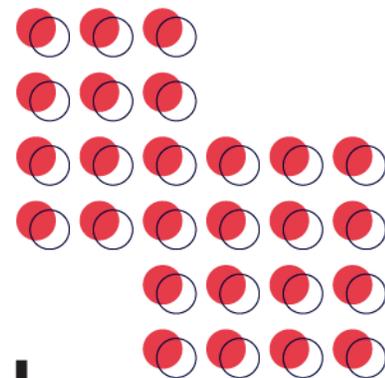




TECNOLOGÍA
en marcha

Revista trimestral
Agosto 2023
Volumen 36
ISSN-E 2215-3241



Número especial

X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos



ET
Editorial Tecnológica
de Costa Rica

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Publicación y directorio en catálogos

latindex

redalyc.org UAEM

Dialnet

melICA

SciELO

REDIB
Red Iberoamericana
de Investigación y Docencia Científica

DOAJ

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

Edición asociada de esta edición

Esteban Arias-Méndez

Revisión filológica

Esperanza Buitrago Poveda

Diseño gráfico

Felipe Abarca Fedullo

Diagramación

Alexa Ramírez Vega

Diseño de cubierta

Ariana Sanabria García

Datos de catalogación en publicación

Tecnología en Marcha / Editorial Tecnológica
de Costa Rica. - Vol. 36, edición especial.
CIIP Agosto, 2023 – Trimestral
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





Revista trimestral
Volumen 36 especial
CIIP. Agosto, 2023
ISSN-E: 2215-3241

TECNOLOGÍA *en marcha*

Contenidos

Presentación	
Presentation	
<i>Enrique Barreda L.</i>	3
Ética, liderazgo y toma de decisiones en la gestión de proyectos	
Ethics, leadership and decision making in project management	
<i>Erick Mata-Abdelhour</i>	5
Metodología de gestión de riesgos para el desarrollo de productos tecnológicos en una empresa multinacional	
Risk management methodology for the development of technological products in a multinational company	
<i>Germán Horacio Rossetti, Oscar Daniel Quiroga</i>	21
Transferencia de conocimiento desde las universidades a las empresas	
Knowledge transfer from universities to companies	
<i>Jorge Henry Betancur-Amariles, Gastón Darío Rodríguez-Santana, Jhon Fredy Garcés-Bolívar</i>	34
Virtualidad en la enseñanza de investigación en la maestría en Gerencia de Proyectos del Tecnológico de Costa Rica	
Virtuality in the teaching of research in the master's degree in Project Management at Tecnológico de Costa Rica	
<i>José Roberto Santamaría-Sandoval</i>	45
Enseñanza del ordenamiento territorial como herramienta en la gestión de proyectos de obra pública	
Teaching spatial planning as a tool in project management for public infrastructure	
<i>Karla Barrantes-Chaves</i>	56
Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción	
Impact of the BIM methodology in the management of construction projects	
<i>Mathias Gómez-Valdés, Stephanny Acevedo-Acevedo, Luis Alvarado-Acuña, Rene Iturra-Molina</i>	66

El monitoreo de la calidad educativa como pilar para la buena Gestión de Proyectos en futuros profesionales en ingeniería

The monitoring of educational quality as a pillar for good Project Management in future engineering professionals

Nidia Cruz-Zúñiga..... 78

Gestión de Residuos en proyectos de construcción de viviendas en Costa Rica: teoría versus práctica

Waste Management in housing construction projects in Costa Rica: theory versus practice

Nidia Cruz-Zúñiga..... 86

Un modelo de gestión de riesgos aplicado a proyectos de movimiento de tierras

A risk management model applied to earthmoving projects

Oscar Rojas-Cazalade, Mauricio Barraza-Osorio, Boris Heredia-Rojas, Juan Huidobro-Arabia..... 96

Presentación

Presentation

Enrique Barreda Lizano¹

Barrera L, E. Presentación. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 3-4.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6867>

¹ Universidad para la Cooperación Internacional. Presidente del Congreso. Costa Rica. Correo electrónico: enrique.barreda.lizano@gmail.com

En el presente número Especial de la revista Tecnología en Marcha se exponen algunos de los principales trabajos presentados en el marco del Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos 2022 (X CIIP – RIIPRO) y seleccionados por el Comité Científico del evento, el cual estuvo conformado por 28 distinguidos profesionales y académicos de 6 países latinoamericanos.

El congreso tuvo como sede la Universidad de Costa Rica, en la ciudad universitaria Rodrigo Facio, fue un esfuerzo conjunto entre la Universidad de Costa Rica mediante la Escuela de Ingeniería Topográfica y Escuela de Ingeniería Civil, el Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica y la Asociación Costarricense de Gestión de Proyectos, en coordinación permanente con la Red Iberoamericana de Ingeniería de Proyectos (RIIPRO).

Este congreso se realizó los pasados días 21, 22 y 23 de setiembre de 2022, y tuvo como objetivo “establecer un espacio de intercambio de experiencias y el fortalecimiento de vínculos entre la academia y el ejercicio profesional de la ingeniería de proyectos en América Latina para propiciar la innovación, la investigación y el desarrollo de metodologías que potencien la aplicación de técnicas ingenieriles y la gestión de proyectos.”

El objetivo del X CIIP fue congruente con el propósito de RIIPRO, cuya finalidad es promover conjuntamente entre las instituciones asociadas la consolidación de programas de cooperación técnica, académica, científica, interinstitucional e internacional para la ingeniería de proyectos, desde la perspectiva de la investigación, la formación y la extensión, todo ello en el vínculo universidad, empresa, estado.

Los artículos que acá se presentan fueron previamente publicados en las memorias del congreso, y corresponden a los siguientes ejes temáticos que tuvo el congreso:

1. 1. Ingeniería de Proyectos. Experiencias, casos y aplicaciones.
2. 2. Metodologías y tecnología en Ingeniería de Proyectos. Ágil, BIM, inteligencia artificial.
3. 3. Gestión de Proyectos. Experiencias, casos y aplicaciones.
4. 4. Habilidades esenciales en la gestión de proyectos
5. 5. Ingeniería de costo en proyectos. Gestión de costos y del financiamiento
6. 6. Ingeniería aplicada en proyectos sociales y ambientales.
7. 7. Oficina de Gestión de Proyectos.
8. 8. Innovación educativa en gestión e ingeniería de proyectos

Los artículos de las ponencias seleccionadas para esta edición especial corresponden a esfuerzos de profesionales de: Costa Rica, Argentina, Chile y Colombia. En el marco de los retos que plantean la revolución tecnológica y la innovación, el X CIIP cumplió con sus objetivos de ser un espacio de intercambio de experiencias y de fortalecimiento de los vínculos entre la academia y el ejercicio profesional de la ingeniería de proyectos en Iberoamérica.

Ética, liderazgo y toma de decisiones en la gestión de proyectos

Ethics, leadership and decision
making in project management

Erick Mata-Abdelnour¹

Mata-Abdelnour, E. Ética, liderazgo y toma de decisiones en la gestión de proyectos. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 5-20.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6855>

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

Palabras clave

Ética; administración de proyectos; toma de decisiones; integración; habilidades blandas en gestión de proyectos; liderazgo.

Resumen

La materia de la ética es un saber amplio, que data de años de desarrollo del pensamiento en la humanidad. Organizaciones que se dedican mundialmente a promover estándares de buenas prácticas en gestión de proyectos, reconocen a la ética como un eje transversal y al pensamiento ético como una habilidad blanda, esencial para la toma de decisiones balanceadas y la construcción del liderazgo del director del proyecto. Este artículo tiene como objetivo responder las preguntas: ¿cómo hablar de ética a las personas ingenieras? y ¿cuáles son los aspectos éticos que son de relevancia y uso frecuente de estas personas, a la hora de formular, diseñar o dirigir proyectos? A través de la revisión bibliográfica de las aplicaciones que han hecho varios autores en materia de ética en la ingeniería, sumada con la experiencia del autor en ámbitos de gestión de proyectos, se construyó un mapa mental de relaciones de conceptos, principios y herramientas del pensamiento ético, y su enlace práctico con los momentos de toma de decisión en el ejercicio de la ingeniería. Se discute el impacto que tiene, el tipo de liderazgo y toma de decisiones del director del proyecto. Se revisa su rol, como administrador de recursos y tomador de decisiones. El mapa ha sido utilizado con éxito en la enseñanza de la ética en Ingeniería Civil, dada su utilidad en casos de estudio de ética en ingeniería. Constituye una vista panorámica, resumida y asociativa de aspectos éticos clave, de interés y de uso frecuente en la carrera.

Keywords

Ethics; project management; decision making; project integration; soft skills in project management; leadership.

Abstract

The subject of ethics is a broad knowledge, dating from many years of development of thought in humanity. Organizations that are dedicated worldwide to promoting standards of good practices in project management, recognize ethics as a transversal axis and ethical thinking as a soft skill, essential for balanced decision making and building the leadership of the project manager. This article aims to answer the questions: how to talk about ethics to engineers? And what are the ethical aspects that are of relevance and frequent use of these people, when formulating, designing or directing projects? Through the bibliographic review of the applications that several authors have made in the field of ethics in engineering, added to the author's experience in project management areas, a *mental map* of relationships of concepts, principles and tools of ethical thinking was built, and its practical link with the moments of decision-making in the exercise of engineering. In the article, the impact that the type of leadership and decision-making style of the project manager, is discussed. The project manager's role as a resource manager and a decision maker is reviewed in this context. The *mental map* has been successfully used in the teaching of ethics in Civil Engineering, given its usefulness in engineering ethics case studies. It constitutes a panoramic, summarized and associative view of key ethical aspects, of interest and frequently used in the career.

Introducción

Organizaciones que promueven cuerpos de conocimiento con estándares de buenas prácticas en gestión de proyectos, como el Project Management Institute, en su Guía PMBOK [12], [13] y en su código de conducta [14], reconocen el pensamiento ético como un eje transversal esencial para facilitar la toma de decisiones balanceadas y construir el liderazgo del director del proyecto, en sus equipos de proyectos.

Los abordajes específicos de la ética a las profesiones modernas, en general, y a la ingeniería, en particular, no son una materia que se haya desarrollado a través de tantos años, como sí se ha desarrollado en otras áreas del saber ético. Por consiguiente, abordar la ética, desde la ingeniería no resulta tarea sencilla, ni es natural para los currículos de ingeniería de las universidades, introducir la ética de manera transversal en la formación de las personas estudiantes, desde el inicio y hasta el final. Discutir de ética en la profesión tampoco es algo que sea natural a los intereses de las personas estudiantes o profesionales, por lo que la captura de su atención en estas temáticas requiere de un gran esfuerzo, altamente creativo por parte de la persona expositora. A fin de cuentas: ¿quién es el más apropiado para desarrollar este tema?: ¿un filósofo que sabe de ingeniería?, ¿o un ingeniero que sepa de ética.

El rol de la persona directora de proyectos es de administrador de recursos, tomador de decisiones y líder de un equipo. Por este motivo, tanto en las etapas iniciales de planificación, como en las etapas de ejecución y cierre, y en todas las áreas de gestión del proyecto [10]: alcance, tiempo, costo, riesgo, adquisiciones, calidad, recursos humanos, comunicaciones, seguridad ocupacional, gestión de interesados, apego a códigos, cuidado del usuario final, etc., la persona directora se beneficia si cuenta con una caja de herramientas de la ética que le permitan afrontar y resolver situaciones, tanto desde la perspectiva técnica, como de la ética. El presente artículo se centra en resolver estas preguntas fundamentales: ¿Cómo hablar de ética a las personas ingenieras? y ¿Cuáles son los aspectos éticos que son de relevancia y uso frecuente de estas personas, a la hora de formular, diseñar o dirigir proyectos?

Metodología

Primera fuente: Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de las aplicaciones de la ética que han hecho varios autores a la materia de la ingeniería y se identificaron los criterios éticos que, de manera coincidente, fueron utilizados por los autores en sus obras. Estos criterios fueron la base para la construcción del mapa mental y serán presentados, de manera resumida, en la sección de Marco Teórico.

Segunda fuente: A la investigación bibliográfica se le sumó la experiencia 21 años del autor en el ámbito del diseño, planificación y gestión de proyectos de construcción de edificaciones comerciales, residenciales y de manufactura; así como 4 años de experiencia como ingeniero laborando en el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. De esta experiencia se rescatan casos de proyectos y momentos de toma de decisión en el ejercicio de la profesión, que se asocian a los conceptos y herramientas éticas, con el fin de identificar aquellos elementos que son más afines a la carrera de la ingeniería.

Tercera fuente: Como tercer componente, se adicionó la vivencia, por parte del autor, junto a dos colegas de cátedra, procedente de impartir docencia de la materia de Ética a personas ingenieras, durante más de 4 semestres en la carrera de la carrera de Ingeniería Civil en una universidad. Como punto de partida, se analizaron las encuestas de los estudiantes que habían llevado el curso en la modalidad original (sin usar el mapa mental ni su aplicación al método de casos de estudio). La información de las encuestas y puntos de vista de las personas estudiantes fue utilizada para identificar las inquietudes y las brechas que debían atenderse.

Como producto de la suma de estas tres fuentes de información mencionadas, se construyó un mapa mental de relaciones de conceptos, teorías y herramientas del pensamiento ético. El mapa no solamente muestra los elementos de la ética más afines a la profesión, sino que también indica su enlace práctico con los momentos de toma de decisión en las actividades que se llevan a cabo en, la Ingeniería Civil.

El objetivo que se buscó, al construir el mapa mental, fue proveer a la persona (ingeniera) que lo utilice con una herramienta que sintetice un universo de conocimientos y herramientas, de tal forma que resultase en una visión: a) panorámica, b) resumida y c) asociativa; de los universos de la Ética y de la Gestión de proyectos o ejercicio profesional de la ingeniería; así como sus puntos de confluencia.

El mapa fue puesto a prueba al redactar (el autor), y posteriormente resolver (las personas estudiantes), 4 casos de estudio de situaciones reales de la ingeniería. El análisis llevado a cabo por los equipos de estudiantes cumplió con los objetivos establecidos en las evaluaciones de los casos. Fue posible observar que se utilizaron apropiadamente los conceptos y relaciones indicados en el mapa. Posteriormente a la aplicación del mapa mental y los casos de estudio en el curso, se analizaron nuevamente las encuestas del curso de los semestres siguientes y se constató que la mayoría de las brechas, que originalmente se habían señalado, habían sido atendidas y que la percepción del curso había cambiado hacia una de un curso más aplicado (con actividades teórico-prácticas) que satisfacía las expectativas de los participantes.

Marco teórico

La construcción del mapa conceptual que se propondrá en este artículo se basa en un marco teórico que comprende cuatro áreas de conocimiento:

1. Ética aplicada a ingeniería
2. Liderazgo
3. Métodos de administración de proyectos
4. Toma de decisiones de carácter técnico y ético

1) Ética aplicada a la Ingeniería

Se consultaron los siguientes autores y abordajes que hacen de Ética, aplicada a la Ingeniería:

- Charles Fledermann [6], Ingeniería Ética (“Ethics Engineering”)
- Ezequiel Chaves y Cuauhtémoc Carbajal [1] Ética para Ingenieros
- Pablo Grech [7] “Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño.”
- Martin, Mike. [10]. Ethics in engineering. Boston. McGraw-Hill

En sus abordajes, los autores presentan diversas teorías éticas y cómo estas se pueden aplicar a casos reales de la ingeniería, que han sido icónicos a nivel mundial y que, debido al nivel de afectación que han causado a personas o al medio ambiente, han generado alto grado de debate entre profesionales de la ingeniería. Por consiguiente, el abordaje utilizado por los autores, para enseñar ética a las personas ingenieras, es a través del método didáctico de estudio y discusión de casos.

La revisión de autores muestra que los casos que relacionan la ética con la ingeniería trascienden aspectos de seguridad de las obras y llegan hasta tocar otros temas de faltas a la ética en momentos clave del ejercicio de la profesión, como lo son casos de sobornos en el otorgamiento de contratos de obra pública o el ocultamiento de información, para favorecer a alguien, a la hora de redactar informes técnicos o carteles de licitación. La ética de los ingenieros afecta cuestiones sociales e incluso decisiones políticas.

Flederman [6] y [1] proponen que existe paralelismo entre el análisis y la propuesta de solución de problemas éticos, y el análisis y propuesta de solución de problemas de diseño en ingeniería. Este paralelismo se basa en las siguientes afirmaciones, entre otras, que son ciertas en ambos campos y que los tornan similares:

- No existe una solución única ni correcta. Solo es posible aportar aproximaciones al problema o soluciones diversas, cada una con sus “pros” y “contras”.
- Existen restricciones de tiempo y recursos y generalmente existen dependencias.
- El comportamiento final de lo que “diseñamos” es complejo y multifactorial y cada caso es único, no es sencillo exportar experiencias de un caso a otro.
- A la hora de tomar la decisión, es imposible contar con el 100% de la información. Siempre hay un cierto grado de incertidumbre asociados a la decisión.
- Ética e Ingeniería buscan mejorar la calidad de vida y prevenir el daño a las personas.
- Ambos, Ética e Ingeniería analizan objetos de estudio que son modelos simplificados de una situación real mucho más compleja.

En cuanto a los principios y criterios éticos que presentan los autores y que indican que son más útiles para las personas que ejercen la profesión de ingeniería, se encontró coincidencia y se pueden citar:

Cuadro 1. Concepto o herramientas de la ética frecuentemente utilizados en campos de la Ingeniería.

Concepto o herramientas de la ética frecuentemente utilizados en campos de la Ingeniería	Fledermann [6]	Chaves [1]	Grech [7]	Martin [10]
Utilitarismo como criterio general y su aplicación más numérica del análisis costo-beneficio: es útil para tomar decisiones de cuestiones que maximizan beneficios o minimizan daños a la sociedad, como criterio de selección [6]	x	x		x
Ética de las virtudes: es útil para señalar que las decisiones que se toman deben alinearse de forma que promuevan las virtudes o rasgos de carácter que nosotros valoramos como individuos, como profesionales y como sociedad (valores).	x	x	x	x
Ética de los derechos humanos: es útil para guiar hacia la toma de una decisión en la cual sean respetados los derechos y la dignidad de todas las partes interesadas, aunque no todas obtengan lo que quieren. La decisión no debería mostrar favoritismos, discriminación ni prejuicios	x	x		x
Ética del deber: es útil para ilustrar la responsabilidad que acarrear las acciones en el ejercicio de la profesión o las decisiones de diseño de una obra o producto que se llevan a cabo. Es un espejo de la ética de los derechos, si existe un derecho a “no ser engañado”, existe un deber de “no engañar”, por ejemplo. [4]	x	x	x	x
Ética deontológica y códigos éticos como una cuestión clave y por ello la necesidad imperiosa de la existencia de códigos de ética en el ejercicio de la ingeniería [2]. En [10] se ubica una interesante crítica a las limitaciones de los códigos de ética.	x	x	x	x
Métodos de análisis ético, basados en principios éticos: son procedimientos de aplicación de principios éticos que, al utilizarse sobre casos de estudio, constituyen un marco referencial para el análisis y solución de problemas, a los que se enfrentan las personas ingenieras	x	x	x	x

2) Liderazgo

En esta sección se aborda el tema del liderazgo, así como su construcción y relación que tiene con la gobernabilidad del proyecto. El liderazgo es el proceso por medio del cual un individuo influye en un grupo de individuos para lograr un objetivo común [11].

Si se analiza esta definición de forma desglosada, se obtiene que el liderazgo:

- *Es un proceso*: no es solamente una característica, sino que se desprende de una serie de actividades que dan cabida a resultados que los observadores califican como positivos o favorables.
- *Se asocia a la capacidad de ejercer influencia*: y la influencia es la capacidad de una persona para determinar o alterar la forma de pensar o de actuar de otra u otras, y que tiende a producirse ya sea por presión o por legitimación, según proponen Bourgeois & Nizet, en [15]. En la gestión de proyectos se busca el liderazgo y la influencia proveniente de la legitimación.
- *Se produce en grupos*: el liderazgo se produce en grupos, al menos más de dos personas. La gestión de proyectos, también se desarrolla en grupos, ya que intervienen una o más personas, de los grupos típicos de actores: propietario o su representante, consultores y constructores.
- *Busca lograr objetivos comunes*: en el caso de la gestión de proyectos, los objetivos comunes son aquellos objetivos que se plasman en un proyecto, desde el inicio, en sus etapas de planificación y en sus cuadros de mando integral.

Por otra parte, la gobernabilidad de un proyecto está asociada a su gobernanza. La gobernanza es dada por la estructura, roles, responsabilidades, procesos, modelos de toma de decisión y herramientas de gestión del proyecto, como se extrae de [5] y [13]. La gobernabilidad parte de una gobernanza apropiada en el proyecto, pero requiere mucho más que eso. Requiere también de legitimidad del liderazgo de la persona a cargo. Es esencial comprender que la construcción de una legitimidad y liderazgo fuerte, por parte de la persona directora del proyecto, en conjunto con su equipo de gestión, y proyectado hacia las partes interesadas del proyecto, incide en una mayor y mejor gobernabilidad del proyecto, como se indica en [12] y [13]. Ver [Figura 1] para ilustrar el concepto.

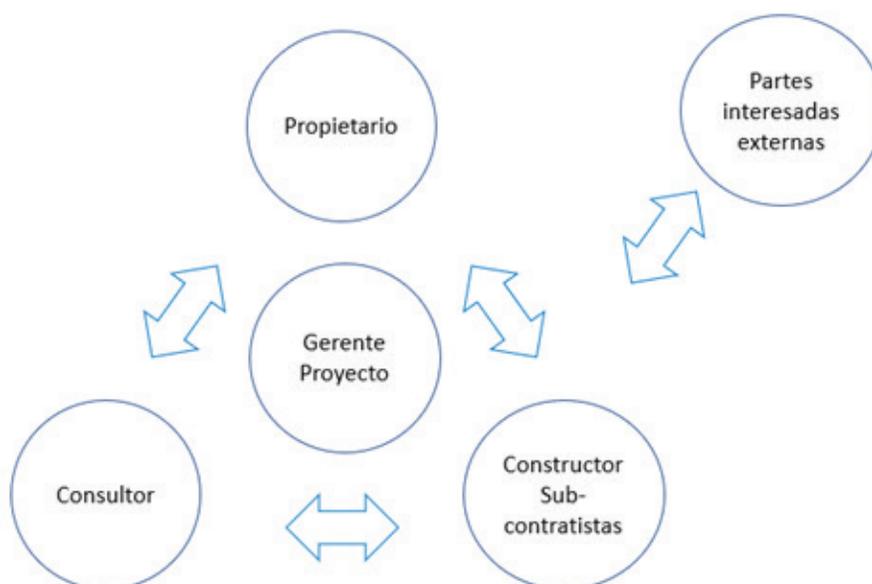


Figura 1. Relaciones entre partes participantes del proyecto.

De forma análoga, es posible hablar de un conjunto de *conocimientos*, *habilidades* y *aptitudes* del director del proyecto. Los *conocimientos* se refieren a aquellas cuestiones que el director sabe respecto a la dirección de proyectos y a los aspectos técnicos de la obra. Las *habilidades* son las actividades que el director es capaz de hacer y objetivos que es capaz de lograr, al aplicar sus conocimientos. Las *aptitudes* se refieren a la manera en que la persona directora piensa y actúa, cuando ejecuta las actividades propias de la dirección. Se requieren habilidades blandas y en específico el liderazgo, para guiar al equipo en el logro de los objetivos del proyecto, según [13].

3) Método de administración de proyectos

¿Qué es un método de administración de proyectos? Según [13], es un conjunto de mejores prácticas, útiles para administrar proyectos, que le ayudan a una organización a lograr mayores niveles de orden y éxito. Expectativas de usarlo: más proyectos completamente terminados, menores costos, menores plazos, productos finales de mayor calidad y más acordes a las necesidades del “cliente” del proyecto, menor exposición al riesgo.

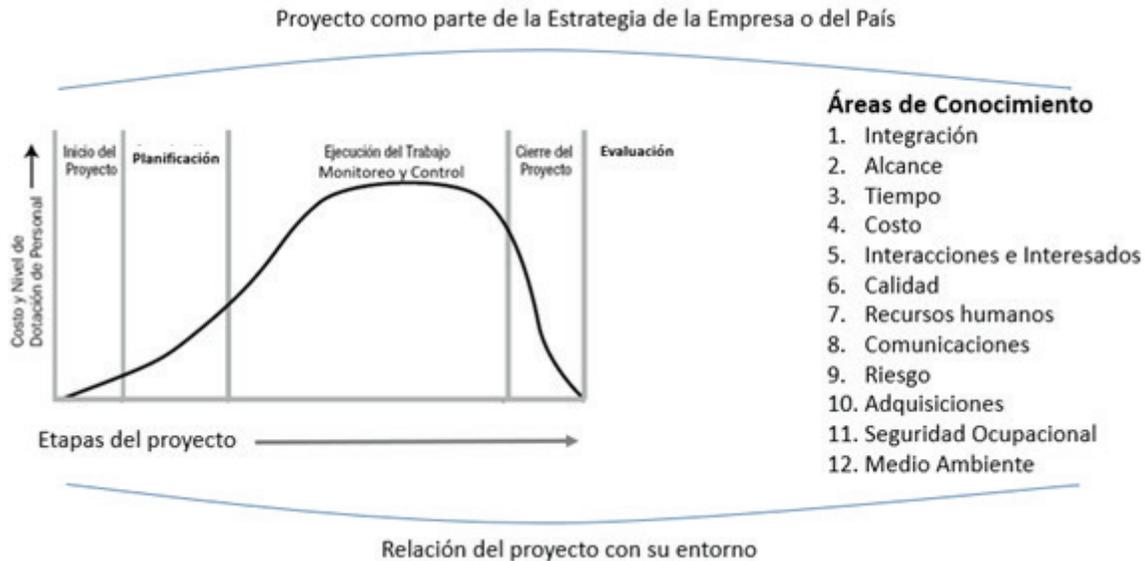


Figura 2. Esquema de método de administración de proyectos. Fuente: El autor, adaptado de [12].

