", Building Research & Information, vol. 39, no. 6, pp. 589-602, 2011. <https://doi.org/10.1080/09613218.2011.584212>.
- [5] Y. Xing, "A Framework Model for Assessing Sustainability Impacts of a Built Environment", en International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment, Glasgow, 2007, pp. 1-23. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222666175_A_framework_model_for_assessing_sustainability_impacts_of_urban_development. [Accedido: 09-sep-2023].
- [6] Naciones Unidas (UN), "Objetivo 6 del Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos", Nueva York, EE.UU., 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>. [Accedido: 01-nov-2023].
- [7] Programa Estado de la Nación (PEN), "Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12337/2983>. [Accedido: 29-sep-2023].
- [8] Cámara Costarricense de la Construcción (CCC), "Guía Construcción Sostenible", San José, Costa Rica, 2016.
- [9] Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), "Programa Bandera Azul Ecológico Categoría Construcción Sostenible", San José, Costa Rica, 2017.
- [10] P. Alavedra, J. Domínguez, E. Gonzalo, y J. Serra, La construcción sostenible. El estado de la cuestión, Madrid, España, 2014.
- [11] C. J. Kibert, "Sustainable Construction at the Start of the 21st Century", Int. E-Journal Construction, pp. 1-7, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://www.eurogypsum.org/wp-content/uploads/2015/05/N191.pdf>. [Accedido: 09-may-2023].
- [12] L.-Y. Shen, J. L. Hao, V. W.-Y. Tam, y H. Yao, "A Checklist for Assessing Sustainability Performance of Construction Projects", Journal of Civil Engineering and Management, vol. 13, no. 4, pp. 273-281, 2007. <https://doi.org/10.3846/13923730.2007.9636447>.
- [13] M. Salazar, "Disponibilidad de agua frena permisos de construcción", La República, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.larepublica.net/noticia/disponibilidad_de_agua_frena_permisos_de_construcion_2014-09-22. [Accedido: 08-may-2024].

- [14] Estado de la Nación, “Informe del Estado de la Nación. Capítulo 1. Sinopsis”, 2023. [En línea]. Disponible en: https://estadonacion.or.cr/capitulo/?doc=IEN2023_cap1. [Accedido: 01-sep-2024].
- [15] J. P. Castillo, “Metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris”, Licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2021.
- [16] A. Dubravcic, “Cuantificación del Consumo de Agua en el Proceso Constructivo de Viviendas Unifamiliares Tipo. Estrategias de Minimización”, en 3er Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-Eficientes, Sevilla, España, 2017, pp. 1084-1107.
- [17] V. Valdez, Aplicaciones del agua en Ingeniería Civil. Tecnología de los materiales de construcción, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú, 2014.
- [18] D. B. Brooks, “An operational definition of water demand management”, International Journal of Water Resources Development, vol. 22, no. 4, pp. 521-528, 2006. <https://doi.org/10.1080/07900620600779699>.
- [19] D. J. McNab, M. Lynch, y P. Young, Auditing of water use on construction sites-Phase I, Waste and Resources Action Programme (WRAP), Mabbett & Associates Ltd., 2011.
- [20] B. Corrales, “Diagnóstico de la realidad de uso y consumo de agua en el sector construcción en Costa Rica”, Licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, en proceso.
- [21] A. Mora-González, “Cuantificación de la Huella Hídrica en el proceso constructivo: bases para la elaboración de una Guía Técnica”, Licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ruie.ucr.ac.cr/catalogo/Record/INII-UIR-CD-22057?sid=638758>. [Accedido: 09-jun-2024].
- [22] A. Mora-González y N. Cruz-Zúñiga, “Huella hídrica en el proceso constructivo como indicador de sostenibilidad: un estudio de caso para Costa Rica”, Revista Tecnología En Marcha, vol. 37, no. 2, pp. 36–48, 2024. <https://doi.org/10.18845/tm.v37i2.6684>.
- [23] B. Calderón, “Aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para la estimación de los impactos ambientales de un proyecto de infraestructura educativa”, Licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2024.
- [24] M. Solís, “Metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris”, Licenciatura, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/63ede70a-9a07-4cad-af5a-95cdedf71f82>. [Accedido: 07-sep-2023].
- [25] C. Waylen, J. Thornback, y J. Garrett, “An Action Plan on Reducing Water Usage on Construction Sites”, Strategic Forum for Construction, vol. 3, pp. 6-55, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.constructionleadershipcouncil.co.uk/wp-content/uploads/2021/02/SCTG09-WaterActionPlanFinalCopy.pdf>. [Accedido: 09-sep-2023].
- [26] K. G. A. S. Waidyasekara, L. De Silva, y R. Rameezdeen, “Water use efficiency and conservation during construction: drivers, barriers and practices”, Built Environment Project and Asset Management, vol. 6, no. 5, pp. 553-566, 2016. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-09-2015-0052>.

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Los autores aquí firmantes declaramos que no se utilizó ninguna herramienta de IA para la conceptualización, traducción o redacción de este artículo.