Durante las etapas de desarrollo del proyecto, el rol de la persona directora de proyectos es de administrador de recursos, tomador de decisiones y líder de un equipo, como ya se ha mencionado. Por otra parte, las otras personas que participan en el proyecto (arquitectas, ingenieras y otras), tanto en la dirección del proyecto de construcción, como en los roles de representación del propietario o consultor, se enfrentan también a decisiones que se deben tomar en distintas etapas y áreas de gestión. Ver [Figura 2] para ilustrar el concepto.

Las decisiones se dan en todas las áreas de gestión del proyecto, por ejemplo, se citan algunas de estas:

Cuadro 2. Tipos de decisiones que toma la persona directora de proyecto.

Área de conocimiento del proyecto	Ejemplos de tipos de decisiones que toma las personas directoras de proyecto
Alcance	Considerar los algunos de los intereses de partes interesadas, internas o externas del proyecto. Utilizar materiales de mayor o menor calidad
Tiempo y Costo	Dotar al proyecto de la cantidad de recursos humanos y equipos para llevar a cabo las actividades, en los plazos propuestos, sin sacrificar calidad, seguridad el medio ambiente.
Calidad y cumplimiento de códigos	Contar con mecanismos para controlar la calidad y actuar para asegurarla.
Riesgo durante la construcción o para el usuario final	Contar con mecanismos para identificar y clasificar riesgos y poner en marcha acciones de respuesta o cobertura. Analizar los riesgos que pueden existir, para el usuario final (incluyendo a niños), en el uso final del proyecto y tomar acciones para mitigarlos.
Adquisiciones	Llevar a cabo un trato justo con proveedores. Seleccionar proveedores comprometidos con la seguridad ocupacional y el medio ambiente.
Recursos humanos	Seleccionar, capacitar, liderar y motivar a los recursos humanos del proyecto, usando las mejores prácticas. Remunerar de forma justa el trabajo.
Seguridad ocupacional y Cuido del ambiente	Plantear la Seguridad y el Cuido al medio ambiente como un Valor prioritario, que guíe la toma de decisiones. Contar con mecanismos para identificar y clasificar riesgos a la seguridad de las personas o del ambiente y poner en marcha acciones de respuesta, cobertura o mitigación.

Fuente: El autor, adaptado de Martin [10, p.9].

4) Toma de decisiones de carácter técnico y ético

Como se ha dicho, en los planes de estudio de ingeniería de las universidades, la formación ética no es natural, ni transversal en los cursos. A pesar de ello, es de gran relevancia crear conciencia en las personas ingenieras, estudiantes y profesionales, que algunas decisiones que se afrontan en el ejercicio de la profesión son 100% de carácter técnico, asociadas por ejemplo a la selección de materiales o procedimientos constructivos. Otras decisiones, por su parte, son técnicas y a la vez son éticas.

Por lo general, se distingue aquellas decisiones 100% técnicas, pues al tomarlas, no conllevarán una condición inaceptable de potencial daño o riesgo para personas, medio ambiente o patrimonio asociados al proyecto, en su etapa constructiva o de operación. Por ejemplo, si un diseñador propone utilizar bloque de 15cm o de 20cm en un muro, no debería ponerse en riesgo a las personas o a la obra misma, siempre y cuando la configuración de refuerzo y diseño cumpla con los códigos y normativa.

Como caso contrario, se analiza el ejemplo de un país en el cual no existen códigos de seguridad para los ventanales de las edificaciones. En un proyecto que tiene ventanales de grandes dimensiones, decidir invertir más recursos para que los ventanales cuenten con características de seguridad para los usuarios finales, será una decisión técnica, pero también será ética, pues el diseñador o constructor tiene en sus manos que las personas usuarias tengan mayor o menor niveles de riesgo, a pesar de que el costo sea más elevado en uno u otro escenario. Esta es, sin

lugar a duda, una decisión técnica, pero a la vez ética, ya que la sociedad y los usuarios de las obras confían en que las personas profesionales que diseñan y construyen, lo hacen tomando en cuenta su seguridad, como factor prioritario.

**Conjuntando lo que se ha dicho hasta el momento,
se tiene, en síntesis:**

**Que la toma de decisiones, que considera apropiadamente
factores técnicos, tanto como éticos, cuando corresponde**



Fortalece la construcción del liderazgo de la persona directora del proyecto



Lo cual contribuye a la gobernabilidad del proyecto



**Hace más viable la dinámica de equipo, entre todas las partes
y el logro de buenos resultados del proyecto
en todas sus etapas, y asociado a todas sus áreas de conocimiento**

Resultados: el mapa mental, explicación y discusión

Una vez que se ha establecido el marco teórico que brinda sustento, se retoman las preguntas básicas, que son centrales para el presente artículo:

Pregunta#1

¿Cómo hablar de ética a las personas ingenieras?

Para responder a esta pregunta se hace referencia a las experiencias docente-estudiante, que han tenido las personas (colegas del autor y el autor mismo), que han impartido el curso de Ética para Ingeniería a nivel universitario, por más de 4 semestres, a más de 40 estudiantes por semestre.

De acuerdo con los resultados y experiencias, se propone que la mejor forma de abordar la ética, entre un público de personas ingenieras, es hacerlo es a través de una aplicación de los conceptos y principios éticos a la valoración de casos de decisiones de diseño o de gestión de proyectos ingenieriles. Los conceptos se pueden presentar como una analogía de “caja de herramientas de la Ética para resolver casos o decisiones complejas en Ingeniería”.

Es ideal que los casos que se seleccionen sean de situaciones que han sido reales. Sin embargo, como esto no siempre es viable, también es posible hacer uso combinado de casos reales para ilustrar algunos conceptos, y otros casos hipotéticos, para ilustrar otros.

Según encuestas a personas estudiantes analizadas por el autor, posterior al curso, el mapa mental que se presentará en la siguiente sección, fue una herramienta útil para visualizar relaciones y ordenar la materia y resolver los casos o situaciones de análisis. También consideran que será una forma de referencia futura más práctica y accesible, cuando se vaya a consultar la materia del curso, para atender casos durante el ejercicio profesional.

Pregunta #2

¿Cuáles son los aspectos éticos que son de relevancia y uso frecuente de estas personas, a la hora de formular, diseñar o dirigir proyectos?

De la revisión bibliográfica, resumida en el cuadro 1, más las experiencias de diseño y gestión de proyecto y considerando también la experiencia didáctica, se propone que los aspectos éticos, de mayor relevancia para las personas ingenieras, se pueden resumir en el Mapa mental que muestra esquemáticamente en el siguiente vínculo:

https://drive.google.com/file/d/1rtW_W-NHvIxL5DPrGC1ipB8_ZSw0txwx/view?usp=share_link

El Mapa

Dada las dimensiones del Mapa mental, que se puede revisar en el vínculo arriba mencionado, no es posible mostrarlo en una sola vista, y a la vez lograr la lectura de los textos explicativos. Por este motivo, a continuación se muestran ciertas secciones del mapa y se explica la relación entre conceptos de los universos ético e ingenieril.

Sección 1 del mapa:

La figura 3 explica al usuario del mapa que esta herramienta tiene como objetivo exponerlo a conocimientos y herramientas de la Ética, que pueden relacionarse y utilizarse para analizar cuestiones sobre proyectos, sobre otras decisiones que se toman en la práctica profesional, así como para dar luz a decisiones complejas que deban tomarse en la vida persona.

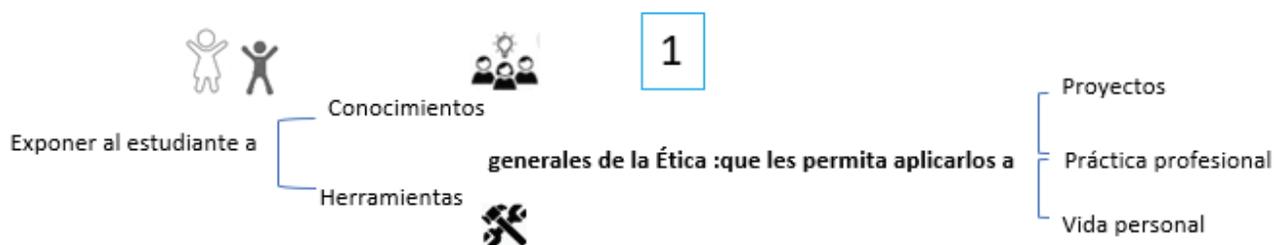


Figura 3. Sección 1 del mapa mental de conceptos éticos aplicados a la práctica de la ingeniería.

Secciones 6 y 7 del mapa:

La figura 4 expone la expectativa de la sociedad respecto al profesional y usa un símil de que la persona ingeniera, al momento de convertirse en profesional, “firma un contrato simbólico” con la sociedad, que confía y espera ciertas cosas de esa persona (que le brinde salud, seguridad, desarrollo). Por su parte, la sociedad le otorga a la persona profesional ingeniera una posición destacada, pues la considera autoridad técnica y portadora de verdad en la materia (no la cuestiona técnicamente). También, el Estado le permite a la profesión autorregularse, a través de códigos éticos y códigos técnicos. Estas ideas son la cimentación de curso de Ética, para la persona ingeniera y aclaran la justificación e importancia.

¿Por qué estudiar ética?: La sociedad espera de nosotros que actuemos de forma ética, en todas las dimensiones

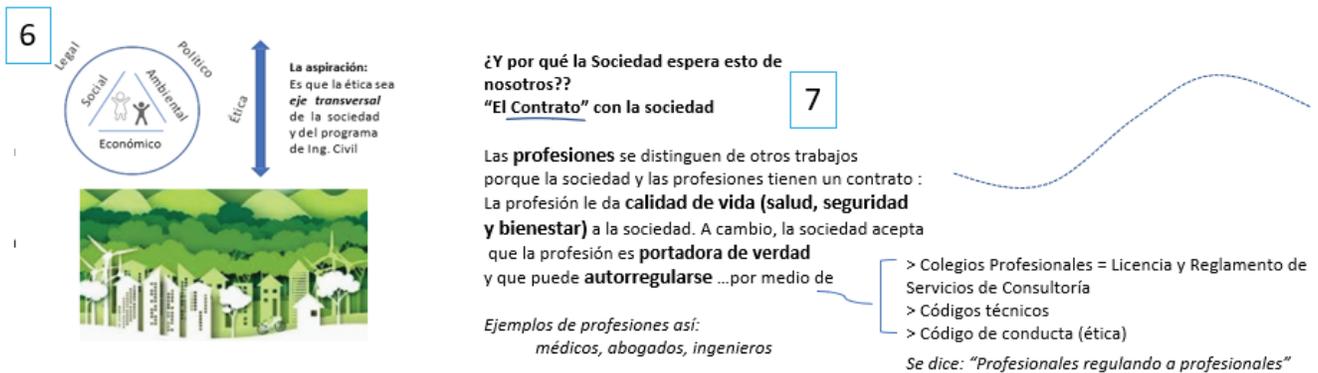


Figura 4. Secciones 6 y 7 del mapa mental de conceptos éticos aplicados a la práctica de la ingeniería.

Secciones 11, 12 y 13 del mapa y reforzar con la idea de la Sección 28

En los puntos 11, 12 y 13 de la figura 5 se presenta la definición de Ingeniería Civil de la American Society of Civil Engineers (ASCE en Grech, 2013) y se desglosa el proceso ingenieril por medio del cual la ingeniería toma los conocimientos producidos por la ciencia y a través de procesos de análisis de problemas y diseño, aporta soluciones tecnológicas que, utilizando los materiales y fuerzas del planeta, tienen como fin proveer bienes, servicios y obras que mejoran la calidad de vida de la sociedad. En el punto 28 se presenta la noción de que existe responsabilidad en la creación y uso de la tecnología, pues su uso conlleva implicaciones altamente significativas para el planeta y para la sociedad.

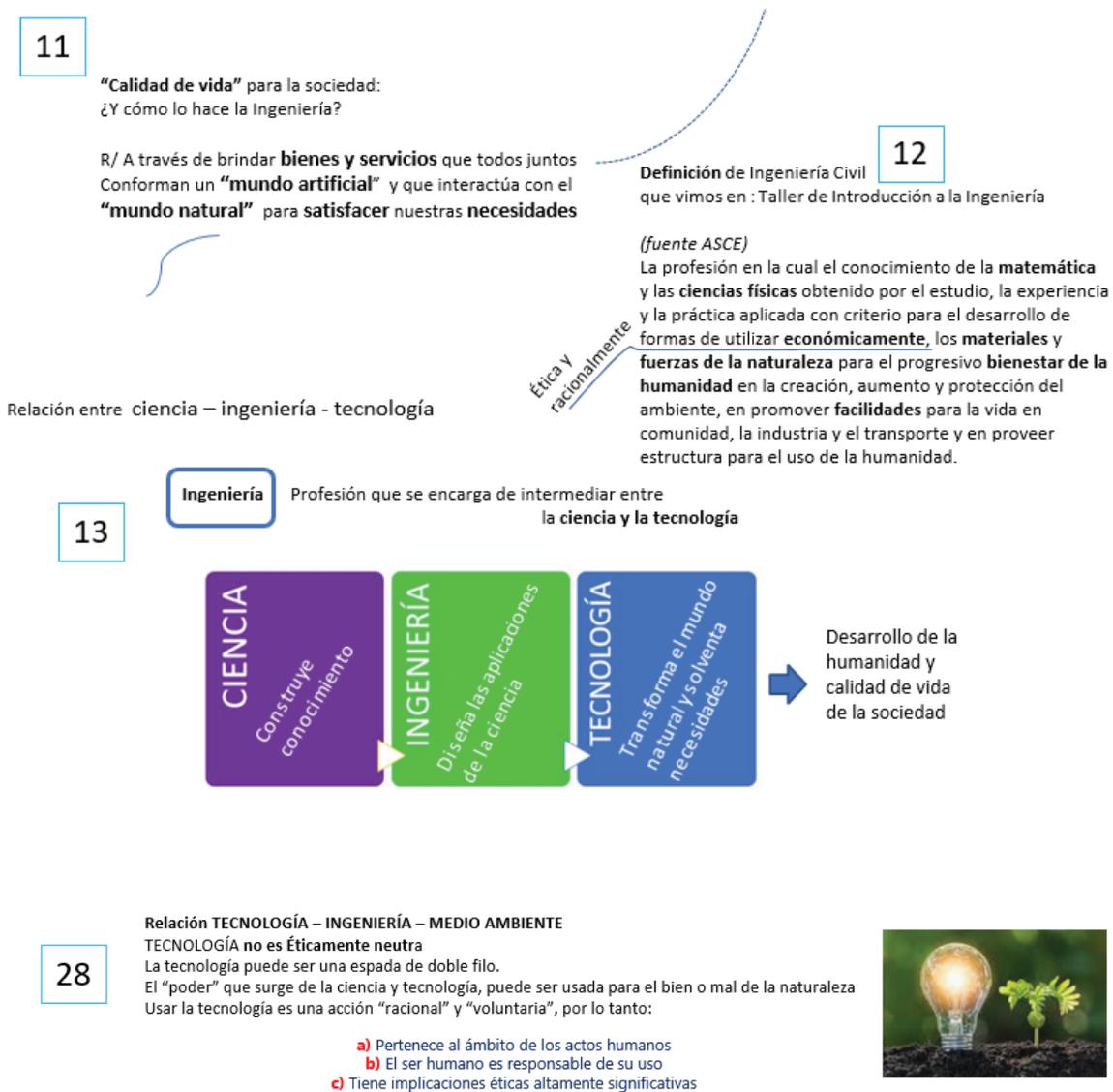


Figura 5. Secciones 11, 12,13 y 28 del mapa mental de conceptos éticos aplicados a la práctica de la ingeniería.

Secciones 15, 16 y 18 del mapa:

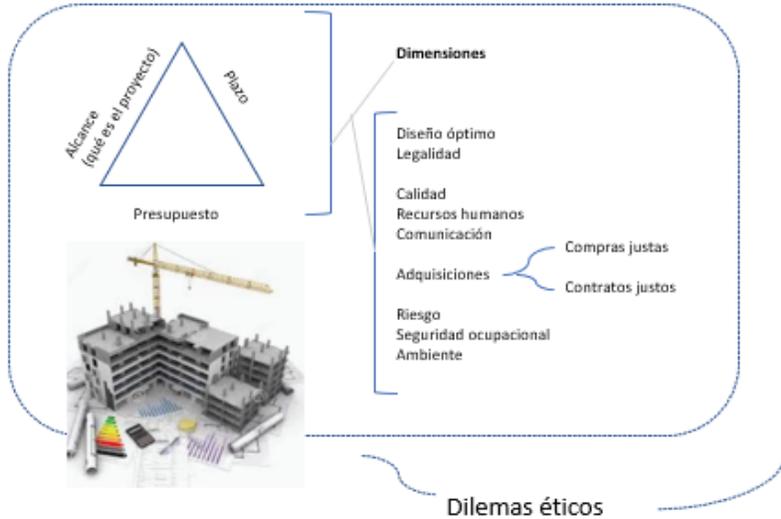
Las secciones de la figura 6 explican los momentos de toma de decisión y arte de la gestión de proyecto, que requiere a veces resolver dilemas éticos, que surgen entre las áreas de gestión del proyecto. En estos momentos, a menudo hay que usar principios éticos, para seleccionar entre dos imperativos que, bajo consideraciones meramente técnicas, serían ambos resultados deseables. Por ejemplo, un dilema ético al que podría estar expuesta la persona directora de proyecto podría ser decidir entre una solución de mayor seguridad para su personal, pero de mayor costo para su proyecto. En el punto 18 se extiende el concepto de dilema ético, para abarcar otros quehaceres de la persona que practica la ingeniería (ejemplo: informes técnicos, fiscalización, etc.) [10].

¿Y cómo es que las(os) ingenieras(os) transforman el mundo? y ayudan a satisfacer necesidades

15

R/ Lo hacen con **proyectos**

El "reto del director del proyecto" es lograr el éxito en el proyecto en todas estas **dimensiones** (llamadas **áreas de conocimiento** del proyecto)



18



Para un(a) ingeniero(a) Los dilemas pueden surgir en distintos momentos, según el rol que tenga en un proyecto

16

Frecuentemente sucede que, mientras **diseñamos, construimos u operamos un proyecto**, surgen situaciones difíciles de balancear (dilemas éticos)

Un **dilema ético** es una situación en la que se hace presente un aparente **conflicto operativo** entre dos imperativos éticos en forma tal que la **obediencia** a uno de ellos implica la **transgresión** del otro

Los dilemas surgen por "tensiones" o choques entre las distintas dimensiones del proyecto

Ejemplos:

- Calidad – costo
- Costo – plazo
- Costo – seguridad - plazo
- Riesgo – costo
- Proteger el ambiente – costo
- Diseño óptimo – costo – plazo



- Evaluándolo
- Diseñándolo
- Licitándolo o Contratándolo
- Inspeccionándolo
- Construyéndolo
- Operándolo
- Fiscalizándolo
- Auditándolo
- Haciéndole la Regencia Ambiental
- Haciéndole avalúos
- Haciéndole peritajes (análisis profesional)
- Resolviendo conflictos
- Emitiendo criterio técnico experto
- Haciendo un informe
- Construyendo opinión pública experta
- Siendo depositario de información privilegiada o confidencial

Figura 6. Secciones 15, 16, y 18 del mapa mental de conceptos éticos aplicados a la práctica de la ingeniería.

Secciones 21 y 22 del mapa:

Las secciones de la figura 7 presentan una visión panorámica y resumida de una serie de conceptos, principios y éticos aplicables al quehacer de la ingeniería. El autor hace un esfuerzo de identificar y presentar los conceptos que son de mayor aplicación a la carrera. Ejemplos son, entre otros, los conceptos como: las dimensiones personal y social de la ética [9], el análisis lógico de argumentos, las virtudes de la honestidad y la confianza, el concepto de responsabilidad y mecanismos para evadirla, los conceptos de imprudencia e negligencia, el conflicto de intereses, la corrupción, plagio, la actitud de sonador del silbato, etc. Se destaca que estos son conceptos que la persona ingeniera debe conocer y ser capaz de identificar, en su vida. En los cursos de Ética es apropiado explicarlos e ilustrarlos con ejemplos y casos de estudio.

Se incluye también los conceptos de los universos Legal y Ético y se ilustran como dos conjuntos que se intersecan, de tal forma que existen áreas de actos que son éticos y legales, otras áreas que son legales, pero antiéticas y finalmente otras que curiosamente son éticas pero ilegales. De esta forma, se aporta un esquema de pensamiento, que permite a la persona ingeniera reflexionar sobre actos que puedan ubicarse en una u otra área y comprender que dichos universos no coinciden de forma perfecta. La herramienta se amplía y se brinda incluso una extensión, en la que se agrega un tercer círculo, para representare el universo de viabilidad económica y proveer un insumo de análisis útil para evaluar proyectos en sus etapas iniciales de factibilidad.

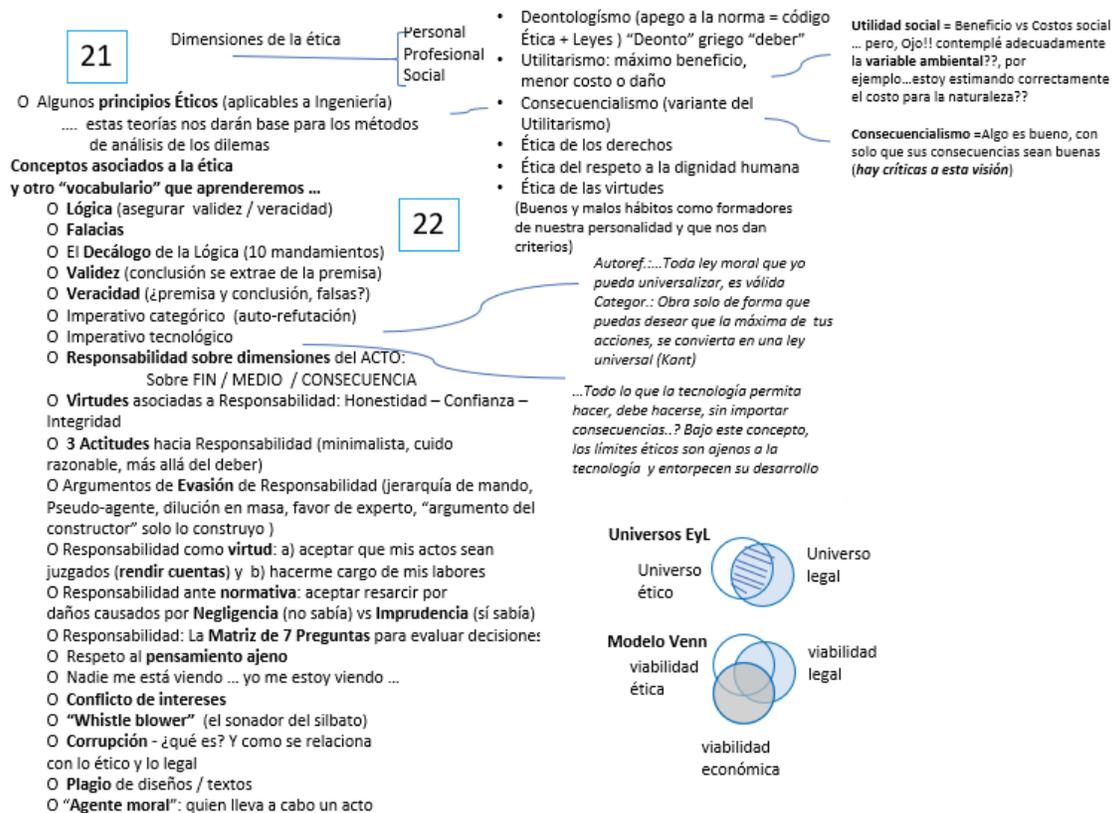


Figura 7. Secciones 21 y 22 del mapa mental de conceptos éticos aplicados a la práctica de la ingeniería.

En la figura 7 también se enumeran las aproximaciones éticas más utilizadas: deontologismo, utilitarismo, consecuencialismo, ética de los derechos, respecto a la dignidad humana y ética da las virtuales, que pueden ser utilizadas para el análisis de casos o la toma de decisiones, según se resumió en el cuadro 1 de este documento.

Conclusiones

El pensamiento ético es un eje transversal esencial para facilitar la toma de decisiones balanceadas y construir el liderazgo del director del proyecto, en sus equipos de proyectos.

Los abordajes específicos de la ética a las profesiones modernas, en general, y a la ingeniería, en particular, son una materia de desarrollo reciente y por lo tanto, abordar la ética, desde la ingeniería no resulta tarea sencilla, ni es natural para los currículos de ingeniería de las universidades. No es tampoco un área de fortaleza del promedio de personas profesionales en ingeniería.

El rol de la persona directora de proyectos exige ser un excelente administrador de recursos, tomador de decisiones y líder de un equipo. Existen momentos, en la gestión del proyecto o en otros momentos de la práctica profesional, como los señalados, en los cuales la persona directora se enfrenta a dilemas éticos y su actuación debe apearse a la responsabilidad y honestidad, para rendir un resultado que sea benéfico para la sociedad.

La toma de decisiones, que consideran apropiadamente factores técnicos, tanto como éticos, cuando corresponde, fortalece la construcción del liderazgo de la persona directora del proyecto. Con esto, se contribuye a la gobernabilidad del proyecto y se hace más viable la dinámica de equipo, entre todas las partes, en pro del logro de resultados positivos para el proyecto, en todas sus etapas y asociado a todas sus áreas de conocimiento.

El mapa propuesto en este ejercicio de perspectivas académicas y profesionales puede convertirse en una asistencia valiosa para proveer a la persona (ingeniera) que lo utilice, con una propuesta que sintetiza un universo de conocimientos, principios y herramientas, de tal forma que resulte en una visión: a) panorámica, b) resumida y c) asociativa; de los universos de la ética y de la gestión de proyectos; así como sus puntos de confluencia.

Futuras investigaciones apuntan hacia seguir analizando los vínculos entre criterios específicos de la ética y las variables de la construcción del concepto de liderazgo en los proyectos de ingeniería, a través de la investigación de casos de estudio de proyectos de ingeniería y entrevistas a los actores clave de los proyectos.

Referencias

- [1] Chávez, Ezequiel. y Carbajal, Cuauhtémoc. (2014). Ética para ingenieros. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Segunda edición. México.
- [2] Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2022). Código de ética., consultado el 14 de julio de 2022, recuperado de: <https://legal.cfia.or.cr/archivos/Codigo%20de%20Etica.pdf>
- [3] Cortina, Adela. y Conill, Jesus. (2000). 10 palabras claves en ética de las profesiones. Navarra. Editorial Verbo Divino.
- [4] Cortina, Adela. y Martínez, Emilio. (2001). Ética. Tercera edición, Madrid. Ediciones Akal.
- [5] Figuerola, Norberto. (2014). Gobernabilidad de los proyectos. PMQuality artículos, versión digital, consultado el viernes 26 de mayo de 2019, recuperado de: <https://articulospm.files.wordpress.com/2014/05/gobernabilidad-de-los-proyectos.pdf>
- [6] Fleddermann, Charles. (2012). Engineering Ethics. Cuarta Edición. Prentice Hall. México
- [7] Grech, Pablo. (2013). Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño. Segunda edición. Pearson.
- [8] Kellerman, Barbara (2012). The End of Leadership. Harper Collins Editorial. Nueva York. Estados Unidos.
- [9] Marlasca, Antonio. (2010). Introducción a la ética. San José, C.R. EUNED.
- [10] Martin, Mike. (2005). Ethics in engineering. Boston. McGraw-Hill.
- [11] Northouse, Peter G (2016). Leadership: Theory and Practice (7 ed.). London: SAGE.
- [12] PMI Project Management Institute. (2013). A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide). Fifth Edition. Pennsylvania: PMI, Inc.
- [13] PMI Project Management Institute. (2016). Construction Extension to the PMBOK Guide. Second Edition. Pennsylvania: PMI, Inc.

- [14] PMI Project Management Institute (2022). Code of Ethics. (Recuperado el 15-juloi-22 de https://www.pmi.org/-/media/pmi/documents/public/pdf/ethics/pmi-code-of-ethics.pdf?sc_lang_temp=es-ES)
- [15] Saavedra, Juan Javier. (2013). Los Mecanismos de Influencia en la Relación de Liderazgo. Universidad del Rosario, Facultad de Administración, Bogotá, Colombia.

Metodología de gestión de riesgos para el desarrollo de productos tecnológicos en una empresa multinacional

Risk management methodology for the development of technological products in a multinational company

Germán Horacio Rossetti¹, Oscar Daniel Quiroga²

Rossetti, G.H; Quiroga, O.D. Metodología de gestión de riesgos para el desarrollo de productos tecnológicos en una empresa multinacional. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 21-33.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6856>

- 1 Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
Correo electrónico: german.rossetti1965@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-6433-362X>
- 2 Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Argentina.
Correo electrónico: oscar.daniel.quiroga@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-7536-1490>

Palabras clave

Metodología; gestión de riesgos; empresas; tecnología; productos.

Resumen

Una empresa multinacional busca soluciones innovadoras para satisfacer las necesidades del mercado y ofrecer a los clientes productos competitivos. Esto requiere una gestión de proyectos eficiente y orientada a objetivos, en la que se aplique un sistema de gestión de la calidad y de riesgos adaptado a la empresa. Muchos de los proyectos tienen un alto grado de complejidad con requisitos específicos para cada uno. En este trabajo se desarrolla una metodología para la gestión de riesgos teniendo en cuenta las características de la empresa y sus productos. El modelo de gestión de riesgos consta de cuatro etapas: Identificación, Evaluación, Plan Estratégico y, Monitoreo y control de riesgos. Esta secuencia cíclica permite considerar todos los posibles riesgos, asignarles prioridades y realizar un seguimiento periódico no sólo de ellos sino también de sus medidas de prevención y acción. La metodología elaborada para la gestión de riesgos representa un valor apreciado para el desarrollo de productos tecnológicos de la empresa. Este proceso sistemático e iterativo ha identificado riesgos, pudiendo definir un plan estratégico y controlar riesgos en los proyectos que no se habían tenido en cuenta anteriormente. Sin ese enfoque sistemático, la probabilidad de que los riesgos no se identifiquen o se identifiquen de forma tardía es alta. Finalmente, si se compara la situación de la empresa con la aplicación de la gestión de riesgos desarrollada, las ganancias aumentan en aproximadamente un 6%, lo cual equivale aproximadamente a 3 millones de euros.

Keywords

Methodology; risk management; companies; technology; products.

Abstract

A multinational company seeks innovative solutions to meet market needs and offer customers competitive products. This requires efficient and goal-oriented project management, in which a quality and risk management system adapted to the company is applied. Many of the projects have a high degree of complexity with specific requirements for each one. In this work methodology for risk management is developed taking into account the characteristics of the company and its products. The risk management model consists of four stages: Identification, Evaluation, Strategic Plan and, Monitoring and control of risks. This cyclical sequence makes it possible to consider all possible risks, assign priorities to them and carry out regular monitoring not only of them but also of their prevention and action measures. The methodology developed for risk management represents an appreciated value for the development of technological products of the company. This systematic and iterative process has identified risks, being able to define a strategic plan and control risks in projects that had not been previously taken into account. Without such a systematic approach, the probability that risks will not be identified or will be identified late is high. Finally, if the situation of the company is compared with the application of the developed risk management, the profits increase by approximately 6%, which is equivalent to approximately 3 million euros.

Introducción

La gestión de riesgos proporciona una visión general y selectiva de los riesgos y establece objetivos en función de la situación actual. Comprende tres tareas básicas esenciales que tienen por objetivo asegurar la continuidad de la empresa, garantizar su éxito a largo plazo y minimizar los costos. La gestión de riesgos influye y engloba todas las áreas de una empresa [1; 2].

En el presente trabajo se desarrolla una metodología para la gestión de riesgos teniendo en cuenta las características de la empresa y sus productos, para ser aplicado en una empresa multinacional del sector metalmecánico, cuya sede central se encuentra en Alemania, por cuestiones de confidencialidad no se puede proporcionar su nombre. Se debe destacar dos características muy importantes de la empresa: (i) trabajo por proyectos, es decir por pedido del cliente, y (ii) desarrollo productos tecnológicos para distintas industrias del sector petroquímica, alimenticio, aeronáutica, automotriz, etc. El modelo de gestión de riesgos consta de cuatro etapas: (i) Identificación, (ii) Evaluación/Clasificación de Riesgos, (iii) Plan Estratégico y, (iv) Monitoreo y Control de Riesgos. Esta secuencia cíclica permite considerar todos los posibles riesgos, asignarles prioridades y realizar un seguimiento periódico no sólo de ellos sino también de sus medidas de prevención y acción. La metodología elaborada para la gestión de riesgos representa un valor apreciado para el desarrollo de productos tecnológicos de la empresa bajo estudio. Este proceso sistemático e iterativo ha identificado riesgos, pudiendo definir un plan estratégico y controlar riesgos en los proyectos que no se habían tenido en cuenta anteriormente. Sin ese enfoque sistemático, la probabilidad de que los riesgos no se identifiquen o se identifiquen de forma tardía es alta. Finalmente, si se compara la situación de la empresa con la aplicación de la gestión de riesgos desarrollada, las ganancias aumentan en aproximadamente un 6%, lo cual equivale a 3 millones de euros aproximadamente.

Gestión de riesgos

En la literatura se pueden encontrar numerosas metodologías de gestión de riesgos en función de las diferentes áreas de aplicación. Estos dependen básicamente del tipo de empresa, del sector industrial y de los productos. Los elementos claves que la mayoría de las metodologías tienen en común son: Identificación, Clasificación, Estrategia y Control de los Riesgos [2; 3; 4; 5].

La mayoría de los métodos de la gestión de riesgos están orientados al proceso, sólo proporciona una cobertura de riesgo reactivo, es decir, una vez ocurrido. Además, no existe ninguna correlación entre las medidas que deben adoptarse y los diversos indicadores. El método del PMBOK se adapta mejor a los proyectos con un ciclo de vida tradicional (modelo de cascada). Por otra parte, no existe una metodología claramente diferenciada para los métodos ágiles de gestión de proyectos, lo que es necesario para los proyectos de gran variabilidad [6].

Las metodologías de gestión de riesgos dependen de muchas variables que deben ser consideradas. Una metodología genérica no puede describirse como la correcta para la gestión de riesgos de los proyectos, debido a que el número de fases y la cantidad de esfuerzo invertido en cada una de ellas dependen del tamaño y tipo de proyecto, y de la forma en que funciona la organización, pudiendo así variar enormemente. Por lo tanto, se decide desarrollar una metodología de gestión de riesgos, que se adapte a los requerimientos de los proyectos y a las condiciones generales de la empresa bajo estudio.

Desarrollo de un modelo de gestión de riesgos

El modelo de gestión de riesgos que se propone para la empresa bajo estudio, la cual lleva adelante proyectos de desarrollo de productos de nuevas tecnologías, se muestra en la figura 1.



Figura 1. Metodología de Gestión de Riesgo Propuesta.

El modelo propuesto consta de cuatro etapas: (i) Identificación, (ii) Evaluación/Clasificación de Riesgos, (iii) Plan Estratégico y, (iv) Monitoreo y Control de Riesgos. Éstas se definen teniendo en cuenta las necesidades de la organización de una estructura ágil y sencilla que pueda incorporarse a su sistema de Gestión de Proyectos. Esta secuencia cíclica permite considerar todos los posibles riesgos, asignarles prioridades y realizar un seguimiento periódico no sólo de ellos sino también de sus medidas de prevención y acción [7; 8]. A continuación se describen la forma de llevar a cabo cada una de las etapas.

Etapa 1. Identificación de riesgos

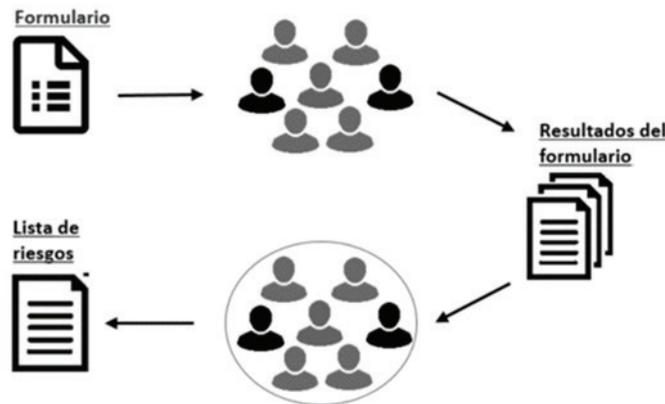


Figura 2. Identificación de riesgos en proyectos de desarrollo tecnológico.

La identificación de riesgos es la fase más compleja en la que hay que considerar la mayor cantidad de aspectos. El tiempo dedicado y la calidad del trabajo, en este paso, garantizan buenos resultados en las siguientes etapas, ya que aquí es donde se recopila la información necesaria para todos los demás pasos. Para comprender la secuencia del paso I, se puede observar la figura 2. Por lo tanto, el objetivo de la primera etapa es identificar los riesgos del proyecto. Para ello, la tarea fundamental es establecer un proceso que anticipe el mayor número posible de situaciones inciertas antes de que se conviertan en problemas graves.

Procedimiento y métodos de la primera etapa. Para identificar la mayor cantidad de riesgos, se aplica el método Delphi. De esta manera se obtiene una recopilación de juicios subjetivos a través de encuestas a miembros del equipo de proyecto que están familiarizados con la temática. A continuación se define la aplicación de la metodología:

Identificación de los encuestados: Selección de los miembros del proyecto y de ser necesario, un grupo de expertos.

Respuestas individuales: Se elabora un formulario en línea, para las respuestas individuales, en el cual las personas identificadas pueden ingresar con grado de detalle los riesgos propuestos. A través de este formulario se logra una lluvia de ideas sobre los riesgos asociados presentados por cada encuestado. Para ello, se solicita una serie de respuestas descriptas a continuación:

- Nombre del riesgo: Se pide al encuestado que especifique un nombre para el riesgo.
- Descripción del riesgo: Consiste en una breve definición del riesgo, que ayuda a comprender al mismo con mayor precisión.
- Categoría de riesgo: Se asigna al riesgo una categoría que está vinculada a las diversas áreas de desarrollo. Esto se logra seleccionando una variable cualitativa.
- Probabilidad de ocurrencia: Se realiza una estimación individual de la probabilidad de ocurrencia del riesgo. Esto se define seleccionando una variable ordinal cualitativa.
- Impacto: Se hace una evaluación individual del impacto que el riesgo podría tener en el proyecto. Esto también se define seleccionando una variable ordinal cualitativa.
- Etapa de ocurrencia: Se define en qué fases o etapas del proyecto podría producirse el riesgo. Esto se logra seleccionando una o más variables cualitativas.
- Medidas preventivas: Se definen las medidas que pueden adoptarse para reducir la probabilidad y el impacto del riesgo.
- Medidas de acción: Medidas que deben adoptarse una vez que se haya producido el riesgo. Estos tienen como objetivo reducir las consecuencias del mismo.
- Relación: Se pregunta al encuestado si el riesgo tiene relación con otro posible riesgo. Si existe una relación, se crea un diagrama de probabilidades e impactos, esto sirve para la creación de un riesgo resultante el cual engloba los riesgos relacionados.

Se debe notar que la definición de las variables en forma detallada y el tiempo de respuesta previsto quedan a discreción y prudencia del director del proyecto, ya que dependen en gran medida del tipo de proyecto y del nivel de detalle requerido. El método Delphi se considera una metodología repetitiva y se sugiere ejecutarla al menos en tres ciclos.

Discusión con el equipo del proyecto. Se llega a un acuerdo común sobre la definición de todos los riesgos identificados. Para ello, se realiza una cuidadosa revisión de todas las respuestas. Este paso es importante para que los participantes del proyecto tengan una visión general de los riesgos y todos reconozcan la importancia de su contribución al método. A partir de aquí se obtiene una lista ordenada de todos los riesgos identificados. Dicha lista corresponde a un documento vivo, ya que las características de riesgo se actualizan posteriormente según sea necesario.

Resultados de la primera etapa. Esta etapa da lugar a un proceso que registra de forma clara todos los posibles riesgos que se han podido identificar. Además, como resultado de este proceso, se encuentra una versión estática del documento vivo, que proporciona información útil para futuros informes y tomas de decisiones.

Etapa 2. Evaluación/Clasificación de riesgos

El objetivo de esta etapa es diferenciar y priorizar los riesgos. Además, se obtiene una visión general del riesgo actual del proyecto, lo cual posibilita el diagnóstico de estado del mismo. En la Figura 3, se muestra el proceso de esta etapa.



Figura 3. Clasificación de riesgos.

Procedimiento y métodos de la Etapa 2. En esta etapa se lleva a cabo una evaluación general y exhaustiva de los riesgos previamente identificados. Para ello, se aplica la siguiente secuencia de tareas:

1. *Variables cuantitativas:* Para obtener una interpretación precisa, las probabilidades y los impactos obtenidos en el paso I, se definen con variables cuantitativas. Dado que estas variables poseen una escala por naturaleza, esto facilita la conversión. El número de intervalos de la escala depende de cómo se han cualificado las variables cualitativas. La escala de probabilidad elegida en este caso es de diez en diez siendo el mínimo 0% y un máximo de 100%. Por otro lado, la escala de impacto toma valores enteros entre 0 y 10 siendo este último el mayor efecto posible.
2. *Matriz de riesgos:* Luego de crear las variables cuantitativas, se genera el diagrama de dispersión de riesgos. Este diagrama ofrece una visión general de la importancia de los riesgos de un proyecto. Estos se dividen en tres categorías: (i) Riesgo verde: Riesgo insignificante, los siguientes objetivos están ideados para mantener este riesgo en esta categoría; (ii) Riesgo amarillo: Riesgo de prioridad media, los objetivos posteriores son reducirlo, es decir, trasladar el riesgo a la categoría verde, y (iii) Riesgo rojo: Riesgo de alta prioridad, es un riesgo crítico de gran importancia. Los siguientes objetivos son reducirlo, es decir, lograr que se traslade a la categoría amarilla o, mejor aún, categoría verde. Se debe notar que la posición de las áreas de color en el gráfico realizado con los riesgos, está determinada por el o los encargados del control del proyecto.
3. *Informe de resultados:* Como la herramienta utilizada en el punto anterior es un elemento útil en el proceso de toma de decisiones, debe ser comunicada a los principales responsables del proyecto. Estos tendrán la responsabilidad de decidir si el proyecto es viable o no. Es por ello que se consideran tres estados de proyecto para dar soporte a la decisión: (i) Proyecto verde: Es muy probable que el proyecto sea factible, (ii) Proyecto amarillo: Proyecto con probabilidad media de fracaso, y (iii) Proyecto rojo: Proyecto con alta probabilidad de fracaso.

4. Reunión de los miembros del equipo del proyecto: Se realiza una reunión con los miembros para revisar el diagrama previamente creado e informar sobre el riesgo general del proyecto. También se determina quién es responsable de cada riesgo individual.

Resultados de la segunda etapa. La categorización de los riesgos individuales y la evaluación del riesgo global del proyecto son de suma importancia en el desarrollo de un producto. Estos deben ser comunicados y registrados en la documentación del proyecto. Este paso permite tomar decisiones muy críticas y tempranas sobre el proyecto, como las de llevar a cabo o no el proyecto. Dado que los riesgos del paso 1 se clasificaron según las respectivas áreas de trabajo, también es posible identificar áreas críticas en el desarrollo. La evaluación del riesgo sirve de base para las decisiones que se adopten para la ejecución posterior del proyecto.

Etapa 3. Plan estratégico de riesgos

En esta etapa, el objetivo es asegurar una metodología que permita que el proyecto se desarrolle en un entorno controlado. Para ello, se pretende reducir la probabilidad o el impacto de los riesgos más importantes y, por consiguiente, reducir el riesgo general del proyecto. Con ese fin, se prevé que se adopten medidas de protección antes que se produzca el riesgo, y correctivas después de haber ocurrido.

Procedimiento y métodos de la tercera etapa. Para lograr estos objetivos, se establece la siguiente secuencia de actividades:

1. *Examen actual:* Se examinan las medidas de los riesgos actuales del proyecto. Esto sirve para definir el plan estratégico adecuado en función de la capacidad y los recursos del proyecto.
2. *Planificación estratégica:* Para todos los riesgos, las medidas de prevención y acción se planifican en el tiempo, comenzando con los riesgos rojos hasta los verdes.
3. *Reuniones individuales:* Una vez que se han planificado las medidas de prevención y acción en el transcurso del proyecto, se determina cuáles de ellas se implementan en forma inmediata y cuáles a corto plazo. Finalmente se llevan a cabo reuniones individuales con los responsables de los riesgos para elaborar paquetes de trabajo individuales.

Resultados de la tercera etapa. El resultado de este paso es un plan de acción detallado que organiza, guía y pone en práctica las tareas necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto.

Etapa 4. Monitoreo y control de riesgos.

El formato que tiene esta etapa se visualiza en la figura 4. El objetivo central de esta etapa es determinar y reportar el estado actual del proyecto, reevaluando los riesgos activos e identificar los que han tenido lugar. Por otra parte, el control de riesgos analiza si el plan estratégico se ha aplicado según lo especificado.



Figura 4. Monitoreo y control de riesgos.

Procedimiento y métodos de la cuarta etapa. Tanto las actividades de vigilancia como las de control se llevan a cabo conjuntamente. Para lograrlas se realiza una reunión del grupo de trabajo del proyecto en la que se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- *Detección de cambios:* Cada riesgo se reevalúa en su conjunto y si hay desviaciones en las características, se edita la lista de riesgos.
- *Confirmación del plan estratégico:* Se comprueba si las personas responsables de las medidas de prevención y acción han llevado a cabo las actividades acordadas o registrado algún avance conforme a lo acordado.

Resultado de la cuarta etapa. El resultado final de este paso es la identificación de los cambios en los riesgos y los avances en el plan estratégico. Esto se obtiene mediante la realización de un informe de ambos. Por una parte, una versión estática del documento vivo proporciona información sobre la situación actual del proyecto y sus riesgos en el momento de la evaluación. Y por otra, el retorno de las actividades en curso permite actualizar el paquete de trabajo.

Iteración de la metodología de gestión de riesgos

Como se trata de metodología cíclica, se deberá aplicar nuevamente en el proyecto. Por lo tanto, se identifican y clasifican nuevos riesgos, que se incluyen en el plan estratégico. La duración de las iteraciones y su número deben adaptarse al calendario y al alcance del proyecto. Estas repeticiones van en consonancia con la inversión y la complejidad del proyecto.

Evaluación del modelo de gestión de riesgos propuesto

Para evaluar el modelo propuesto de Gestión de Riesgos, dicha metodología se aplica a un proyecto denominado DEA, desarrollado por la empresa bajo estudio.

Aplicación de la metodología de gestión de riesgos

Etapa 1. Identificación de riesgos. Para la recolección de los riesgos se aplicó la metodología Delphi de la siguiente manera:

1. *Identificación de los encuestados:* Se seleccionaron once personas para representar las diferentes áreas de desarrollo de productos. Entre ellas se encontraban los responsables del diseño, producción, lanzamiento del producto y gestión de proyectos.
2. *Respuestas individuales:* Se utilizó un formulario de respuesta en línea para registrar las respuestas individuales, el cual demandaba la siguiente información:

- Nombre del riesgo: A través de una posibilidad de respuesta breve se le permitió al encuestado asignarle al riesgo un nombre.
- Descripción del riesgo: El encuestado debía explicar en detalle cuáles son las causas del posible riesgo. Esto permite una descripción más precisa del riesgo.
- Categoría de riesgo: Los encuestados asignaron el riesgo a una categoría. Se definieron un total de siete tipos de riesgo: Riesgos ambientales, riesgos comerciales, riesgos financieros, riesgos por daños, riesgos del proyecto, riesgos informáticos y riesgos legales.
- Probabilidad de ocurrencia: Para responder a este requerimiento, el encuestado tuvo la posibilidad de elegir un número en una escala numérica del 1 al 10. Esta escala se dividió uniformemente en cinco variables cualitativas de la siguiente manera: Imposible (1;2), Improbable (3;4), Posible (5;6), Probable (7;8) y Muy probable (9;10).
- Impacto: El encuestado tenía la opción de definir el efecto negativo del riesgo mediante la elección de un número en una escala numérica del 1 al 10. Ésta se dividió a su vez uniformemente en cinco variables cualitativas de la siguiente manera: Insignificante (1;2), Bajo (3;4), Medio (5;6), Grave (7;8) y Amenazante (9;10).
- Etapa de ocurrencia: Se designa la fase de desarrollo del proyecto en la que es probable que se produzca el riesgo. Para ello se definieron tres etapas: Inicial, Intermedia y Final.
- Medidas preventivas: Se dio al entrevistado la oportunidad de explicar en detalle qué medidas preventivas pueden adoptarse para evitar el riesgo.
- Medidas de acción: En este ítem el encuestado explico posibles medidas de acción a tener en cuenta una vez ocurrido el riesgo.
- Relación de riesgo: En este caso el encuestado aclaro si el riesgo se encontraba relacionado con otro previamente registrado.

Mediante esta lluvia de ideas individual, se recogieron un total de 38 riesgos.

3. *Discusión con equipo de proyecto:* Estos riesgos fueron revisados por los miembros. Se acordaron conjuntamente sus efectos, probabilidades, medidas de prevención y acción y, cuando correspondía, su interdependencia, y por último se eliminaron los duplicados. El resultado fue una lista revisada de 19 riesgos finales, dos de los cuales tenían a su vez riesgos asociados.

Resultados de la aplicación de la Etapa I al Proyecto DEA. Como resultado de esta etapa se identificaron los posibles riesgos del proyecto. Además, fueron enumerados y se explicó cada uno en detalle.

Etapa 2. Evaluación/Clasificación de riesgos. En esta etapa se llevó a cabo una evaluación general y exhaustiva de los riesgos previamente identificados. Se diferenciaron y se obtuvo una visión general de su impacto en el proyecto. Para ello, se llevó a cabo la siguiente secuencia de tareas:

1. *Matriz de riesgos:* En la Figura 6 se muestran en forma gráfica los 19 riesgos resultantes del paso 1. Esta representación permite una exposición clara y comprensible de los mismos.

- Riesgo verde: Se identificó un riesgo insignificante. Los siguientes objetivos en el paso III serán ideados para asegurar que este riesgo permaneciera en esta categoría.
 - Riesgo amarillo: Se identificaron 10 riesgos de prioridad media. En este caso el objetivo será lograr una reducción del riesgo.
 - Riesgo rojo: Se identificaron 8 riesgos de alta prioridad, el objetivo será reducir estos riesgos.
2. *Informe de resultados:* Se informó a los principales responsables del proyecto sobre la situación actual del mismo. Se evaluó que el proyecto tiene una probabilidad media de fracaso (proyecto amarillo). Por lo tanto, se siguió trabajando para reducir los riesgos y se impulsó el desarrollo del producto.
 3. *Reunión de los miembros de proyecto:* Se realizó una reunión con los integrantes para revisar la matriz creada previamente e informarles sobre el riesgo general del proyecto. También se determinó quién era el responsable de cada riesgo.

Resultados de la aplicación de la Etapa 2 al Proyecto DEA. Se obtuvo una visión general y categorización de los riesgos actuales del proyecto y posteriormente un diagnóstico de estado. También se estableció que los principales riesgos del proyecto están vinculados a un proveedor y al área técnica del producto.

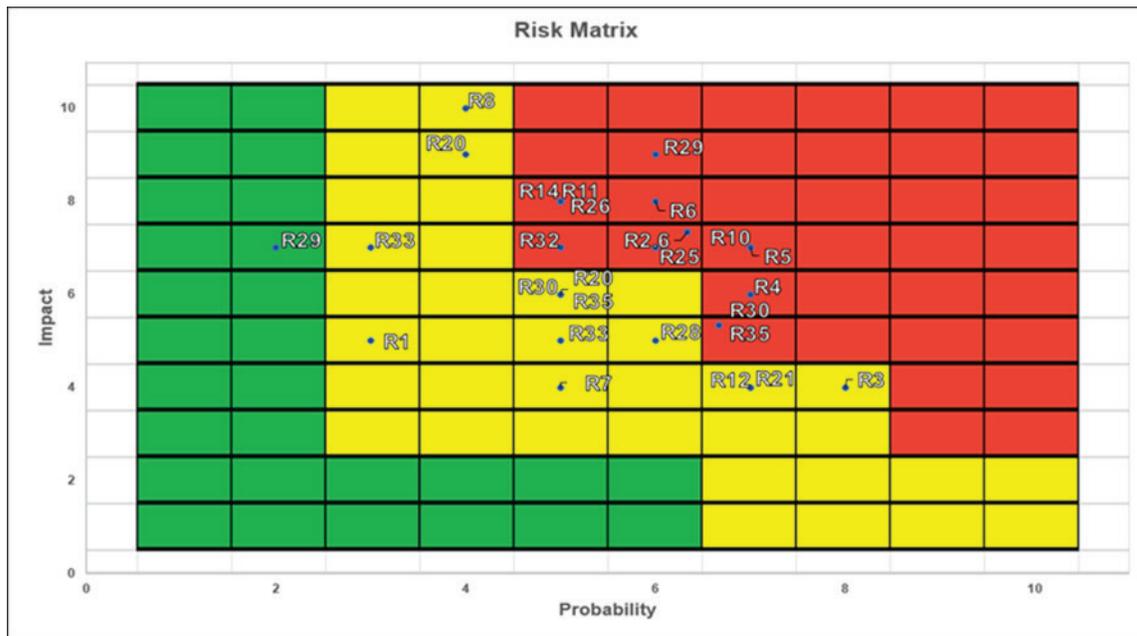


Figura 5. Riesgos del Proyecto DEA en la primera iteración.

Etapa 3. Plan estratégico de riesgos. Se planificaron tareas a lo largo del ciclo de vida del Proyecto DEA para garantizar que se lleve a cabo en un entorno controlado. Con este fin, se realiza la siguiente secuencia de actividades:

1. *Examen actual:* Se examinaron los riesgos actuales del proyecto. Posteriormente se definió el plan estratégico adecuado en función de la capacidad y los recursos del proyecto. Se identificó que era probable que se produzcan cuatro riesgos en una fase temprana, ocho en la fase intermedia y siete en la fase final del proyecto.

2. *Planificación estratégica*: Se localizaron en el tiempo medidas preventivas y de acción para todos los riesgos.
3. *Citas individuales*: Se determinó qué actividades debían realizarse a corto plazo. Dado que no se ha producido ningún riesgo, se elaboraron medidas preventivas. Se celebraron reuniones individuales con los responsables de los riesgos para establecer paquetes de trabajo.

Resultados de la aplicación de la Etapa 3 al Proyecto DEA. Se elaboró un plan de acción detallado para organizar, orientar y ejecutar las tareas necesarias para alcanzar los objetivos del proyecto.

Etapa 4. Monitoreo y control de los riesgos. Se examinaron las nuevas condiciones del proyecto debido a las medidas adoptadas y las influencias externas. Se realizó una reunión con los integrantes del proyecto donde se obtuvo la información necesaria y llegaron a las siguientes conclusiones:

- **Detección de cambios:** Se reevaluó cada riesgo en su conjunto y no se detectaron desviaciones en las características del riesgo.
- **Avances en el plan estratégico:** Se confirmó que se seguirán realizando las tareas de prevención y que se habían registraron avances en las mismas, pero que no habían sido desarrolladas por completo. Por lo tanto, se siguió el mismo plan estratégico, lo cual era correcto ya que los riesgos no habían presentado cambios.

Resultados de la aplicación de la cuarta etapa al Proyecto DEA. En este caso no hubo fluctuaciones en los riesgos. Se registraron progresos en las actividades del plan estratégico. No se modificaron las probabilidades o los efectos de los riesgos, ya que no se pudo realizar ninguna actividad en su totalidad. Esto podría deberse a que el monitoreo y control se haya realizado de forma temprana, ya que sólo había transcurrido un mes desde que se definió el plan estratégico. Por consiguiente, se sugirió que el monitoreo y control de las futuras iteraciones se llevara a cabo dos meses después de que se estableciera el plan.

Iteración de la metodología de gestión de riesgos

Dos meses después del comienzo de la iteración anterior, la metodología se aplicó nuevamente en el Proyecto DEA. Se identificaron y categorizaron tres nuevos riesgos, por lo tanto se actualizó el plan estratégico

Análisis económico

Para realizar el análisis económico de la utilización del modelo de Gestión de Riesgos propuesto, se estiman los ahorros que obtendría la empresa al aplicar esta nueva metodología. Para ello, se lleva a cabo una comparación entre lo ocurrido en la realidad, con una situación hipotética, donde se aplica el modelo desarrollado [9].

Para poder observar la situación real se recurrió a la información brindada por la empresa, pudiendo obtener el estado de resultados de la empresa de los últimos periodos.

A través del software de gestión de proyectos “Sciforma” se pudo obtener información detallada tales como: (i) Cantidad de proyectos en cada año, (ii) Costos totales e individuales de cada año, días-hombre totales y por proyecto, (iii) Proyectos logrados, tardíos y anulados, y (iv) Duración y tardanza media.

Con los datos anteriores, considerando el valor de la hora-hombre (80 euros por hora), en la empresa bajo estudio, y teniendo en cuenta que los costos extras por demora equivalen por cada semana adicional al 1% del costo total del proyecto (otros gastos operativos), se pudo calcular los costos totales por demoras en proyectos para cada año, dando valores entre 8 y 11 millones de euros por año.

Con la aplicación de esta nueva metodología, desarrollada en el presente trabajo, la empresa tiene como objetivo reducir los costos extras por tardanzas en un 30%, esto significa un ahorro de aproximadamente tres millones de euros por año. Observando los costos adicionales por tardanzas esto significa mejorar el rendimiento en un 16% de los proyectos. Lo que implica un aumento de los proyectos llevados a cabo en tiempo y forma, es decir una reducción de gastos de personal y operativos debido a riesgos no contemplados.

Por lo tanto, si se compara la situación real de la empresa con la hipotética, es decir con la que se hubiese obtenido si se aplicaba la metodología de Gestión de Riesgos desarrollada, se observa que la empresa aumentaría sus ganancias aproximadamente en un 6%.

Conclusiones

En el presente trabajo, se abordó la Gestión de Riesgos en una empresa multinacional del sector metalmeccánico, que desarrolla proyectos de nuevas tecnologías. Para ello, se examinaron y evaluaron los diferentes métodos existentes en la bibliografía. Luego, se propuso una metodología de Gestión de Riesgos para una empresa del sector metalmeccánico que trabaja por proyectos y se dedica al desarrollo de productos tecnológicos, obteniéndose las siguientes conclusiones con la aplicación de dicha metodología:

- Se simplifica la gestión de riesgos en los proyectos.
- El proceso propuesto es sistemático e iterativo, donde se identifican riesgos, se define un plan estratégico y se controlan los riesgos en forma anticipada. Sin ese enfoque sistemático, la probabilidad de que los riesgos no se identifiquen o se identifiquen de forma tardía es alta.
- Los miembros del proyecto piloto seleccionado demostraron además un alto grado de conformidad con la metodología desarrollada.
- La empresa aumenta sus ganancias en un 6% aproximadamente, es decir 3 millones de euro al año. Esto es debido básicamente a la reducción del tiempo de entrega de sus proyectos y pago de multas.
- La metodología desarrollada en este trabajo, sirve como concepto universal que puede ser integrado en diferentes instrumentos y utilizado en diversos tipos de proyectos.

Se debe notar que la metodología desarrollada es adecuada para la empresa bajo estudio, ya que se utilizaron los datos de la misma, así como también los registros históricos en lo que respecta a la Gestión de Riesgos. Por consiguiente, si se quisiera aplicar en otra compañía, cambiaría el contexto y se debería adaptar para su mejor performance.

Agradecimientos

Los autores agradecen la contribución económica brindada por la ANPCyT, a través del FONCyT (PICT 2020 - SERIE A 003533) y a la Universidad Nacional del Litoral (PI CAI+D 2020 - 50620190100030LI).

Referencias

- [1] W. Hopfenbeck, *Allgemeine Betriebswirtschafts- und Managementlehre: Das Unternehmen im Spannungsfeld zwischen ökonomischen, sozialen und ökologischen Interessen*. Germany: Die Wirtschaft Landsberg/Lech, 2000.
- [2] R. König, *Management betrieblicher Risiken bei produzierenden Unternehmen*, Doktorarbeit, Germany: Aachen, techn. Hochsch, 2008.
- [3] T. Lührig, *Risikomanagement in der Produktentwicklung der deutschen Automobilindustrie*, Technische Universität Darmstadt, Germany: Shaker Verlag Aachen, 2005.
- [4] G. Purdy, "ISO 31000:2009 - Setting a New Standard for Risk Management", *Risk Analysis*, vol. 30, n° 6, pp. 881-886, 2010.
- [5] S. Elstner, *Eine Methode zur Bewertung von Anlauftrisiken in der Produktentwicklung für die Flugzeugindustrie*. Neubrandenburg, Germany: Tutech Innovation GMBH, 2017.
- [6] Project Management Institute, *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*, USA: PMI, 2017.
- [7] R. Sautu, P. Boniolo, P. Dalley y R. Elbert, *Manual de Metodología. Construcción del Marco Teórico, Formulación de los Objetivos y Elección de la Metodología*, Argentina: CLACSO, 2005.
- [8] G. Rossetti, D. Ferreira y L. Cavalero, "Diagnostic and Proposal of Improvement for the Innovation Management in a Technological Company", *Iberoamerican Journal of Project Management*, vol. 8, n° 2, pp. 33-52, 2017.
- [9] N. Sapag Chain, R. Sapag Chain y J. Sapag, *Preparación y evaluación de proyectos*, México: McGraw Hill, 2014.

Transferencia de conocimiento desde las universidades a las empresas

Knowledge transfer from universities to companies

Jorge Henry Betancur-Amariles¹, Gastón Darío Rodríguez-Santana², Jhon Fredy Garcés-Bolívar³

Betancur-Amariles, J.H; Rodríguez-Santana, G.D; Garcés-Bolívar, J.F. Transferencia de conocimiento desde las universidades a las empresas. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 34-44.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6857>

- 1 Docente de carrera, Institución Universitaria de Envigado. Colombia. Correo electrónico: jhbetancur@correo.iue.edu.co
 <https://orcid.org/0000-0002-0424-4921>
- 2 Docente de carrera, Institución Universitaria de Envigado. Colombia. Correo electrónico: grodriquez@correo.iue.edu.co
 <https://orcid.org/0000-0002-2572-5783>
- 3 Docente ocasional, Institución Universitaria de Envigado. Colombia. Correo electrónico: jfgarces@correo.iue.edu.co
 <https://orcid.org/0000-0001-9678-1777>

Palabras clave

Transferencia de conocimiento (TC); gestión de conocimiento; prácticas profesionales; teoría Nonaka & Takeuchi.

Resumen

La transferencia de conocimiento (TC) desde las universidades a las empresas se desarrolla de múltiples formas, una de las cuales es la práctica realizada por los estudiantes y orientada por profesores. El objetivo de la investigación es evaluar el impacto de la TC y en la gestión del conocimiento (GC) de las empresas. El problema de Investigación surge en el análisis de las prácticas profesionales como una de las formas de TC de las universidades. La metodología aplica dos componentes: el primero identificó las variables implicadas en cada caso de TC como sectores de las empresas, niveles, departamentos de aplicación, y campos de conocimientos de las empresas; el segundo analiza la gestión del conocimiento en el marco de la teoría de Nonaka & Takeuchi a partir de los tres componentes: las cuatro formas (FM), cinco condiciones (CD) y cinco fases (FS). Los resultados se analizarán con apoyo de software SPSS con el fin de reflejar el impacto de la TC y la manera como se gestiona el conocimiento transferido en las empresas.

Keywords

Knowledge transfer; knowledge management; professional practices; Nonaka & Takeuchi's theory.

Abstract

The transfer of knowledge (KT) from universities to companies takes place in multiple forms, one of which is the internship carried out by the students and supervised by professors. The aim of the research is to analyze the impact of KT on knowledge management (KM) in companies. The research problem arose when analysing the professional practice in the universities. The methodology applies two components: the first identified the variables involved in each case of KT to both sectors and enterprises, levels and areas of implementation, areas of knowledge; the second analyzed knowledge management in the framework of Nonaka & Takeuchi's theory based on the three components of the theory: the four forms (FM), five conditions (CD) and five phases (FS). The results will analyze with the support of SPSS software in order to reflect the impact of KT, and the way transferred knowledge is managed within companies.

Introducción

La TC desde universidades a empresas tiene un efecto que contribuye al mejoramiento de su desempeño, e incentiva el proceso innovador. [1] [2] [3] Esta interacción se convierte en una ventaja competitiva para las empresas, en relación de sus recursos, generación y transferencia de conocimiento como ventaja estratégica competitiva. [4] [5] [6] [7]

Dicha ventaja promueve la capacidad empresarial de crear e innovar sus procesos o servicios y mejorar de forma eficaz los ya existentes. [8] [9] Así mismo, la comunidad científica ha mostrado gran interés en la cooperación universidad – empresa, por el aporte que representa para las Ciencias Empresariales. [10] [11].

El propósito es analizar los resultados desde la teoría de [12] a partir de los tres componentes: las cuatro formas (FM), cinco condiciones (CD) y cinco fases (FS), con el fin de identificar y analizar el alcance que ha tenido el proceso de TC y el impacto en las empresas en las cuales se ha aplicado el proceso durante los periodos señalados.

Algunas formas de TC desde universidades a empresas son la Prestación de Servicios por medio de asesorías y consultorías [13] [14]; la Producción investigativa – comercial que derivan en el licenciamiento de patentes y de registros de propiedad intelectual que nacen de las actividades investigativas de las universidades (I+D+i) y que promueven la constitución de Spin-Off, que surgen de alianzas universidad – empresa. [16] [17]; la Producción Intelectual que aporta al desarrollo empresarial [18]; la Intervención de personal calificado [19], la profesionalización de la vinculación [20] con aportes significativos de los estudiantes y egresados de las universidades, [19] [21].

Estas investigaciones permiten poner en el escenario la importancia de la GC para las empresas en la interacción entre estas y el sector educativo [22]; así mismo genera el reto de fortalecer las capacidades internas de las empresas para impulsar su propia GC.

Se ha adoptado como referente la teoría de [12], que desarrolla tres componentes: 4FM de la conversión del conocimiento tácito en explícito; 5CD que permiten la espiral del conocimiento en las organizaciones y 5FS del proceso de creación del conocimiento.

Las cuatro FM permiten convertir el conocimiento de tácito a explícito [15] y formalizarlo como parte de las estructuras cognitivas de la cultura organizacional [23].

- La primera forma (FM1) es *la socialización*; proceso para transferir el conocimiento de tácito a tácito, a través de acciones que comparten experiencias, utilizando modelos mentales y habilidades técnicas [12].
- La segunda forma (FM2), *la exteriorización*, realiza la conversión de conocimiento tácito en conocimiento explícito [24], por medio del diálogo o la reflexión colectiva [12], permitiendo enunciarlo en forma de conceptos explícitos; el conocimiento explícito es la punta del iceberg y el conocimiento tácito es la base [15].
- La tercera forma (FM3), *la combinación*: se transfiere el conocimiento de explícito a explícito [25], permitiendo que los individuos intercambien y combinen conocimientos [26] a través de documentos, juntas, conversaciones, redes.
- La cuarta forma (FM4) es *la interiorización*, permite convertir el conocimiento de explícito a tácito por medio de estrategias de “aprender haciendo”; el nuevo conocimiento se incorpora al Know how y la cultura de la organización.

Las cinco CD: necesarias para que el proceso de la espiral del conocimiento fluya de manera adecuada.

- La primera condición (CD1) consiste en una *intención explícita* de los directivos para apoyar las iniciativas y el compromiso de los empleados.
- La segunda condición (CD2) se refiere a *la autonomía* con que los empleados de todos los niveles actúan en la producción de conocimiento; los individuos autónomos se integran con mayor facilidad a los proyectos y se abren a compartir conocimientos con personas de diferentes departamentos y niveles [26].
- La tercera condición (CD3) es *la fluctuación y el caos creativo* que estimula la interacción con el entorno y la búsqueda de transformaciones [25]; es permitir que los empleados busquen soluciones más allá de lo establecido [26].

- La cuarta condición (CD4) es *la redundancia*, entendida como sobreposición intencional de la información, permitiendo que el conocimiento tácito surja y penetre todas los departamentos de la empresa [12].
- La quinta condición (CD5) es *la variedad de requisitos*: al interior de las organizaciones debe articularse con la complejidad del ambiente [12], para posibilitar respuestas a los desafíos del entorno [15], por el rápido acceso que se tiene a la información [26].
- Las cinco FS: lo llevan en un proceso creciente de espiral reproducida en forma permanente [24].
- La primera fase (FS1) consiste en *socializar espontáneamente* el conocimiento tácito con el equipo de trabajo, viviendo la redundancia de la información y compartiendo la intención organizacional, a través de equipos autoorganizados [12].
- En la fase 2 (FS2), *crear conceptos* [12], se utilizan métodos como la deducción, la inducción y la abducción (con metáforas y analogías), a través del diálogo continuo y cualificado [26] que permite la creación cooperativa de conceptos, haciendo converger diversos puntos de vista, hacia un modelo mental compartido [25].
- La fase 3 (FS3) *Justificar los conceptos* incluye la determinación de la validez de los conceptos creados mediante la filtración de la información (con criterios cualitativos y cuantitativos), teniendo como referente la intención organizacional.
- En la fase 4 (FS4), *construir un arquetipo*: crear un prototipo, que puede ser un diseño, un producto, un mecanismo o un modelo [12], combinando conocimiento explícito creado con conocimiento explícito ya existente [26].
- La fase 5 (FS5), *expandir el conocimiento, o distribución cruzada de conocimiento*: iniciar un nuevo ciclo de la espiral de conocimiento, en otros departamentos de la organización o en otras filiales (intraorganizacional); también puede ser en clientes, proveedores y competidores (extraorganizacional). Se reproduce el modelo de espiral, hacia nuevos ciclos en niveles ontológicos diferentes [15].

Cuadro 1. Componentes de la teoría de Nonaka & Takeuchi.

4 formas de conversión del conocimiento	5 condiciones que debe cumplir la organización	5 fases del proceso de creación del conocimiento
FM1. La socialización: T-T	CD1. Intención explícita	FS1. Socializar espontáneamente el conocimiento tácito con el equipo de trabajo
FM2. La exteriorización: T-E	CD2. Autonomía	FS2. Crear conceptos
FM3. La combinación: E-E	CD3. Fluctuación y el caos creativo	FS3. Justificar los conceptos
FM4. La interiorización: E-T	CD4. Redundancia	FS4. Construir un arquetipo
	CD5. Variedad de requisitos	FS5. Expandir el conocimiento

Fuente: elaboración propia a partir de [12]

Las variables de la TC: tradicionalmente, las actividades económicas se han dividido en tres sectores [27]: la agricultura representa el sector primario, la industria personaliza el sector secundario, y el sector terciario hace referencia a los servicios e incluye el comercio. Es importante analizar las incidencias de las transformaciones estructurales en las trayectorias de desarrollo y el progreso tecnológico que tiene un papel relevante [28].

Al emerger modelos diferentes de capitalismo, se han posicionado en los contextos empresariales diversas formas de jerarquía en los que se posibilita una interacción [29] entre los niveles estratégicos, tácticos y operativos. Se hace necesario trascender la centralización de las decisiones por parte de los niveles estratégicos; han de superarse situaciones como los vínculos personales y familiares de las empresas [30]. Los procesos de TC buscan tener un impacto que permita permear los tres niveles de la organización.

Como referente de los campos de conocimientos se ha adoptado la estructura que se tiene como modelo de formación de los estudiantes en el programa de Administración de Negocios Internacionales [31]: los campos de conocimientos son Mercadeo, Administración, Logística, Negocios internacionales, Economía y finanzas, Jurídica.

Materiales y métodos

La investigación busca identificar el impacto de las prácticas profesionales en el programa de Administración de negocios internacionales de la IUE. El modelo es una propuesta de transferencia de conocimiento a través de la intervención de problemas detectados por los estudiantes y sus profesores.

Cuadro 2. Distribución de la población por año.

AÑO	# Trabajos por Año	Porcentaje
2012	24	4,91%
2013	11	2,25%
2014	38	7,77%
2015	34	6,95%
2016	18	3,68%
2017	101	20,65%
2018	81	16,56%
2019	91	18,61%
2020	64	13,09%
2021	27	5,52%
TOTAL	489	100,00%

Se procesaron 489 informes (cuadro 2) de empresas intervenidas en la región; el análisis se realizó con el modelo de [12] que presenta 4FM, 5CD y 5FS para medir el impacto en las organizaciones objeto de intervención. Se definieron variables mediante las cuales se identificaron los componentes de procesos de TC, con el fin de tener un panorama sobre la estructura de los diversos proyectos que permitieron desarrollar TC; las variables son: ubicación geográfica, el sector de las empresas (primario, secundario o terciario) y el subsector (alimentos-bebidas, vestuario, muebles, construcción, banca, transporte, educación, comunicaciones, comercio); Los niveles involucrados en la empresa (estratégico, táctico, operativo); los campos de conocimientos, a partir de la estructura del plan de formación de los profesionales (figura 3).

Para evaluar el impacto en cada organización objeto de la TC, se determinaron dos aspectos: uno es el alcance que de cada proyecto (formulación, implementación, transformación, creación- innovación); el otro es el impacto que ha tenido el proyecto (figura 7).

Una vez se procesaron los informes de intervención y se hicieron las respectivas clasificaciones, para identificar los aspectos estadísticos en las variables y se procedió a realizar el análisis de los resultados con la estructura de la teoría (cuadro 2).

Como queda establecido se trata de una investigación con metodología no experimental, con técnica documental y ex post facto, con nivel correlacional, y un enfoque deductivo en que se parte de una teoría de la TC que permite analizar los resultados. Las fuentes son secundarias (los informes de intervención), lo que permite hacer un análisis a partir de resultados del procesamiento estadístico.

Resultados

La distribución de las empresas, tal como se muestra en la Figura 1 refleja las características del tejido productivo de la región en la que el subsector comercio tiene una mayor participación.

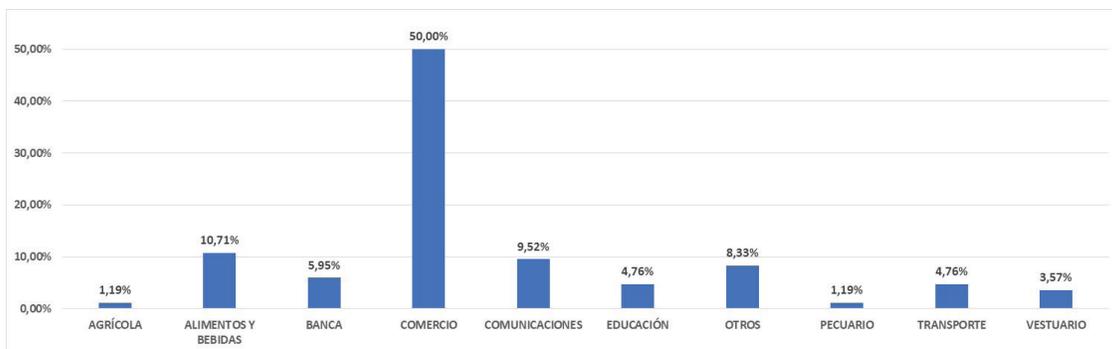


Figura 1. Distribución de las empresas según el subsector a que pertenecen.

El impacto de la TC de acuerdo con los departamentos de la empresa (figura 2) reflejan coherencia con el programa de formación: campos de conocimientos comercial, administrativo, internacional y logística tienen los mayores porcentajes de TC. De igual manera, en relación con las 4FM, los principales departamentos de las empresas en que se implementaron proyectos de TC (figura 2) en el departamento comercial 44,05%; administrativo 22,62%; internacional 10,71% y de logística 9,52%. Por tratarse de departamentos transversales, el impacto implica una mayor *participación* de personas en los proyectos de TC.

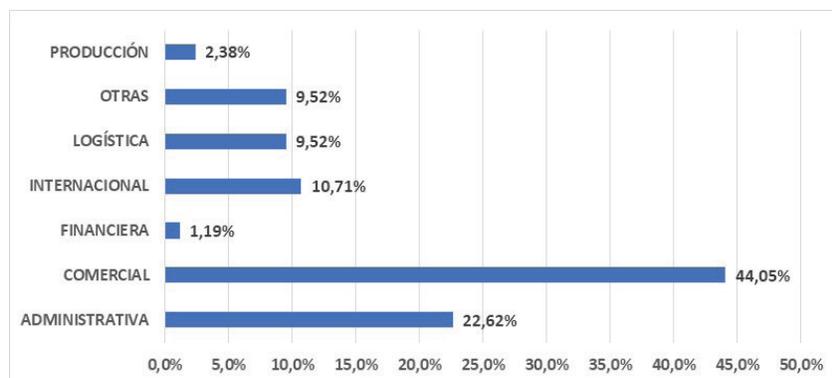


Figura 2. Departamentos de las empresas con impacto en TC.

Al analizar las 5FS de la creación de conocimiento, como se ha indicado, el proyecto se construye a partir de la *socialización* con el equipo de trabajo (FS1), se desarrolla, con asesoría de los profesores tutores (FS2 y FS3), con prevalencia de los campos de conocimientos de Administración 42,86%, Mercadeo 32,14%, Logística 16,67% y Negocios Internacionales 7,14% (Figura 3). La FS4, *crear un prototipo*, se puede analizar en las variables cuantificadas en la Figura 6, indicando que es escasa la evidencia acerca de *expandir el conocimiento*, en otros departamentos de la organización, con sólo un 1,19% de los proyectos de TC. No obstante, la *expansión* del conocimiento se puede dar también en clientes, proveedores e, incluso, competidores (*extraorganizacional*) logrando un 20,24% (figura 6).

En los campos de conocimientos de los procesos de TC, se percibe coincidencia con los departamentos de aplicación en las empresas (figura 3): Administración, Mercadeo, Logística y Negocios internacionales tienen los mayores porcentajes.

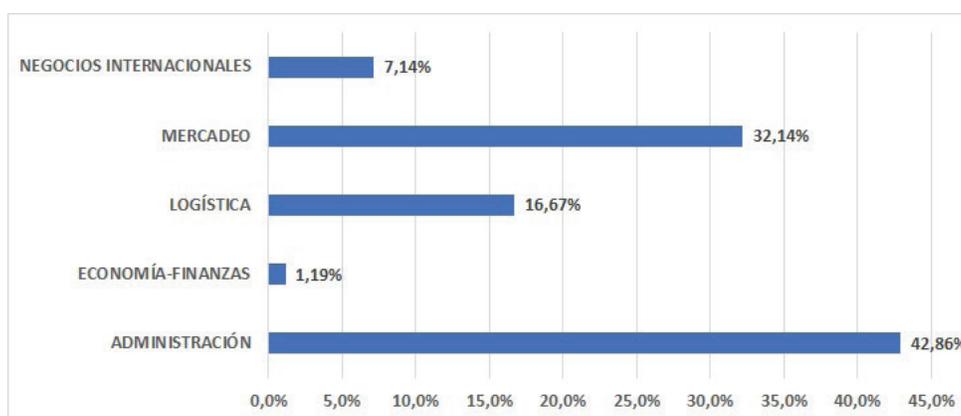


Figura 3. Campos de conocimientos en la TC.

En relación con las 4FM de conversión del conocimiento, los proyectos de TC se diseñan a partir de situaciones que deberán resolverse en los diferentes niveles de la organización; los informes indican que el 53,57% se implementaron en el nivel estratégico, el 42,86% en el nivel operativo y el 3,57% en el nivel táctico (figura 4). En todos los casos se incluyó una *socialización* con directivos del área, diseño de proyectos que se fortalecen en el proceso de implementación, en que los proyectos de TC se llevaron hasta el nivel de *implementación* en un 88,10 % (figura 5)

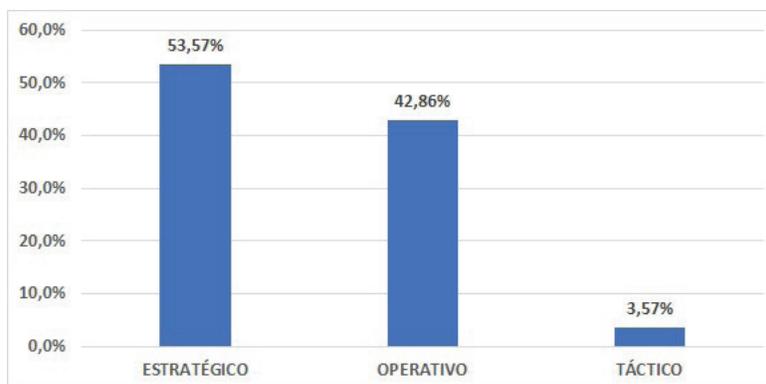


Figura 4. Niveles de participación dentro de la empresa.

En relación con la 5CD que debe cumplir la organización, los resultados reflejan lo siguiente: el 53,57% de los proyectos se implementaron en el nivel estratégico (figura 4), con lo que se evidencia la *intención explícita* de los directivos para apoyar las iniciativas de TC. En el 100% de los casos se posibilitó la *autonomía* para proponer e implementar proyectos de transformación de situaciones identificadas, que ha implicado el desarrollo del *caos creativo* con participación de los profesores. Igualmente, la *redundancia* entendida como sobreposición intencional de la información, permite que el *conocimiento tácito* surja y penetre todos los departamentos, convirtiéndose en *conocimiento explícito* (figura 2). En relación con la CD5, *variedad de requisitos*, no se logra un gran impacto en los diferentes subsectores de la economía (Figura 5) dado que sólo el 3,57% ha tenido alcance por fuera de la empresa.

Las oportunidades de mejora, llevan a diseñar propuestas de intervención; en algunos casos se requiere una propuesta de creación o innovación de soluciones a problemas identificados; las empresas aprueban la implementación y desarrollo de proyectos, con el fin de transformar situaciones identificadas. La figura 5 refleja el nivel de los proyectos realizados.

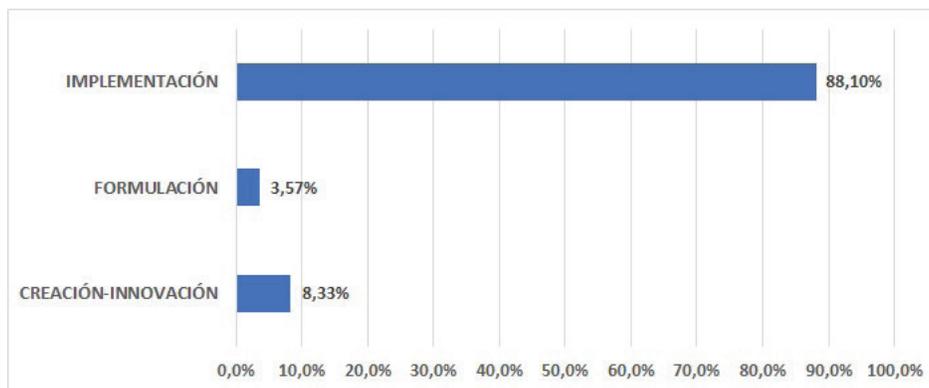


Figura 5. Nivel de los proyectos en las empresas.

El impacto se ha evaluado con tres variables (figura 6) indicando que el 78,57% de los proyectos de TC se han implementado en una sola área; el 20,24% en toda la empresa y sólo el 1,19% ha tenido impacto por fuera de la empresa, en clientes y proveedores. El resultado refleja el alto impacto al interior de cada empresa, a pesar de tener muy poco impacto hacia el encadenamiento productivo.

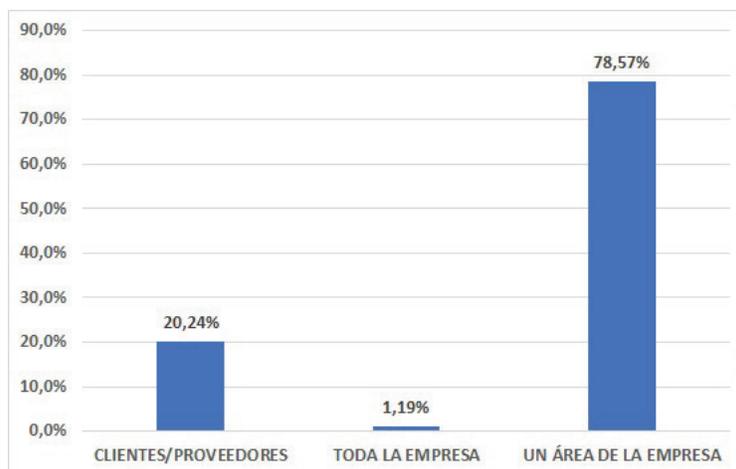


Figura 6. Impacto de los proyectos de TC.

Conclusiones

En investigaciones similares [32] sobre GC, se determina que en la TC existe un importante nexo entre universidades y empresas; en el mismo sentido que la presente investigación, se confirma el papel relevante de universidades en la solución de problemas de empresas a través de la TC.

En el contexto de la importancia de la TC desde universidades a empresas, en [22] se presentan un caso de TC desde grupos de GC de alto impacto; ambos trabajos apuntan a resaltar la importancia de la GC para el desarrollo de las empresas.

En [33] se analizaron la relación entre cooperación universidad – empresa y su efecto sobre el desempeño innovador empresarial; en el mismo esta investigación presenta el impacto de la TC en la GC de las empresas, para la transformación de situaciones, desde las universidades.

En [34] con la pregunta ¿cómo transferir el conocimiento y la tecnología de las universidades al sector productivo?, permiten identificar la importancia de generar, al interior de los centros académicos, capacidades innovadoras que puedan abordar las problemáticas de las empresas, tal como lo que se hace en la IUE y se analiza en la presente investigación.

La investigación se planteó como objetivo identificar el impacto de la TC en la GC en las empresas; los resultados han indicado que, desde la teoría de Nonaka y Takeuchi [12] se evidencia la implementación de las 4FM de conversión del conocimiento, cuatro de las 5CD (no se evidencia la quinta CD) que debe cumplir la organización para transferir el conocimiento y las 5FS del proceso de creación del conocimiento.

Los proyectos de prácticas profesionales de la IUE, han logrado tener un impacto en la TC hacia la totalidad de empresas en las que se han implementado, con lo cual se han logrado procesos de GC que se han validado desde la teoría.

La TC es el nexo principal de cooperación entre universidades y empresas que potencia la transformación de conocimiento en aspectos concretos para la solución de problemas. Es necesario fomentar un pensamiento hacia la realidad empresarial en las universidades, que se evidencie en el proceso de TC y desarrolle a través del proceso de aprendizaje entre empresa – universidad.

Una limitación del presente trabajo es no tener seguimientos que permitan rastrear impactos posteriores, sea en los departamentos de las empresas (intraorganizacional), como también puede ser en clientes, proveedores e, incluso, competidores (extraorganizacional). Para ello se ha propuesto una segunda fase de la investigación en que se evaluará, mediante la consulta de fuentes primarias, la continuidad y seguimiento en las empresas respecto a los proyectos de TC que se diseñaron e implementaron desde la IUE.

Referencias

- [1] Álvarez, M.E. Vinculación Universidad-sociedad: Estudio de un Equipo de Trabajo en el área de Gestión Ambiental de la Universidad Nacional de La Plata - Argentina. Tesis de Grado Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. En memoria Académica. 2013. URL: <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.851/te.851.pdf>
- [2] Aristei, D., Vecchi, M., y Venturi, F. University and Inter-firm R&D Collaborations: Propensity and Intensity of cooperation in Europe. *The Journal of Technology Transfer*, 41(4), 841-871. 2016. DOI: 10.1007/s10961-015-9403-1
- [3] Molina, F., Martínez, M., y Jasmine, V. The Dark Side of Trust: the Benefits, Costs and Optimal Levels of Trust for Innovation Performance, *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 1 (1), 75-96. 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lrp.2011.01.001>

- [4] Nonaka, I. The Knowledge- creating company. Harvard Business Review, November – December, pp. 96-104. 1991.
- [5] Teece, D. y Pisano, G. “The dynamics capabilities of firms: An introduction”. Industrial and Corporate Change, vol. 3, N° 3, pp. 537-556. 1994. <https://doi.org/10.1093/icc/3.3.537-a>
- [6] Gran, R. y Grani. R.M. “The resource-based theory of competitive advantage; implications for strategy formulation”, California Management Review, N°33, pp. 114-135. 1991. DOI: [10.1016/B978-0-7506-7088-3.50004-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7088-3.50004-8)
- [7] Davenport. T.H. y Prusak. L. Conocimiento en acción. Cómo las organizaciones manejan lo que saben. Ed. Prentice Hall. Buenos Aires. 2001.
- [8] Nonaka, I., Toyama, R. y Nagata, A. A Firm as a Knowledge- creating Entity: A new Perspective on the Theory of the Firm. Industrial and Corporate Change. Vol.9. No. 1. Pp. 1-20. 2000. DOI: [10.1093/icc/9.1.1](https://doi.org/10.1093/icc/9.1.1)
- [9] Bueno E. Enfoques principales en dirección del conocimiento (Knowledge Management) y tendencias. En R. Hernández ed: Gestión del Conocimiento. Ed. La Coda. Fundación Xavier de Salas. 2002.
- [10] Bruneel, J. Salter. Investigating the Factors that Diminish the Barriers to University-Industry Collaboration. Research Policy, 858. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.03.006>
- [11] Chang, H. El Modelo de la Triple Hélice como un Medio para la Vinculación entre la Universidad y Empresa, Revista Nacional de Administración, 85-93. 2010. DOI: <https://doi.org/10.22458/rna.v1i1.286>
- [12] Nonaka, I. y Takeuchi, H. The Knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. Oxford University Press, London & New York. 1995.
- [13] Arocena, R. y Sutz, J. Latin American universities: from an original revolution to an uncertain transition. Higher Education, 50 (4), 573–592. 2005. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-6367-8>.
- [14] Maietta, O. Determinants of university–firm R&D collaboration and its impact on innovation: A perspective from a low-tech industry. Research Policy 44 (7), 1341-1359. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.03.006>.
- [15] Nonaka, I. y Takeuchi, H. Long Range Planning. International Journal of Strategic Management. article in press, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.irp.2021.102070>.
- [16] Veugelers, R. y Cassiman, D. R & D Cooperation Between Firms and Universities, Some Empirical Evidence from Belgian Manufacturing, International Journal of Industrial Organization, 355-379. 2005. DOI: [10.1016/j.ijindorg.2005.01.008](https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2005.01.008)
- [17] García, F. Does Inward Foreign Direct Investment Improve The Innovative Performance of Local Firms? Research Policy, (42) 231-244. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.06.005>
- [18] Zelaya, J. R. La Vinculación Universidad-Empresa y la Provisión de Servicios Tecnológicos, 1ª Ed., Vol. 1, San Salvador, San Salvador, UFG Editores. 2010. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100159>
- [19] Ponce, I. y Güemes, D. Identificación de factores clave de la academia en el proceso de vinculación del modelo de la triple hélice de la innovación en México, Nova Scientia, 8(16), 246-277. 2016. <http://orcid.org/0000-0002-6346-2873>
- [20] Garrido, C. y García, D. FAEDPYME y la Red Universidad-Empresa América Latina y El Caribe-Unión Europea. Red Universidad-Empresa ALCUE. ISBN: 978-607-8066-26-1. 2022.
- [21] Vega, J. y Manjarrés, L. University industry links and product innovation: ¿cooperate or contract? Journal of technology management & innovation, 12(3), 1-8. 2017. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242017000300001>
- [22] Ripoll-Feliu, V. y Diaz-Rodriguez, A. Utilidad para el Control de Gestión de la Transferencia de Conocimiento desde las Relaciones Universidad-Empresa. Pensar Contábil, Rio de Janeiro, v. XVII, n. 63, p. 52 - 59, mai./ago. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/ic.990>
- [23] Pinto-Jiménez, J.J. Sistema de Gestión de competencias basados en capacidades y recursos y su relación con el sistema SECI de gestión del conocimiento, realizadas por las pequeñas empresas del Urola Medio (España). Estudios Gerenciales, volumen 23, octubre-diciembre, 2007, pp.13-38. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(07\)70023-2](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(07)70023-2)
- [24] Bandera C.; Keshtkar F.; Bartolacci M.R.; Neerudu Sh. y Passerini, K. Knowledge management and the entrepreneur: Insights from Ikujiro Nonaka’s Dynamic Knowledge Creation model (SECI). [International Journal of Innovation Studies; Volume 1, Issue 3](https://doi.org/10.1016/j.ijis.2017.10.005), December 2017, Pages 163-174. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2017.10.005>
- [25] Lindströma, J.; Delsingb, J. y Gustafsson, Th. Impact on production systems from recent and emerging complex business models: Explicit and tacit knowledge required. Procedia CIRP 38 (2015) 210 – 215. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.039>

- [26] Nonaka, I.; Hirose, A. y Takeda, Y. Meso-Foundations of Dynamic Capabilities: Team-Level Synthesis and Distributed Leadership as the Source of Dynamic Creativity. *Global Strategy Journal* 6(3):168-182. August 2016. <https://doi.org/10.1002/gsj.1125>
- [27] Berrío, D., López, E., David, S. y Correa, D. Características del reporte corporativo en Latinoamérica: Un análisis sectorial. *Revista Saber, Ciencia y Libertad*, 16(1), 128 – 154. 2021. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2021v16n1.7523>.
- [28] Aroche-Reyes, F.; Molina del Villar, T. y Zárate-Gutiérrez, R. (2022). Transformaciones estructurales, sectores exportadores y desarrollo económico. Análisis comparativo de Corea del Sur, España y México. *Análisis Económico*, vol. XXXVII, núm. 94, enero-abril de 2022, pp. 63-83, ISSN: 0185-3937, e- ISSN: 2448-6655. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2022v37n94/Aroche>
- [29] Ben Larbi, S. La performance des systèmes de gouvernance des entreprises dans un contexte international : Approche comparative des modèles de capitalisme. *Management international-Mi*, 25(spécial), 186-206. 2021. DOI: <https://doi.org/10.7202/1086417ar>.
- [30] Veloso-Saes, E.; Godinho-Filho, M.; Cezar-Carraro, N.; Paula-Ribeiro, S. y Batista de Sousa, M.A. Da agroindústria a manufatura: estudo sobre o perfil dos pequenos negócios, sua estrutura organizacional e elementos estratégicos. *Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios*, Florianópolis, v.13, n. 1, jan./abr. (2020). DOI: <http://dx.doi.org/10.12662/2359-618xregea.v10i3.p62-81.2021>
- [31] INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA DE ENVIGADO.. Carta descriptiva programa de Administración de Negocios Internacionales. Disponible en: <https://www.iue.edu.co/documentos/carreras/pregrados/PlanEstudioAdministracionNegociosInternacionales.pdf>. 2022.
- [32] Escala-Cornejo, A.L. Gestión del conocimiento y transferencia tecnológica en una universidad privada de Guayaquil. *Revista Cubana de Educación Superior RNPS*: 2418 • ISSN: 2518-2730 • No 2• Vol 41• mayo-agosto 2022.
- [33] Velez, C.I.; Afcha, S.M. y Bustamante, M.A. Cooperación Universidad - Empresa y su efecto sobre el Desempeño Innovador Empresarial. *Información Tecnológica*. Vol. 30(1), 159-168. 2019. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000100159>.
- [34] Torres-Vargas, A. y Jasso-Villazul, J. Capabilities and knowledge transfer: evidence from a university research center in the health area in Mexico. *Contaduría y Administración* 64 (1) Especial Innovación, 2019, 1-16. 2018. <http://dx.doi.org/10.22201/fca.24488410e.2019.1808>.

Virtualidad en la enseñanza de investigación en la maestría en Gerencia de Proyectos del Tecnológico de Costa Rica

Virtuality in the teaching of research in the master's degree in Project Management at Tecnológico de Costa Rica

José Roberto Santamaría-Sandoval¹

Santamaría-Sandoval, J.R. Virtualidad en la enseñanza de investigación en la maestría en gerencia de proyectos del Tecnológico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 45-55.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6858>

¹ Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: josantamaria@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-6349-0823>

Palabras clave

Aprendizaje activo; investigación; gestión de proyectos; aprendizaje virtual; autoaprendizaje.

Resumen

La pandemia del COVID-19 provocó que programas educativos bajo modalidad presencial de manera emergente virtualizarán sus métodos de enseñanza. El programa de la maestría en Gerencia en Proyectos del Tecnológico de Costa Rica no escapó de dicha realidad, en específico este trabajo se enfoca en la asignatura Seminario de Metodología de Investigación, el cual tiene por objetivo el desarrollo de la propuesta de su trabajo final de graduación. Es así como aprovechando los recursos TIC pasó de la presencialidad a la virtualidad sincrónica bajo el método de aprendizaje activo en el segundo bimestre del año 2020. El objetivo de este estudio es demostrar como la aplicación de la virtualidad en el curso ha dado resultados positivos en métodos de aprendizaje, evaluación del curso y promoción. La metodología aplicada tiene un enfoque cualitativo dentro de un diseño de investigación – acción. Los resultados de la implementación de la virtualidad se catalogan como positivos al tener un 99% de promoción en la asignatura, un 75% de propuestas aprobadas y con un 70% de promoción de la maestría. Para lograr que la virtualización obtuviera resultados positivos se reformularon actividades académicas y evaluativas, se incluyó la participación de más personal académico de la maestría, se generó material multimedia y se crearon repositorios de información. En conclusión, la aplicación de la virtualidad ha sido positiva para el programa, se implementó bajo un esquema de aprendizaje activo, que promueve la autorregulación y se cumple con la adquisición de los aprendizajes significativos plasmados en el curso.

Keywords

Activity learning; research; project management; electronic learning; self-instruction.

Abstract

The COVID-19 caused educational programs under face-to-face modality to virtualize their teaching methods. The Master's program in Project Management at the Tecnológico de Costa Rica did not escape from this reality, this work focuses on the subject Research Methodology Seminar, which aims to develop the proposal of the final graduation work. Thus, taking advantage of IT resources, it went from face-to-face to synchronous virtuality under the active learning method in the second bimester of the year 2020. The objective of this study is to demonstrate how the application of virtuality in the course has given positive results in learning methods, course evaluation and promotion. The methodology applied has a qualitative approach within an action-research design. The results of the implementation of virtuality are catalogued as positive with a 99% promotion rate in the course, 75% of approved proposals and a 70% promotion rate of the master's degree. In order for the virtualization to obtain positive results, academic and evaluative activities were reformulated, the participation of more academic personnel of the master's program was included, multimedia material was generated and information repositories were created. In conclusion, the application of virtualization has been positive for the program; it was implemented under an active learning scheme, which promotes self-regulation and complies with the acquisition of significant learning embodied in the course.

Introducción

Durante el año 2020 y con la emergencia de la pandemia COVID-19, la educación superior de Costa Rica da un giro hacia la virtualidad en distintas modalidades, que se resumen en dos grandes grupos: sincrónica y asincrónicas. En la Universidad de Costa Rica (UCR) que capacitó a más de tres mil docentes para la implementación de un modelo 100% virtual [1]. Este es el caso de la maestría en Gerencia de Proyectos del Tecnológico de Costa Rica (TEC), que bajo la emergencia cambió su modalidad de presencial a virtual sincrónico.

El curso de Seminario de Metodología de Investigación se ubica en el bimestre 12 del programa de la maestría y antecede a los seminarios de Investigación I y II que son para la realización del Trabajo Final de Graduación (TFG). El curso plantea el estudio de métodos de investigación con una aplicación práctica hacia su TFG que es la construcción de la propuesta, esto bajo un modelo de aprendizaje activo. De tal manera, que cuando se finalice el seminario se logró la aprobación de la propuesta del TFG y con ello continuar en los seminarios I y I en las siguientes secciones del informe y del TFG.

La virtualización de las carreras en educación superior ha sido un proceso gradual, asociado a la necesidad de que los profesionales desarrollen habilidades digitales y que mejor manera que cuando su formación se soporta en las tecnologías de información (TIC). Toda persona profesional egresada de las carreras universitaria debe tener competencia informática, informacional, cognitiva genérica, alfabetización y ciudadanía digital [2].

En Costa Rica se tiene el caso de la Licenciatura en Ingeniería en Telecomunicaciones de la UNED que nace virtual al 100% desde el año 2016, y su bachillerato se desarrolla en una modalidad híbrida de educación a distancia [3]. El modelo integra el uso de las TIC como soporte y base a la formación ya que incluye el uso de plataformas virtuales de experimentación, un entorno de gestión de aprendizajes (LMS, por sus siglas en inglés) y recursos audiovisuales [4].

En cuanto a la formación en gestión de proyectos, un estudio sobre el modelo de docencia pre y post pandemia en cinco grupos de las escuelas de ingeniería de Terrassa y Barcelona y dos asignaturas de proyectos de máster y grado señaló aspectos positivos, pero que recae en los docentes que dicha adaptación hacia la virtualidad sea lo más natural posible, esto por la multiplicación de recursos y propuestas docentes [5]. Por otro lado, en otro estudio se demostró la importancia de la evaluación por pares en la virtualidad, esto en la asignatura de Gestión de Proyectos de cuarto año de las carreras de Ingeniería en Informática y Licenciatura en Sistemas de la Escuela de Tecnología de la UNNOBA por la pandemia COVID-19 [6]. Este estudio demostró la importancia de un aprendizaje activo, donde los estudiantes se autorregulen y generen espacios colaborativos.

Entonces, la implementación de la virtualidad conlleva un giro a un aprendizaje activo, con mayor participación del estudiante. Lo anterior, da un aumento en las capacidades de los estudiantes en su autorregulación, pensamiento analítico, uso de las TIC y trabajo colaborativo [7]. Pero, para una adecuada implementación se requiere los recursos e intencionalidad con la que se utilizan, grado de planificación de la clase y disposición y competencias del profesorado correspondan a la necesidad específica de la implementación [8].

A partir de lo anterior, este estudio tiene como objetivo exponer los resultados que se consideran positivos por parte de la Maestría en Gerencia de Proyectos del TEC de la aplicación de la virtualidad en el curso Seminario de Metodología de Investigación como resultado de la pandemia COVID-19. También, se busca realizar un recuento de las actividades y métodos aplicados que dan soporte adecuado a este modelo de aprendizaje, que va desde herramientas tecnológicas, métodos de enseñanza, tipos de entregables y formato de evaluación.

Para la carrera fue necesario este estudio, porque con ello se pudieron tomar decisiones en cambios del modelo evaluativo, desde un modelo centrado en el profesor a un modelo integral y colaborativo. Además, con ello mejorar los seminarios siguientes y que el proceso del TFG sea orgánico para el estudiante. Ya que, se logra bajo un modelo de evaluación integral y participativo una aprobación de propuesta de TFG, que no solo esta bajo la visión del profesor del curso, sino del tutor del estudiante, de otros profesores de la maestría y de la coordinación de la carrera.

También, la maestría ha considerado dejar este modelo virtual sincrónico como uno formal para el desarrollo del programa, porque a este momento están finalizando las dos primeras generaciones que se formaron con un modelo 100% virtual sincrónico, y donde los resultados que aquí se detallan dan validez a esta implementación. Por lo tanto, se justifica el proyecto por razones de decisiones de la maestría, para evaluar los métodos de aprendizaje y evaluación, medir la eficacia del modelo y valorar la percepción de los estudiantes a través de la evaluación del curso con respecto a la implementación realizada.

Materiales y métodos

La metodología aplicada en el estudio es del tipo cualitativa bajo un diseño de investigación acción práctico. Este diseño se enfoca en el estudio de prácticas locales, desarrollo y aprendizaje de los participantes en el proceso de investigación [9] [10]. Pero a su vez, los autores mencionan que el plan de acción y el liderazgo recae en el investigador, puntos que se detallan en la descripción del proceso metodológico de la figura 1.

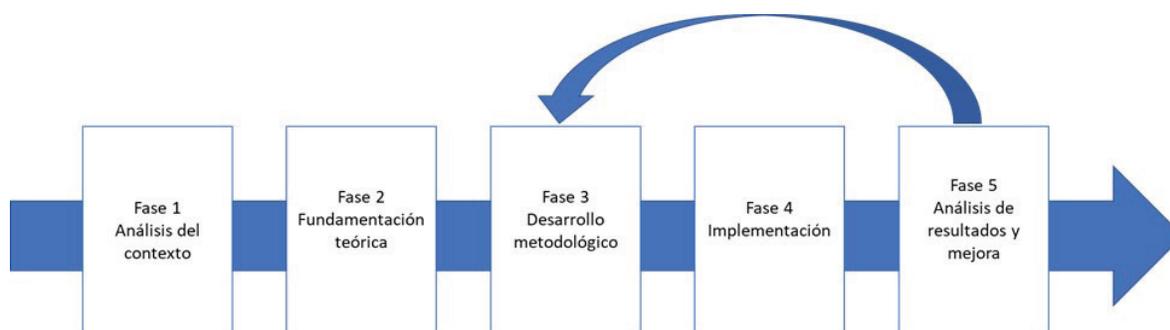


Figura 1. Proceso metodológico aplicado en la implementación de la virtualidad.

En la primera fase se realizó el análisis del contexto de emergencia por la pandemia COVID-19 e implementaciones de virtualidad en cursos y carreras similares a la maestría del TEC, esto recae en el aspecto de estudio de prácticas locales [9]. Para esto, se hace uso de bases de datos como Repositorio TEC, bases de datos suscritas TEC, Google académico y sitios web de universidades que imparten maestrías similares.

En la segunda fase se realizó la revisión de literatura para con ello construir el fundamento teórico. Esta se diferencia de la primera fase, porque la revisión se enfocó en conceptos teóricos, no en casos de estudio. Estos conceptos se refieren a modelos de educación bajo modalidad virtual, metodologías de aprendizaje, técnicas de evaluación y de mediación. En esta revisión se estableció un proceso articulado y ordenado, donde en primera instancia se definieron los conceptos claves para la búsqueda. En segundo lugar, se determinaron los repositorios y bases de datos de literatura científica y académica sobre el tema. Una vez determinadas las fuentes de información se clasificaron y ordenaron para su síntesis e integración al trabajo.

En la tercera fase se desarrollaron los métodos de enseñanza para el paso a la virtualidad del curso. Esta fase incluyó la construcción de material didáctico, creación de repositorios, generación de material de apoyo, definición de actividades de mediación, planeación de las técnicas de evaluación y aprendizaje. estudió el proceso del modelo de implementación de la tutoría virtual que siguió la carrera, determinando sus fases o etapas, métodos de ejecución de esta estrategia y como se daba cierre a cada tutoría realizada.

En la cuarta fase se realiza la implementación en el curso. Si bien, durante el II bimestre del 2020 fue sobre la marcha, a partir del V bimestre y a la actualidad, se realiza una implementación formal, planificada y bajo este proceso. En cada bimestre los estudiantes, profesores y coordinación de la carrera proporcionan aspectos de mejora como participantes activos, para que se incorporen actividades adicionales, modificaciones al modelo de evaluación y analizar otros aspectos hasta de índole administrativa.

Finalmente, en la fase cinco, se realiza por bimestre una revisión de resultados. Esto permitió una mejora en la evaluación del curso hacia un modelo integral de los participantes del proceso a nivel docente: profesor del curso, tutor de la persona estudiante y cuerpo docente de la maestría. Además, permitió establecer mejorar en actividades de mediación que como se reseña se implementaron en el 2021 y otras en el 2022. También, se da un análisis de los resultados de evaluación de los estudiantes hacia el curso, resultados de promoción del curso y del TFG para el análisis de grado de efectividad de aplicación de la modalidad.

Resultados

Esta sección se dividirá en tres aspectos: implementación de la virtualidad incluyendo técnicas de aprendizaje, mediación y evaluación; valoración de los estudiantes a través de las encuestas de calificación del curso y porcentajes de promoción del curso.

Implementación de la virtualidad

La virtualidad se implementa en el curso de Metodología de Investigación en el II bimestre del 2020 durante la fase de cierre estrictos que el Gobierno de Costa Rica implementa por la pandemia COVID-19. Anterior a esta situación, la modalidad del curso era presencial y se impartía según el centro académico al cual se matriculaban los estudiantes: San Pedro, Cartago, Alajuela y San Carlos. La implementación de la virtualidad se realiza en la tercera semana del bimestre en mención siguiendo la resolución R-310-2020 del 18 de marzo del 2020 de la Rectoría del TEC, bajo modalidad virtual sincrónica.

En dicho bimestre, y para finalizar el curso se dan una implementación que mantuvo elementos de la presencialidad, pero se comenzaron a planificar materiales, métodos y cambios en el método de evaluación. A continuación, se realiza un resumen de las principales acciones realizadas para la adaptación del curso a la virtualidad:

- Estructuración de las sesiones. El curso consta de 12 sesiones, dos veces a la semana de cuatro horas cada sesión, para un total de ocho horas semanales y 48 en total. Las sesiones a nivel virtual se planificaron acorde un modelo de aprendizaje activo y mixto. De esta manera se planificaron tres momentos por sesión: presentación teórica – magistral, taller práctico y atenciones individuales. La presentación teórica abarca de una hora a hora y media de los conceptos de investigación para su traslado al documento de TFG. El segundo momento implica un taller constructivo colaborativo de la sección en estudio, se inicia con un documento en blanco y se pide proponer un caso de los TFG del grupo, dicho caso se desarrolla entre todos y eso da pauta para que los demás puedan ir construyendo. Por ejemplo, para los objetivos se pide a una persona estudiante mencionar su problema

y con eso como base, entre todos van aplicando la teoría en la construcción de un juego de objetivos. El profesor no es el actor principal, sino que va guiando y proponiendo, escucha propuestas, redacta y reconstruye conforme van llegando los aportes. Esta parte de la clase toma entre hora y media a dos horas. Por último, en el espacio de media a una hora se dan atenciones individuales de manera balanceada para ir verificando dudas de metodológicas y técnicas de cada propuesta.

- Sesiones de atención individualizada. Los TFG son individuales en el caso de la maestría en Gerencia de Proyectos del TEC, por lo cual, aprovechando el recurso de la virtualidad y que estas permiten grabar sesiones en espacios individuales se incorporaron sesiones de atención individual. Dos sesiones de las 12 que tiene el curso, se programan citas individuales que, dependiendo de la cantidad de estudiantes, van desde los 20 a 30 minutos. Estas sesiones han variado su colocación en el curso, iniciaron en la semana dos, pero conforme al aumento de la comprensión de las necesidades del estudiante, se han colocado en la semana cinco, cuando ya se tiene una versión inicial de la propuesta completa, con ello se atienden dudas puntuales de cara a la presentación al comité evaluador de la propuesta. Los resultados en la semana cinco son positivos comparados a los de la semana dos, sobre todo asociado a la comprensión del estudiante de su proyecto.
- Mejora al modelo de evaluación. Hasta antes de la pandemia, la evaluación del curso era solo realizada por el profesor del curso, por lo cual se había generalizado la idea que el profesor del curso aprobaba las propuestas. Cuando en realidad, si bien el fin del curso es que se obtenga una propuesta sólida y aprobada por la maestría, para ese tiempo era confuso, por cuanto no había un control posterior que evaluará las propuestas como tal. Desde el año 2018, para generar un punto de control y que la aprobación del curso además incluyera una valoración de la propuesta por parte de la coordinación de la carrera y otros profesores, se incorporó una presentación presencial en la semana cinco o seis, pero no aportaba evaluación a la nota del curso. En este caso, la persona tutora del estudiante no era considerada en la evaluación. Con la introducción de la virtualidad se propone al programa una variación en el modelo, de tal manera que fuera integral. En la actualidad la evaluación tiene tres componentes: 15% la persona tutora, 40% comité evaluador de propuesta y 45% profesor del curso. El comité además de evaluar una presentación realiza lectura del documento de propuesta y se compone del coordinador de la carrera y una persona docente. El rubro del profesor del curso se divide en varios entregables: el primero es definición de problema, el segundo justificación y objetivos, el tercero capítulo I en su versión inicial. Además, se incluyen dos entregables como avances para el curso de seminario I que corresponden a una estructura del capítulo II Marco Teórico y una herramienta posible de investigación. Con este modelo de evaluación, la propuesta de TFG de cada estudiante es evaluada de manera integral por las tres partes antes mencionadas. Con ello, se tiene un punto de control y aún finalizado el curso, una vez que se entregan las evaluaciones finales, se solicita al estudiante mejoras si es del caso, y la matrícula del seminario I tiene como hito la aprobación de la propuesta, no como sucedía a antes de la pandemia. También, la virtualidad permitió la participación de más personas docentes del programa, porque antes por desplazamiento solo participaba el coordinador en las presentaciones no evaluadas, pero en la actualidad, se conforman distintos comités y se distribuyen por especialidad de la maestría y de los profesores del comité.
- Generación de rúbricas. Bajo un taller de formación que promovió la carrera con una experta en el campo de aprendizaje y evaluación, se reformularon las rúbricas del curso las cuales en un primer modelo abarcaban rangos amplios de evaluación y calificación por cada aspecto. Desde el punto de vista de aprendizaje en un modelo virtual, las rúbricas

deben ser claras y establecer elementos concretos. El modelo actual se establecieron rúbricas con elementos específicos de cumplimiento y con escalas del 0 al 4, que, bajo un porcentaje relativo por cada aspecto, genera la obtención de un puntaje y ello suma en la evaluación. Además, se agrega un espacio de observación donde se dan los comentarios que fundamentan la evaluación realizada. En la figura 2 se observa un aspecto de los evaluados en el problema, el cual se compone de cinco aspectos.

Problema	Peso Relativo	4	3	2	1	0
Generalidad de la definición de problema a. Indica de manera precisa cuál es el problema u oportunidad, relacionado con la gerencia de proyectos, que se quiere abordar. b. No deja dudas en el lector sobre la situación que se plantea como problema. c. No lo define en términos de la solución. d. No justifica que el problema exista, sino que lo evidencia. e. Tiene una redacción coherente y enlaza los elementos que desarrolla en la problemática. f. La redacción incluye una declaración sintética y concisa del problema, dicha declaración no la realiza en términos de falta de algo o la no existencia de algo, sino que realmente declara el problema.	33%	Desarrolla de manera completa todos los puntos solicitados.	Desarrolla la mayor parte de los aspectos solicitados o los desarrolla de manera escueta.	Desarrolla la mitad de los aspectos solicitados y de una manera escueta sin fundamento.	Desarrolla menos de la mitad de los aspectos solicitados o de una manera solo indicativa sin desarrollo de contenido.	No desarrolla ningún aspecto solicitado.

Figura 2. Ejemplo de rúbrica aplicada en el curso de metodología de investigación.

- Creación de material y repositorio. Como parte de una implementación que de soporte al proceso de aprendizaje para el curso se han creado 27 vídeos de entre tres a seis minutos con explicación detallada de cada parte de la propuesta y del TFG, presentaciones por cada elemento metodológico y sección del TFG, realización de material complementario como guía del TFG, cada sesión se graba en distintos vídeos relacionados a cada tema que se va tratando y un repositorio de información. Este repositorio se ha coloca en Google drive adonde a los estudiantes se les da acceso, pero este ya se esta migrando a TEC Digital, para con ello se pueda acceder por parte de los estudiantes del curso. Esto es una ventaja de la virtualidad, porque si bien su modalidad es sincrónica, estos materiales les permite repasar la clase, material escrito y multimedia en todo momento. De esa manera, si quedan dudas pueden revisar las consultas realizadas, pero a su vez, establecer consultas estructuradas.

Valoración de los estudiantes

Con respecto a las evaluaciones de los estudiantes desde el I bimestre del 2020 a la actualidad, en el cuadro 1 se hace un recuento de estas.

El promedio de evaluación del curso en el período en estudio es de 8,8 en una escala con máximo puntaje de 10. La evaluación más baja fue en el III bimestre del 2021 con una nota de 7,9 y la más alta en el III bimestre del 2022 con un 9,8. Se analiza que la situación del III bimestre surge porque en ese bimestre se implementó el modelo de evaluación integral, por lo cual se dieron descoordinaciones en tiempos de evaluación y claridad del papel de la persona tutora que afectaron el parecer de los estudiantes. Pero, es de notar como un año después y con la madurez adquirida y mejoras implementadas, para las evaluaciones del 2022 se obtienen las notas más altas al momento. Otra evaluación importante de resaltar es la calificación de 9,2 en el VI bimestre del 2021, donde la matrícula como se reseñará en la siguiente sección, era de 57 estudiantes, al unirse tres grupos. Entonces, los aprendizajes de la implementación del III bimestre permitieron lograr una mejoría sustancial al VI bimestre y consolidándose en el 2022.

Lo anterior refuerza un elemento expuesto en la introducción de este estudio, la virtualidad es un proceso gradual y en constante mejora. Esto lo demuestran los resultados de evaluación, porque tomando como referencia madurez y lecciones aprendidas de los bimestres del 2020 al 2021, la evaluación actual es gratificante para la carrera.

También, puede ser un punto de inflexión, el tema de los grupos que iniciaron en virtualidad y cuáles no. Los del año 2022 iniciaron su maestría en virtualidad, y los del 2021 se puede considerar que un 50% de su carrera. En conversación con algunos estudiantes de las

generaciones 2021, señalan que como el paso a la virtualidad fue abrupto habían quedado con cierta indisposición, por lo cual, al afrontar un modelo integral y verse con distintas opiniones frente a su TFG, genera esa evaluación.

Cuadro 1. Resultados de evaluación de los estudiantes hacia el curso de metodología desde el I bimestre del 2020.

Ítems	San Pedro	San José-Mitad	Cartago-Virtual	Alajuela-Virtual	Virtual				Promedio
	2020	2020	2020	2020	2021	2021	2022	2022	
	I	II	V	VI	III	VI	II	III	
Asignó actividades para ser ejecutadas fuera de la clase	8,6	8,3	7,8	8,8	7,6	9,2	8,8	9,9	8,6
Atendió las dudas de los estudiantes.	9,4	9,5	8,7	8,0	8,2	9,1	9,8	10,0	9,1
Contenidos	8,9	9,5	8,1	8,0	8,6	9,4	9,8	9,9	9,0
Entrega de resultados en el tiempo acordado	8,4	10,0	8,8	9,0	9,0	9,5	9,5	9,7	9,2
Estimuló el razonamiento crítico y creativo del estudiante.	8,4	8,8	7,5	7,3	7,2	8,6	8,7	9,9	8,3
Evaluaciones con instrucciones claras	7,8	9,0	7,6	7,8	7,2	9,1	8,7	9,7	8,3
Evaluaciones congruentes a los contenidos del curso	8,5	8,8	7,4	8,3	6,8	9,1	9,5	9,9	8,5
Horario	8,2	10,0	9,6	8,3	9,2	9,7	9,8	10,0	9,3
Organización de lecciones	8,5	9,8	8,3	8,0	8,0	9,1	9,3	9,9	8,8
Presentación clara de la materia	8,4	9,3	7,3	8,0	7,6	9,1	9,0	9,4	8,5
Promovió un clima de confianza y respeto durante el desarrollo de las lecciones.	9,0	9,3	9,5	8,0	7,8	9,1	9,8	9,9	9,0
Propició la comprensión de los contenidos	8,3	8,8	7,7	8,3	7,4	9,0	8,5	9,4	8,4
Total general	8,5	9,2	8,2	8,1	7,9	9,2	9,3	9,8	8,8

Nota: El grupo del I bimestre del 2020 de San Pedro es el último presencial. El grupo II bimestre del 2020 de San José fue el grupo que paso a la virtualidad. Los grupos del V y VI bimestre del 2020 y los del 2021 iniciaron la maestría presencial y pasaron a la virtualidad. A partir del año 2022 todos los grupos fueron virtuales.

Del cuadro 1, otro elemento a resaltar es la evaluación en los puntos de evaluaciones congruentes y con instrucciones claras. El cambio a la virtualidad les generó dudas a los estudiantes que se reflejan en las notas obtenidas hasta el III bimestre del 2021, pero posterior se denota una mejoría clara hasta que en el año 2022 se puede decir que su evaluación es de 9,5. Siempre hay espacio de mejora, pero hay una tendencia a la mejora conforme se va consolidando el modelo

Promoción del curso

En cuanto a la promoción del curso, en los mismos períodos mostrados en la tabla 1, se resumen en la tabla 2. En esta tabla se muestran los bimestres, cantidad total de estudiantes, y porcentajes de aprobación, incompleto y reprobados, así como el promedio de las notas obtenidas. En cuanto a incompleto, es porque los estudiantes que presentan una justificación fundamentada a la coordinación de la maestría, se les permite extender el tiempo de realización de la propuesta en uno o dos bimestres, un 10% porcentaje de los aprobados en algún momento solicitaron se colocase un incompleto (IN).

Cuadro 2. Resultados de evaluación y promoción del curso de Seminario de Metodología de Investigación en el periodo 2020 al 2022.

Bimestre	Cantidad de estudiantes	% Aprobados	% Incompletos	% Reprobados	Promedio de notas
I bimestre 2020	26	100%	0%	0%	82,88
II bimestre 2020	19	63%	37%	0%	83,55
V bimestre 2020	29	93%	7%	0%	91,25
VI bimestre 2020	18	100%	0%	0%	85,33
III bimestre 2021	17	82%	18%	0%	86,42
VI bimestre 2021	57	91%	5%	4%	82,59
II bimestre 2022	20	95%	5%	0%	88,68
III bimestre 2022	24	71%	29%	0%	89,41

Del cuadro 2 se desprende que el porcentaje de promoción se mantiene en un 87% en promedio. Con respecto al I bimestre del 2020, hay una disminución, pero debe considerar que es a partir del 2021 donde se modifica la evaluación a un modelo integral. Si solo se considera el modelo integral desde el 2021 la promoción ha sido de 85%, que, si bien es 2% menor al promedio, pero con la ventaja de ser una evaluación integral, dando más fundamento y reforzando el parecer sobre una propuesta que se presente.

Los bimestres II del 2020 (afectado por la pandemia directamente), III bimestre del 2021 y III bimestre del 2022 son los que presentan los porcentajes más altos de IN. Cada uno tiene su explicación porque el caso del 2020 ha sido el más complicado, producto que situaciones en empresas que desaparecieron, personas que quedaron sin empleo y otras situaciones vivenciales que afectaron la continuidad en el programa. Aun así, el 63% aprobó lo cual es un dato para destacar. Luego, lo ocurrido con el III bimestre del 2022 es de analizar, porque estos mismos estudiantes colocan una nota de 9,8 a la evaluación del curso. Las razones de sus incompletos son cambios de trabajo sea interno de la empresa o hacia otras empresas, otros expresaron que entendiendo el proceso del TFG analizaron con calma que su idea no iba a ser aceptada o ni siquiera era del campo y se dedicaron a buscar opciones. De estos estudiantes, actualmente todos siguen su proceso y ya tienen empresa y problema que atender.

El dato importante, es que anteriormente como un 50% de las propuestas no llegaban a defender, porque el proceso no se comprendía o la misma propuesta se veía expuesta a retrabajos. Si se contemplan los resultados del 2021 a la fecha, se tiene que el porcentaje aumento a un 70% que logran finalizar su proceso, lo que da una certeza al proceso implementado y que la virtualidad correctamente aplicada es un modelo válido de aprendizaje

Conclusiones

La implementación de la virtualidad en el curso de Metodología de Investigación de la Maestría en Gerencia del TEC se concluye ha sido positiva. Lo anterior, al valorar los resultados de las evaluaciones del curso y promoción de este. Es importante destacar, que se concluye que los mejores resultados se obtienen bajo un proceso consolidado pero que en momento de cambios e implementaciones nuevas, las personas estudiantes tienden a resentirlo.

También se concluye, la importancia que tiene la planificación adecuada de la mediación pedagógica que incluye actividades, material, estructuración de las sesiones de trabajo, así como de la necesidad de ajustes en los modelos de evaluación para que la virtualidad sea un medio eficaz en los procesos de aprendizaje. Cabe resaltar, que la implementación debe tener un balance adecuado entre momentos sincrónicos y asincrónicos. Sobre todo, en posgrados que se trabaja con profesionales, estos deben tener habilidades de autorregulación y de autoaprendizajes, por lo tanto, los espacios asincrónicos se deben aprovechar, pero incentivar con material complementario y de soporte.

Se destaca del trabajo, como la virtualidad debidamente planificada ha permitido una integración del cuerpo docente de la carrera, ha permitido la unificación de criterios y aumentar la participación. Se ha pasado de un modelo centrado en el profesor del curso a un modelo integral, donde todos los actores son parte activa, y sobre todo, es un modelo centrado en el estudiante.

Por último, la virtualidad dispone de una serie de herramientas que permiten acciones que en la presencialidad no es posible como, participaciones a distancia de tanto estudiantes como profesores, generación de entornos privados y facilidad de grabación de estos, compartir material en tiempo real y con niveles de seguridad.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo a la coordinación y equipo de apoyo de la Maestría en Gerencia de Proyectos del TEC, que han apoyado en todo momento la realización de este trabajo, brindado la información y con la apertura a la participación en congresos de esta índole. Especialmente al Ing. Milton Sandoval, coordinador y MGP. Sibiany Antonio Solano, asistente de la coordinación.

Referencias

- [1] C. Oviedo y B. Alfaro. "UCR aplica plan inédito en el país para integrar la virtualidad". *Semanario Universidad*. 16 de setiembre 2020. <https://semanariouniversidad.com/universitarias/ucr-aplica-plan-inedito-en-el-pais-paraintegrar-la-virtualidad/>
- [2] L. Tirreni, G. Vilanova y J. Varas. "Desarrollo de competencias digitales en propuestas pedagógicas en ambientes mediados. Un caso en educación superior bajo modelo de aula extendida". *Informes científicos técnicos-UNPA*, vol. 11, no. 3, pp. 61-87, 2019. <http://doi.org/10.22305/ict-unpa.v11.n3.797>
- [3] J. R. Santamaría-Sandoval. "Estrategia de implementación del modelo B-learning en el nivel de Bachillerato en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica" (Tesis maestría). UNINI Puerto Rico – Universidad del Atlántico España. 2021. https://aleph23.uned.ac.cr/exlibris/aleph/a23_1/apache_media/D33EU2S5FX3MCM2RVVRGKD38U85CGU.pdf
- [4] J. R. Santamaría-Sandoval y E. Chanto-Sanchez. "Valoración del Modelo de Enseñanza a Distancia Virtual en la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones en tiempos de COVID-19". *Revista de Educación Superior*, vol. 20, no. 31, pp. 27-45, 2021. <https://revistavipi.uapa.edu.do/index.php/edusup/article/view/253>
- [5] L. Canals Casals, B. Amante García, M. Macarulla, V. López-Grimau y A. Guinart. "Adaptabilidad de las asignaturas de gestión de proyectos a la virtualidad debido a la COVID-19" en el 25th International Congress on Project Management and Engineering, 2021.

- [6] L. M. Esnaola y H. D. Ramón. “Implementando evaluación por pares en la virtualidad”. *Repositorio Digital UNNOBA*, 2020. <https://repositorio.unnoba.edu.ar/xmlui/handle/23601/169>.
- [7] S. Freeman, S. L. Eddy, M. McDonough y M. P. Wenderoth. “Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics” en actas de *National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 23, pp. 8410-8415, 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- [8] L. García Aretio. “Blended learning y la convergencia entre la educación presencial y a distancia”. *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, vol. 21, no. 1, pp. 09-22, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.5944/ried.21.1.19683>
- [9] R. Hernández-Sampieri y C. Mendoza-Torres. *Metodología de la Investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw-Hill, 2018.
- [10] C. Bernal. *Metodología de la investigación para Administración, Economía, Humanidades y Ciencias Sociales*. Cuarta edición, Colombia: Pearson, 2016.

Enseñanza del ordenamiento territorial como herramienta en la gestión de proyectos de obra pública

Teaching spatial planning as a tool in project management for public infrastructure

Karla Barrantes-Chaves¹

Barrantes-Chaves, K. Enseñanza del ordenamiento territorial como herramienta en la gestión de proyectos de obra pública. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 56-65.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6859>

¹ Escuela de Ingeniería Topográfica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
Correo electrónico: karla.barrantes@ucr.ac.cr.
 <https://orcid.org/0000-0003-1554-6842>

Palabras clave

Ordenamiento territorial; obra pública; experiencias didácticas; gestión territorial.

Resumen

El ordenamiento territorial es una disciplina que busca organizar los usos del suelo de manera sostenible en un territorio, buscando minimizar los conflictos entre estos. Por su naturaleza es interdisciplinaria y está relacionada no solo con aspectos físicos del territorio, sino también con políticas públicas, participación ciudadana y normativa institucional. Organizar eficientemente la ciudad facilita la gestión de obra pública y reduce los procesos burocráticos. Esta ponencia tiene como objetivo exponer una experiencia de 8 años de enseñanza de ordenamiento territorial para la carrera de Ingeniería Topográfica en la Universidad de Costa Rica, abordando la experiencia en la utilización de diferentes técnicas didácticas. Metodológicamente este trabajo se basa en evaluaciones del desempeño docente desde el año 2010 hasta el 2021 (con una interrupción de cuatro años), correspondientes al curso dedicado a ordenamiento territorial, estas evaluaciones se realizaron semestralmente y se completaron por las personas estudiantes de forma anónima, así mismo, se complementa con experiencias de docentes que han incluido aspectos relacionados con ordenamiento territorial en sus propios programas. Mediante un análisis cualitativo se busca exponer las estrategias didácticas que se han adaptado mejor a los objetivos de aprendizaje, así como visibilizar la importancia de enseñar ordenamiento territorial para agilizar los procesos de inversión pública en la ciudad. Entre los principales hallazgos, se encuentran la eficacia de las visitas de campo, el uso de Sistemas de Información Geográfica en el aula y la incorporación de herramientas colaborativas en la enseñanza de temas territoriales en ingeniería.

Keywords

Planning; public infrastructure; teaching experiences; territorial management.

Abstract

Spatial planning seeks to organise land uses within a territory sustainably, trying to minimise conflicts between them. By its nature, it is an interdisciplinary field related not only to physical aspects of the territory but also to public policies, citizen participation and institutional regulations. Furthermore, the efficient organisation of the city facilitates public infrastructure management and reduces bureaucratic processes. This paper aims to present an experience of eight years of teaching planning for the Topographic Engineering degree at the University of Costa Rica; it explores experiences using different didactic techniques. Methodologically, this work is based on assessments of teaching performance from 2010 to 2021 (with a four-years gap), from a course focused on planning; these appraisals were carried out every six months and were completed by students anonymously. This information is complemented by the experiences of university lecturers who have included aspects related to planning in their modules. Finally, through qualitative analysis, this paper aims to show didactic strategies that have been best adapted to the learning objectives from the modules, as well as to make visible the importance of teaching planning to speed up the processes of public investment in the city. Among the main findings are the effectiveness of field visits, the use of Geographic Information Systems in the classroom and the use of collaborative tools in teaching territorial issues in engineering.

Introducción

La enseñanza del ordenamiento territorial en los campos de la ingeniería y arquitectura es una necesidad latente que permite articular herramientas territoriales con diferentes campos del ejercicio profesional. Esta disciplina busca organizar los usos del suelo de manera sostenible en un territorio minimizando los conflictos entre estos, por su naturaleza es interdisciplinaria y está relacionada no solo con aspectos físicos del territorio, sino también con políticas públicas, participación ciudadana y normativa institucional. Es una disciplina que requiere un ajuste continuo tal y como lo hace la medicina, donde su práctica reacciona y se moldea con los cambios tecnológicos, demográficos y sociales, las nuevas generaciones de profesionales en planificación urbana y regional deben ser capaces de enfrentar los retos del cambio climático, desigualdades socioeconómicas y problemas ambientales [1].

La naturaleza de la enseñanza del ordenamiento territorial se ha transformado a través del tiempo, desde la racionalidad instrumentalista que recae exclusivamente sobre herramientas técnicas y datos económicos, la cual fue ampliamente usada después de la Segunda Guerra Mundial, hasta procesos más dinámicos que reconocen las rápidas transformaciones de la sociedad y se basan en modelos mixtos que reconocen condiciones realistas del día a día, como la carencia de información [2]. Así mismo, las barreras epistemológicas que usualmente definen los límites de cada disciplina se rompen cuando se enseña ordenamiento territorial, pues involucra tanto áreas como planificación espacial, arquitectura, ingeniería, ciencias básicas, ciencias sociales, entre otras. En ese sentido, Madanipour [3] sugiere que la investigación en planificación tiene nuevos retos tales como la diversidad epistemológica, pluralismo y traslape de conocimientos. Reconociendo estos retos, Madanipour propone dos caminos: a. Paradigmas meta-disciplinarios: los cuales proveen conceptos estructurales ‘sombrilla’ que son adoptados por diferentes disciplinas, o bien, b. Prácticas dialógicas: estas permiten la colaboración entre campos donde existe un traslape de conocimientos multi, inter y trans-disciplinariamente, así se reconoce que el conocimiento tiene varias manifestaciones que deben ser tomadas en cuenta para construir nuevo conocimiento. Así, es importante reconocer no solo el carácter dinámico de la planificación territorial, sino también, que no existe una hegemonía disciplinaria que dicte las reglas, es un conjunto de saberes que se entrelazan y evolucionan.

Organizar eficientemente la ciudad facilita la gestión de obra pública y reduce los procesos burocráticos, para esto, debe existir entrenamiento en las personas tomadoras de decisiones en aspectos básicos de ordenamiento territorial. La perspectiva gerencial y de manejo de la planificación estratégica para obras de infraestructura tiene sus inicios en los 70s [4], sin embargo, es necesario ir más allá de la perspectiva gerencial y abordar otros campos que permitan a las personas tomadoras de decisiones un conocimiento informado de la caracterización del sistema, los retos sobre incertidumbres futuras y la flexibilidad para ajustarse a los cambios [4]. Así las cosas, la planificación territorial y la construcción de obra pública se entrelazan con visiones a corto, mediano y largo plazo. Si bien la literatura académica sobre este tema ha incorporado en su discurso el tema de la sostenibilidad, aún existe una brecha de conocimiento en la documentación rigurosa de la planificación estratégica en este tema y su operatividad en la práctica [5], de manera que esa literatura aún es aspiracional, Malekpour et al. [5] señalan que es necesario un rol más proactivo del ordenamiento territorial en obra pública que provea una cultura de planificación proactiva que se adapte a los cambios, incluyendo las perspectivas gerenciales que permitan incluir diferentes opciones de análisis de costos y beneficios.

Este trabajo busca visibilizar la importancia de enseñar ordenamiento territorial como una perspectiva más operacional, para que futuros y futuras profesionales en los campos de ingeniería y arquitectura a cargo de obra pública, tengan herramientas para hacer frente a estos proyectos con conocimiento informado. El trabajo se centra en dos ejes principales: a) la evolución de diferentes técnicas didácticas, tales como la incorporación de TIC's, giras de

campo, sensibilización sobre el rol social de la ingeniería, entre otras. Estas experiencias se analizan a la luz de las enseñanzas pre-pandemia, durante esta, así como los aprendizajes con el regreso a la presencialidad; b) una reflexión sobre la importancia de enseñar ordenamiento territorial en el campo de la ingeniería y arquitectura para mejorar los procesos de gestión de proyectos de obra pública.

Metodología

Este trabajo tiene un abordaje cualitativo y se basa principalmente en el caso de estudio del curso IT 6004, este curso está enfocado a la enseñanza del ordenamiento territorial y pertenece al plan de estudios de la carrera de Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica. Este artículo se construyó a partir de tres fuentes de información principales: a) La sistematización de comentarios de estudiantes en la evaluación docente del curso IT 6004 desde el 2010 al 2021 (salvo el período 2017- 2020); b) La recolección de experiencias didácticas de la autora impartiendo el curso mencionado por ocho años; c) Entrevistas a docentes y personas investigadoras de la Escuela de Ingeniería Topográfica que han impartido el curso, o bien que enseñan materias donde han incorporado componentes de ordenamiento territorial.

El objetivo de tener diferentes fuentes de información es triangular los datos, tal y como señala Yin [6] esta técnica permite ofrecer una mayor confiabilidad al caso de estudio. Los comentarios de estudiantes y entrevistas a docentes fueron procesadas mediante el método de Análisis de discurso, el cual busca identificar los repertorios interpretativos de los individuos según como ven el mundo, según sus consecuencias y limitaciones [7], este análisis busca explorar algunos significados detrás de patrones y abstraer del discurso las visiones sobre la enseñanza del ordenamiento territorial en las personas entrevistadas.

Resultados y discusión

La enseñanza del ordenamiento territorial tiene grandes retos, uno de los más importantes es acercar la teoría a la práctica, tal y como lo ha señalado Malekpour et al. [5] existe una brecha en las personas tomadoras de decisión, para tomar decisiones con un conocimiento informado más amplio, que integre la parte gerencial, con la caracterización del sistema y la participación de diferentes integrantes de la comunidad.

Enseñando ordenamiento territorial para ingeniería

Las herramientas para enseñar ordenamiento territorial son muy amplias, aunque no siempre evidentes. La experiencia con el curso IT 6004 especializado en ordenamiento territorial, ha permitido a la autora crecer en el proceso de enseñanza, para lo cual se brinda un análisis autocrítico basado en las experiencias y reacciones de estudiantes hacia distintas técnicas didácticas.

En sus inicios en el año 2010, el curso fue planteado desde una perspectiva teórica con casos de estudio de la realidad nacional. Esta disciplina depende no solo de referentes teóricos, sino también de múltiple legislación. En este sentido los comentarios de algunos estudiantes sugerían un mayor balance entre la teoría y práctica, así como tener la oportunidad de acercar su disciplina (Ingeniería Topográfica) a los desafíos del ordenamiento territorial. Gracias este tipo de evaluaciones anónimas es posible ajustar las técnicas didácticas hacia mecanismos con los cuales las personas estudiantes se sientan más identificadas y permitan lograr los objetivos de aprendizaje más eficientemente, así las cosas, se implementaron las siguientes técnicas didácticas:

- a. **Aumento en el tiempo dedicado a giras de campo:** Las giras de campo han demostrado ser un elemento fundamental en el proceso de aprendizaje durante el curso, si bien el curso inicialmente contemplaba una gira, no solo se aumentó el tiempo dedicado a conocer la realidad nacional en el campo, sino que los contenidos del curso se ajustaron y articularon con una gira de dos días, así, paulatinamente durante el semestre se tratan temas sociales, ambientales, económicos y legales que tienen como eje transversal dicha gira, en esta, los y las estudiantes comprueban y analizan con un caso real las experiencias expuestas en clase. Estas giras de campo se abordan temáticas de Zona Marítimo Terrestre, desigualdades espaciales, renovación urbana, zonificación, planes reguladores (planes de ordenamiento territorial), gestión municipal, historia y patrimonio, vialidad, crecimiento urbano, entre otros.
- b. **Estudios caso mediante roles:** Como se mencionó, existe un componente teórico alto, gran parte de este componente incluye normativa de planificación territorial. Sin embargo, aprender la regulación no es suficiente, hoy se puede enseñar una norma que mañana estará derogada. Tal y como lo plantean Frank y da Pires [1] el ordenamiento territorial es una disciplina que está en constante transformación y esto incluye la legislación sobre el tema. Por esto, más allá de conocer el contenido de la norma, lo más relevante es poder aplicarla, conocer su espíritu, trasfondo y coyunturas que llevaron a su creación. Los estudios de caso mediante roles han permitido a los y las estudiantes identificarse con situaciones de la vida real desde diferentes perspectivas, de modo que estos debaten sobre un caso real o ficticio y asumen roles donde algunos estudiantes representan al gobierno local, otros a ambientalistas, empresa desarrolladora o integrantes de la comunidad con distintos intereses. Estos debates han abierto la discusión respetuosa pero realista de como la normativa puede interpretarse de distintas formas y favorecer a un grupo según la argumentación que se desarrolle.
- c. **Caminatas:** Si bien podría considerarse como una extensión de las giras de campo, las caminatas permiten explorar temas específicos con metodologías investigativas como el 'Rastro de plática' [8], donde se sondea la percepción de seguridad en diferentes entornos urbanos a través de caminatas y georreferenciación de las percepciones. Así, los futuros ingenieros e ingenieras analizan críticamente un entorno en base a su propia experiencia en el lugar y la forma en que lo perciben.
- d. **Actividades lúdicas:** El uso de actividades lúdicas como mecanismo de aprendizaje ha demostrado incrementar la percepción de estudiantes en clase [9], en este sentido el juego además, permite a la persona estudiante tener una clase más amena. En este caso el contenido de historia de las ciudades del curso ha sido cubierto mediante juegos como ¿Quién quiere ser millonario? o preparación de micrositos en la Web. Así mismo, otros contenidos del curso se han evaluado o practicado mediante diferentes plataformas colaborativas, las cuales se abordarán más adelante en la sección *Retos y aprendizajes en la enseñanza a raíz del COVID-19*.
- e. **Uso de SIG en el aula:** El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) está estrechamente vinculado a la práctica del ordenamiento territorial, durante la evolución de la carrera, el entrenamiento en estos temas también se ha incrementado, esto ha permitido utilizar esta herramienta en clase y para trabajos. A lo anterior se suma la popularización de software de fuente libre (QGIS), lo que ha permitido a más estudiantes tener acceso a estas herramientas en sus hogares.

- f. **Flexibilidad en mecanismos de evaluación:** Diferentes técnicas de evaluación se han implementado durante el curso, dentro de los comentarios más positivos de los y las estudiantes durante la pandemia del COVID-19 se destacó precisamente el haber contado con diferentes mecanismos de evaluación tales como crucigramas virtuales, foros, estudios de casos, álbumes de fotos, entre otros.

La efectividad de estas técnicas ha sido comprobada a través de los mismos cuestionarios de evaluación, en los cuales, las personas estudiantes han manifestado su satisfacción con la versatilidad de componentes del curso, su dinamismo, la aplicación de diferentes metodologías de investigación y el contacto con la realidad nacional. Por otra parte, analizando aspectos que han sido siempre resaltados por los estudiantes, están los beneficios de sentirse en la confianza de poder hacer consultas libremente en clase, lo cual favorece su participación y su aprendizaje.

Retos y aprendizajes en la enseñanza de ordenamiento territorial a raíz del COVID-19

La pandemia del COVID-19 trajo enormes retos en la enseñanza a nivel mundial, pero también muchos aprendizajes y herramientas nuevas para utilizar en la docencia. Uno de los profesores que impartió el curso de ordenamiento territorial IT 6004 en el periodo 2019-2020, señala que hubo elementos de la presencialidad que fueron imposibles de replicar en la virtualidad, como es el caso de la gira de campo de dos días, la cual estaba muy articulada con los contenidos del curso. La pérdida de este recurso, afectó en cierta medida los contenidos didácticos, así como la motivación de grupo. Así mismo, durante la pandemia el nivel de participación en clases virtuales era más bajo, por lo que se recurría al trabajo en grupos para generar un poco más de dinamismo a la clase.

Sin embargo, con la pandemia fue posible explorar otras opciones que anteriormente se usaban de forma más limitada, este profesor indica, que una de las herramientas con mayor aceptación por parte de sus estudiantes fue la incorporación de charlas con especialistas nacionales e internacionales. La virtualidad permitió acortar distancias y diversificó el acceso a otras fuentes de conocimiento. Otra ventaja señalada por el docente fue la facilidad para realizar talleres de SIG, debido a que no existía la necesidad de solicitar un laboratorio de cómputo para realizar los entrenamientos y el grupo de estudiantes podía descargar el software libre QGIS.

Por otra parte, el profesor a cargo del curso Urbanismo (diseño de topográfico de urbanizaciones y condominios), coincide con el docente anterior en que la pérdida de las giras de campo fue un gran reto cuando se pasó a la virtualidad, él acostumbraba subirse con sus estudiantes en el tren y mostrarles los cambios en los usos del suelo en distintos puntos del Gran Área Metropolitana de Costa Rica, así mismo, hacía caminatas con su grupo para mostrarles diferentes aspectos relacionados con el curso. Con la llegada de la virtualidad, este docente tuvo que tratar de replicar esta experiencia con fotografías aéreas y herramientas disponibles en plataformas tales como Google Earth.

Para la profesora encargada del curso de Hidrometría, las clases virtuales potenciaron su ya creciente interés en herramientas tecnológicas, esto se tradujo en una gran oportunidad para utilizar diferentes aplicaciones y brindar más independencia a los y las estudiantes en su proceso de aprendizaje, esta profesora ha sido defensora de la 'Nube Computacional', la cual fue implementada por el Centro de Informática de la Universidad de Costa Rica (UCR) y permite a estudiantes de la UCR acceder a software y recursos tecnológicos desde sus equipos personales. Ella señala que frecuentemente utilizó herramientas como pizarras colaborativas, aplicaciones y juegos en línea. Adicionalmente, ella también complementó sus clases virtuales con juegos de roles sobre situaciones relacionadas con el recurso hídrico, donde estudiantes representaban intereses municipales, comunales o empresariales.

En el caso de la autora, quién retomo el curso IT 6004 en el año 2021 luego de cuatro años de ausencia, le fue posible experimentar un semestre de virtualidad y posteriormente en el año 2022 el regreso a la presencialidad. En este sentido, dentro de las técnicas didácticas más exitosas en la virtualidad fue la implementación de Wikis, ahí se construía colaborativamente conocimiento y grupos de estudiantes creaban su propio micro sitio con contenidos específicos del programa del curso, por ejemplo, un Wiki sobre historia de las ciudades, donde un equipo abordaba el Renacimiento, otro La Edad Media, etc. Posteriormente, los equipos exponían sus trabajos al resto de sus compañeros. Este recurso está disponible de las plataformas de Moodle de aulas virtuales, que para el caso de la UCR se conoce como METICS (Mediación Virtual). Similar al caso del curso de Hidrometría, también se utilizó el recurso de pizarras colaborativas, esta experiencia permitió que estudiantes que tenían una baja participación en clase, pudieran participar en la construcción colectiva del conocimiento de una forma dinámica, también se incorporaron juegos en línea y encuestas de opinión. A raíz de los buenos resultados con las charlas que obtuvo el profesor que impartió el curso entre 2019 y 2020, se retomaron estas conversaciones con profesionales nacionales e internacionales en el campo del ordenamiento territorial, así como el uso de repositorios de información alimentados por los y las estudiantes.

Con el regreso a la presencialidad la experiencia de la virtualidad deja enormes aprendizajes, que permiten una hibridación de la educación superior en ciertos aspectos, ha permitido acortar las barreras territoriales y normalizar conferencias con especialistas de diferentes partes del orbe, también ha contribuido a dar más flexibilidad al personal docente al implementar clases asincrónicas para ciertos contenidos. Por otra parte, cuando los y las estudiantes cuentan con recursos tecnológicos en casa, permite un acceso inmediato a diferentes software y aplicaciones para uso en clase. Sin embargo, existen aún enormes retos en términos de acceso a la tecnología y desigualdad económica, esto implica que los y las estudiantes no están en igualdad de condiciones a la hora de recibir una clase virtual. Según datos del Estado de la Educación, una publicación bianual que diagnostica las condiciones de la educación en Costa Rica y sugiere propuestas de mejora, Costa Rica ha sufrido un 'apagón educativo' el cual fue provocado inicialmente por condiciones coyunturales pre-pandemia; sin embargo, con las medidas tomadas a raíz del COVID-19 y la pérdida de empleo en muchos hogares, se exacerbó las condiciones adversas por las que estaba atravesando el sistema educativo [10]. Similar a otros países alrededor del mundo, la crisis sanitaria visibilizó la brecha digital en los hogares, según el Estado de la Educación 2021, se hicieron más prominentes las desigualdades socioeconómicas, de manera que las familias con menores recursos económicos tenían mayores inconvenientes para participar en educación remota de buena calidad, especialmente en relación al acceso a internet y la disponibilidad de equipo tecnológico en los hogares [10].

Si bien, este informe destaca que las universidades públicas no redujeron su matrícula en el segundo semestre del 2020 ni en el primero del 2021, y generaron aportes importantes para afrontar la crisis sanitaria tanto en investigación como en acción social, recalca que el impacto provocado por el COVID-19 se dio en medio de una serie de restricciones fiscales aplicadas a los presupuestos universitarios, que han impedido ampliar 'la prioridad macroeconómica que ya tiene la inversión en educación superior, en un contexto de bajo y volátil crecimiento económico y crisis fiscal' [10, p. 30]. Así las cosas, no es posible afirmar que los aprendizajes y nuevas herramientas implementadas en la educación superior en los últimos dos años, puedan aplicarse de forma equitativa a toda la población estudiantil, pues existen aún grandes brechas que acortar. La enseñanza del ordenamiento territorial no está exenta a estos retos, los cuales tienen un carácter estructural y representan un desafío para la persona docente, que necesita crear una zona segura de confianza con sus estudiantes, de manera que pueda percibir cuando existen estas condiciones de asimetría en el acceso a las TIC's, para poder, en la medida de lo posible, ofrecer un acompañamiento con los recursos que ofrece la universidad.

Planificación urbana y regional como conocimiento transversal para construcción de obra pública

La enseñanza del ordenamiento territorial tiene el reto de ser un campo por naturaleza interdisciplinario, sin embargo, en las carreras de algunas ingenierías y arquitectura se incorpora como un componente adicional en el plan de estudios. Por lo que se podría decir, que pese a su carácter interdisciplinario su enseñanza se desempeña muchas veces en el marco de una carrera específica, esto tiene como reto la sensibilización de grupo estudiantil hacia las perspectivas de otras disciplinas. Por otra parte, dentro del plan de estudios de estas carreras, representa un eje transversal de varios cursos, aunque no necesariamente se visibiliza como tal, pese a ir vinculando conocimientos que se van acumulando a lo largo de la carrera. Durante la entrevista realizada a la profesora de Hidrometría, ella señala que aborda el tema de ordenamiento territorial cuando enseña sobre la gestión del recurso hídrico, por ejemplo, la importancia de planificar por cuencas o bien los efectos de procesos de urbanización desordenados en el cambio climático y su repercusión en el recurso hídrico. En la misma línea, el profesor encargado del curso Urbanismo, señala que su curso está estrechamente vinculado al ordenamiento territorial, principalmente al aspecto normativo. Él incorpora dentro del contenido de su módulo aspectos conceptuales que permiten a los y las estudiantes comprender los efectos de la planificación territorial en la calidad de vida de las personas, por esto, mediante herramientas digitales ha abierto foros de discusión semanales donde los y las estudiantes proponen temas de su interés relacionados con el contenido del curso. Así, ha enseñado a sus estudiantes conceptos tales como tendencias de crecimiento urbano, gentrificación o urbanismo táctico. Por otra parte, el profesor que impartió el curso de ordenamiento territorial IT6004 entre el 2019 al 2020 enfatizó en la importancia de estudiar el análisis de sistemas para entender como las dinámicas del territorio se entrelazan. Estos docentes han utilizado diferentes estrategias didácticas para enseñar ordenamiento territorial en sus cursos, entre las más exitosas señalan: talleres de SIG, talleres presenciales con mapas, actividades lúdicas, foros de discusión sobre videos cortos, charlas con profesionales, giras de campo, recorridos en tren, visitas a obras en construcción, uso de TIC's y juegos de roles.

Los docentes coincidieron que la enseñanza del ordenamiento territorial juega un rol fundamental para la construcción de obra pública, entre los argumentos que señalaron se encuentran:

- a. Los futuros profesionales que conocen sobre ordenamiento territorial serán capaces de priorizar la inversión en obra pública que favorezca al bien común.
- b. Al conocer de sistemas, pueden entender más claramente la repercusión regional de la obra.
- c. Pueden aplicar conocimientos de economía urbana para inversión de obra pública mediante la aplicación de diferentes herramientas de captación de plusvalías.
- d. Pueden promover una movilidad sostenible que favorezca la peatonización, ciclovías y el transporte público.
- e. Tienen un panorama más amplio de la gestión del riesgo, por lo que existe una sensibilización ante amenazas naturales que se incrementan por la intervención humana.
- f. Conocen sobre los efectos del crecimiento urbano en el cambio climático y gestión del recurso hídrico.
- g. Comprenden sobre los efectos que la obra pública puede traer en el aspecto turístico.
- h. Serán capaces de transferir sus conocimientos a otras generaciones y colegas de instituciones públicas, diseminando el interés y promoviendo la toma de decisiones bajo una participación informada.



- i. Pueden tener una visión más amplia de lo que significa la obra pública, que va más allá de la construcción de carreteras y puentes, involucrando otras inversiones como la infraestructura sanitaria y otros aspectos que requiere la sociedad.
- j. Han estado en contacto con la sensibilización en temas sociales, como los asentamientos informales, percepción de inseguridad en el espacio público, calidad del agua, desigualdad económica, entre otros. Esto les permite incorporar aspectos como la participación comunal.

Es claro que, tanto en la carrera de Ingeniería Topográfica, como en otros campos de ejercicio profesional, la enseñanza del ordenamiento territorial permite ampliar la perspectiva del territorio como sistema, que se articula con la competitividad económica, equidad social y sostenibilidad ambiental.

Conclusiones

Este trabajo expone la importancia de la enseñanza del ordenamiento territorial especialmente en las áreas de ingeniería y arquitectura, sin embargo, su carácter interdisciplinario permite su aprendizaje en muchas otras áreas del conocimiento. En general, existe un consenso entre las personas entrevistadas que la planificación urbana es un tema cotidiano, que afecta a todas las áreas de la sociedad, en Costa Rica, este componente se ha incorporado, en algunos casos, en los planes de estudio de las carreras tales como arquitectura, ingeniería civil, ingeniería topográfica o geografía, sin embargo, es un campo en el que muchas disciplinas se traslapan, tal como lo señala Madanipour [3].

Entre las limitaciones de este trabajo se señala una brecha entre el 2017 y 2020 en las evaluaciones docentes del curso IT 6004, ya que la autora no se encontraba en el país, al ser las evaluaciones de carácter personal no se le solicitaron al docente sustituto, sin embargo, se llevó a cabo una entrevista con el mismo para compensar esta limitante.

Finalmente, con este trabajo se reflexiona acerca de como la construcción de obra pública requiere una planificación a largo plazo y no debería ser tan vulnerable a los vaivenes políticos, esta requiere una conceptualización que desde el inicio busque favorecer el bien común. La enseñanza de la planificación urbana y regional en las futuras generaciones de gestores y gestoras de proyectos de obra pública, permite tener profesionales con una mayor sensibilización sobre las necesidades y desigualdades del territorio, con una visión prospectiva del mismo y con una búsqueda del bien colectivo sobre el individual.

Agradecimientos

Se agradece al personal docente de la Escuela de Ingeniería Topográfica de la Universidad de Costa Rica que amablemente colaboró con las entrevistas para este trabajo, su identidad se ha anonimizado como parte de los principios de la investigación, así mismo, se agradece a los y las estudiantes del curso IT 6004 a lo largo de los años, que con su retroalimentación y entusiasmo han contribuido a mejorar la calidad del curso.

Referencias

- [1] A. I. Frank, & A Rosa Pires da. Introduction: transformational change in planning education pedagogy? En *Teaching urban and regional planning: innovative pedagogies in practice*, Frank, A. I., & Rosa Pires, A. da. Eds. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2021. pp 1-18.

- [2] Zhang, P. Changes in Modern Urban Planning Teaching and Theory. *Open House International*, vol, 44(3), 2019, pp.40-43. Recuperado de: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/changes-modern-urban-planning-teaching-theory/docview/2316972937/se-2>
- [3] A. Madanipour, "Researching Space, Transgressing Epistemic Boundaries". *International Planning Studies*, vol 18(3-4), 2013, pp.372–388.
- [4] D. Dominguez, B. Truffer, & W. Gujer. "Tackling uncertainties in infrastructure sectors through strategic planning: the contribution of discursive approaches in the urban water sector". *Water Policy*, vol 13(3), 2011 pp. 299–316. <https://doi.org/10.2166/wp.2010.109>
- [5] Malekpour, S., Brown, R. R., & de Haan, F. J. "Strategic planning of urban infrastructure for environmental sustainability: Understanding the past to intervene for the future". *Cities*, vol 46, 2015, pp. 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.05.003>
- [6] Yin, R. Case study research: Design and methods. (5th ed.). Los Angeles -London: SAGE. 2014.
- [7] C. Burck, "Comparing qualitative research methodologies for systemic research: the use of grounded theory, discourse analysis and narrative analysis". *Journal of Family Therapy*, vol 27(3), 2005, pp.237–262.
- [8] K. Barrantes-Chaves, "Rastro de plástica: una propuesta metodológica para mapear del temor al delito". *REVISTARQUIS*, 10(2), 2021 pp.101–123. <https://doi.org/10.15517/ra.v10i2.45421>
- [9] L. T.. Alvao-Saenz, J. Quintero-Salazar & A. M. Ramírez Rubio, 2020. Captura la idea: Actividad lúdica para la enseñanza y fortalecimiento del pensamiento de diseño. *I+D Revista de Investigaciones*, vol 16(1), 2020 pp.28–44. <https://doi.org/10.33304/revinv.v16n1-2021003>
- [10] PEN. "Informe Estado de la Educación". Programa Estado de la Nación-CONARE. 2021. Recuperado de: https://estadonacion.or.cr/wp-content/uploads/2021/09/Educacion_WEB.pdf [Accesado: 21 Septiembre 2021].

Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción

Impact of the BIM methodology in the management of construction projects

Mathias Gómez-Valdés¹, Stephanny Acevedo-Acevedo²,
Luis Alvarado-Acuña³, Rene Iturra-Molina⁴

Gómez-Valdés, M; Acevedo-Acevedo, S; Alvarado-Acuña, L; Iturra-Molina, R. Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 66-77.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6860>

- 1 Universidad Católica del Norte. Chile.
Correo electrónico: mathias.gomez@alumnos.ucn.cl
 <https://orcid.org/0000-0002-0160-6384>
- 2 Universidad Católica del Norte. Chile.
Correo electrónico: stephanny.acevedo@ce.ucn.cl
 <https://orcid.org/0000-0002-8763-3243>
- 3 Universidad Católica del Norte. Chile.
Correo electrónico: lualvar@ucn.cl
 <https://orcid.org/0000-0002-8607-4574>
- 4 Universidad Católica del Norte. Chile.
Correo electrónico: riturra@ucn.cl

Palabras clave

BIM; gestión de proyectos; proyecto de construcción.

Resumen

En esta investigación se analizará el impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción reconociendo los factores que limitan la implementación de esta metodología en el sector construcción, a través del estudio de proyectos existentes y en base a experiencia de profesionales del área sintetizada en diversas publicaciones indexadas a partir de las cuales se materializará un análisis bibliométrico utilizando el software Vos Viewer. BIM, o Building Information Modeling, es una metodología que contribuye a gestionar cualquier proyecto de construcción sin discriminar en su envergadura, ejecutando gestión y coordinación de la ejecución de todo el proyecto desde sus fases tempranas hasta la desmovilización del producto. La metodología clásica CAD se ha estado utilizando durante más de dos décadas y, sigue funcionando para numerosas obras de construcción alrededor del mundo, es sencillo de utilizar y gran cantidad de ingenieros y arquitectos lo implementan, pero no tiene el mismo impacto que la metodología BIM la cual recolecta mucha más información que la que brinda la metodología tradicional. En los proyectos estudiados en esta investigación se logra reconocer múltiples ventajas y beneficios de esta metodología que se está implementando de a poco en el mundo, mejorando la calidad del proyecto final, ahorrando tiempo y costos al reducir obras extraordinarias o trabajos rehechos con su aplicación para detectar interferencias entre especialidades, mejorando el trabajo colaborativo y la visualización para el cliente.

Keywords

BIM; project management; construction project.

Abstract

In this research, the impact of the BIM methodology in the management of construction projects will be analyzed, recognizing the factors that limit the implementation of this methodology in the construction sector, through the study of existing projects and based on the experience of professionals in the synthesized area in various indexed publications from which a bibliometric analysis was materialized using the Vos Viewer software. BIM, or Building Information Modeling, is a methodology that helps to manage any construction project without discriminating in its size, executing management and coordination of the execution of the entire project from its early phases to the demobilization of the product. The classic CAD methodology has been used for more than two decades and continues to work for numerous construction sites around the world, it is simple to use and implemented by a large number of engineers and architects, but it does not have the same impact as the BIM methodology. which collects much more information than that provided by the traditional methodology. In the projects studied in this research it is possible to recognize multiple advantages and benefits of this methodology that is being implemented little by little in the world, improving the quality of the final project, saving time and costs by reducing extraordinary works or works redone with its application to detect interferences between specialties, improving collaborative work and visualization for the client.

Introducción

En su incorporación, la metodología CAD y su implementación fue un avance grande y altamente positivo para la industria. Desde el dibujo manual de planos hasta utilizar las herramientas computacionales tienen muchas ventajas como por ejemplo el facilitar el dibujo y actualización de planos de manera digital y ágil. Posteriormente, de venir trabajando con herramientas que utilizan geometría basada en coordenadas para crear líneas o círculos, que además a medida que iban mejorando los softwares también lo hacían los modelos, vinieron las herramientas que modelan basado en parámetros que interrelaciona elementos del modelo. El tema nace principalmente de la necesidad de difundir la metodología en la comunidad iberoamericana, enfocándose principalmente en demostrar las ventajas de BIM para la gestión de proyectos. [1], [2] y [3]

En la investigación se plantea como Objetivo general: “Reconocer las ventajas de la metodología BIM en la gestión de un proyecto de construcción a través del estudio de proyectos existentes y en base a experiencia de profesionales del área”.

Como objetivos específicos lo siguientes: Realizar un análisis bibliométrico sobre la cantidad de publicaciones sobre el tema a través de los años; Comparar las metodologías clásicas con la metodología BIM; Identificar como la metodología BIM hace frente a la situación de trabajos rehechos en proyectos de construcción; y, Reflexionar sobre las principales barreras que tiene BIM para implementarse en proyectos de construcción.

Metodología

La metodología utilizada es de enfoque cualitativo, donde se hacen procesos descriptivos e inductivos. Se realiza un análisis y seguimiento de publicaciones científicas de la base de datos Web of Science, analizando de forma bibliométrica acerca del tema presentado mediante la utilización del software VosViewer. Se realizó una investigación en base a diferentes estudios de construcciones que utilizan la metodología BIM y construcciones donde se aplicó el método tradicional. Se llevó a cabo una comparación de los dos métodos anteriores para identificar problemas comunes para los proyectos que utilizan el método CAD.

Metodología tradicional (CAD) y BIM

La metodología CAD corresponde esencialmente a la utilización de un software de dibujo asistido por computador para realizar dibujos y representaciones gráficas bidimensionales y/o tridimensionales de objetos físicos con el objetivo de ser una alternativa a borradores manuales siendo su mayor exponente el software AutoCAD desarrollado por Autodesk en 1982 que tiene como objetivo principal el desarrollo de trabajos de arquitectura, construcción y múltiples industrias afines a la ingeniería, todo en base a este programa. La gran ventaja que ofrece la metodología CAD o tradicional es que ofrece crear objetos en tres dimensiones y conseguir detalles internos y externos de estos, crear cálculos de estructura, reduciendo la posibilidad de cometer errores en los proyectos reales. Esta metodología facilita la vida profesional y la presentación de proyectos a los clientes esto debido a que los arquitectos, por ejemplo, dejan de lado la realización de planos en una mesa para conseguir, gracias a estos programas de dibujo asistido por computadora, resultados de alta calidad y precisión en dos o tres dimensiones. [4]

La metodología BIM es la integración coordinada del trabajo, es decir, un modelo virtual del proyecto que junta todas las especialidades e instalaciones de la construcción ayudando y mejorando la gestión del proyecto, las comunicaciones y la información de cantidades. También debido a sus dimensiones como la 4D que, gracias a la información de planificación

y programación, puede llegar a la simulación de la edificación con sus especialidades, la dimensión 5D que incluye la información presupuestaria, la 6D permitiendo el control de los procesos del proyecto, como inspecciones, reparaciones y mantenimientos. Además, a través de la dimensión 7D se puede realizar un estudio de su impacto ambiental mediante un análisis de la sostenibilidad del diseño y con su dimensión 8D aplicar la prevención de riesgos y errores como interferencias entre especialidades. [5]

Análisis bibliométrico – VosViewer (WOS)

El principal objetivo de realizar un análisis bibliométrico con *VosViewer* sobre la metodología BIM es para ver la evolución de esta en el tiempo y fundamentar su creciente utilización y las ventajas que tiene.

En el análisis con el software *VosViewer* se realizó el análisis y seguimiento de publicaciones de la base de datos de artículos científicos de Web of Science. El material analizado fueron los artículos relacionados con la temática *Building Information Modeling* en el periodo de 2006 a 2022 siendo un total de 1610 publicaciones seleccionadas utilizando como indicador la coocurrencia de palabras claves como *Building Information Modeling*, *models*, *design*, *management* o *construction* en los artículos como se ve en el siguiente mapa de red (ver figura 1).

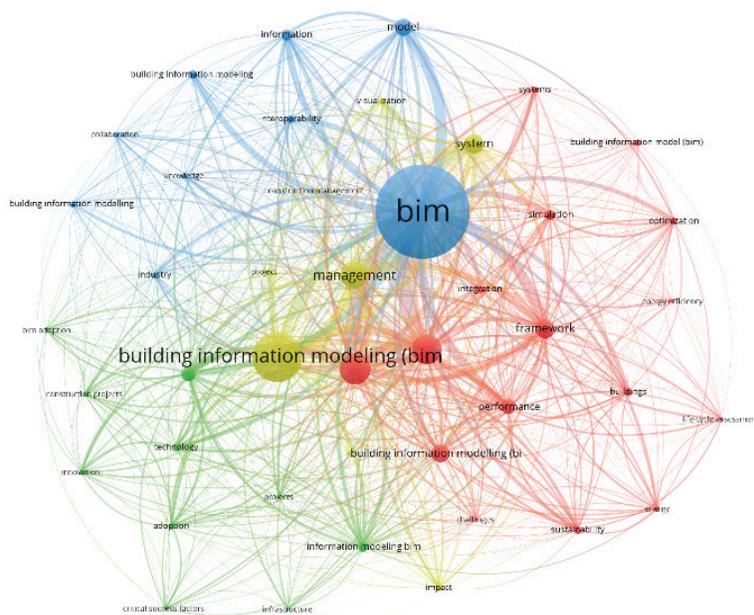


Figura 1. Mapa de red extraído de *VosViewer*.

Además, se extrajo un gráfico de barras (figura 2) de la plataforma de Web of Science (WOS) con la cantidad de artículos publicados desde 2006 a 2022.

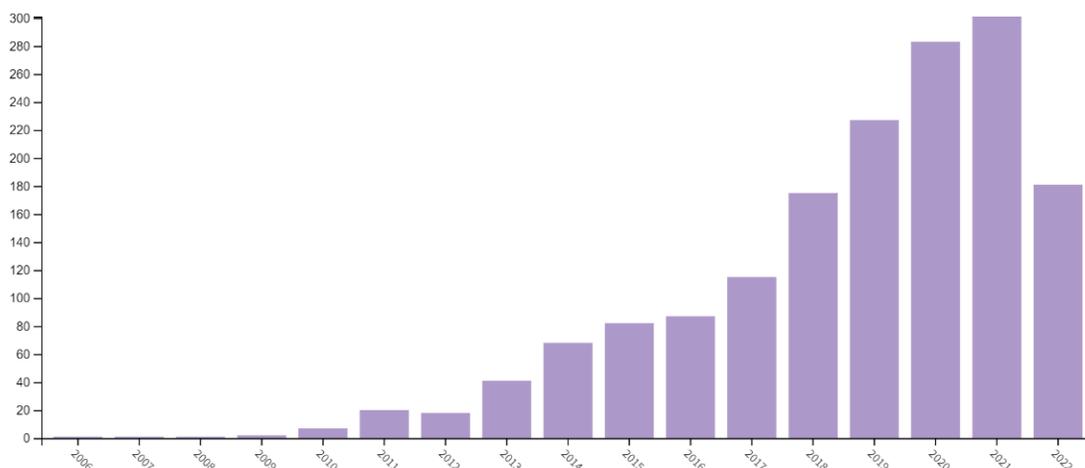


Figura 2. Gráfico de barras de Años de publicación extraído de Web of Science.

Mediante el gráfico se registra la cantidad de documentos del tema Building Information Modeling de la base de datos de WOS en la que se advierte un aumento desde 2006 con 1 solo documento publicado hasta el año 2021 con 301 o incluso el año 2022 que ya lleva 181 publicaciones. Gracias a esto se nota el aumento de interés y reconocimiento que cada año se le está dando a la metodología BIM.

Resultados

ANÁLISIS DE PROYECTOS

Vivienda unifamiliar en Xirivella (Valencia)

En [6] se realiza un enfoque práctico de una vivienda ubicada en Xirivella utilizando *Revit* de *Autodesk* de aproximadamente 91,46 metros cuadrados que consta de tres medianeras, con las viviendas colindantes ya edificadas.

Una vez que tiene identificada la vivienda y cuál es su tipología constructiva, que en este caso era de hormigón armado, procede al estudio previo del proyecto correspondiente a los planos, posible gracias a los aportados por el arquitecto, y se menciona que de igual manera más adelante fue necesaria más información constructiva. Posteriormente empezó el proceso de diseño, con el modelado en tres dimensiones y terminando con la proyección de la vivienda completa. En este trabajo se hace uso de LOD o también llamado level of development (figura 3) que ayuda a evaluar el nivel en el que se desarrollan proyectos de construcción [6].



Figura 3. Ilustración LOD. Fuente: [6]

Finalmente, menciona una comparación de información aportada en planos, concluyendo que Revit puede dotar a un mismo plano de mucha más información, gracias que al 'dibujar' no dibujan líneas sino elementos tridimensionales de tal manera que es más sencillo llegar a un plano con más informaciones la que se obtendría con metodología tradicional CAD. Ya con esta mirada netamente de lo que sería un archivo con mucha más información con respecto a espesores, diferentes vistas, ejes, vistas tridimensionales y una mejor presentación, se advierten ventajas con respecto a la metodología CAD.

Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnología BIM

En [7] se analizan tres proyectos utilizando un escenario supuesto, edificio Gran Santiago, Mall Paseo Estación y el edificio Ángel Cruchaga, los proyectos ya están completados y se desarrollaron de forma tradicional sin aplicar BIM.

El proyecto analiza los costos de implementación de la metodología para cada proyecto estudiado. Se tomaron en cuenta el alcance del modelo, el número de dibujantes, computadores con licencia, la duración de desarrollo del modelo y la asesoría de un experto BIM.

El beneficio evaluado fue el de la cantidad de obras extraordinarias que se podría evitar (con esto obteniendo mayor rentabilidad para el mandante) y el número de requerimientos de información que se detectan en etapas tempranas al construir un modelo virtual 3D de la obra a ejecutar. Para los tres proyectos analizados, mientras mayor fue el monto del proyecto mayor fue el posible ahorro con la aplicación de la metodología.

Otra aplicación vista en la memoria es la de la Ampliación Clínica Dávila en Santiago de Chile en la que se utilizó la metodología BIM con el objetivo de detectar interferencias entre especialidades (ver figura 4), esté teniendo un costo aproximado de 30 mil dólares - 0,1% del monto total del contrato. El ahorro estimado a la fecha de 2010 fue de 73 mil dólares al detectar 297 interferencias en el modelo.

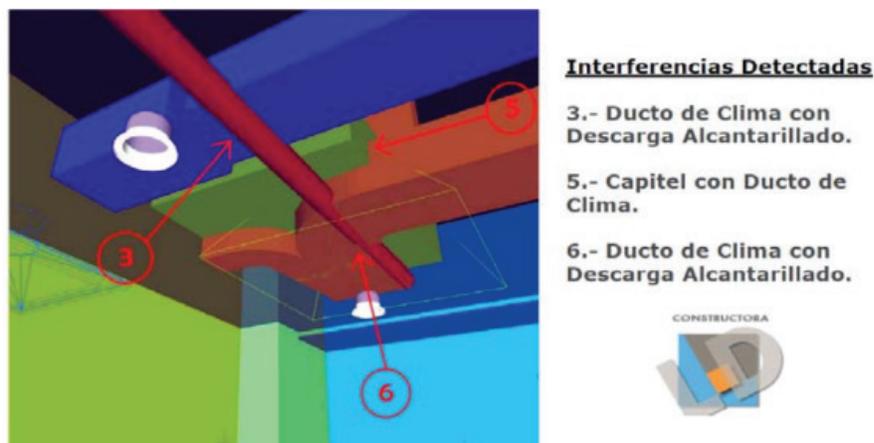


Figura 4. Interferencia de especialidades, Fuente: [7].

En [7] se concluye que el uso de BIM desde etapas tempranas y cambiando idealmente la forma tradicional de trabajar, se obtendrán beneficios en rentabilidad e incluso en la calidad del producto construido.

Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions [Modelado de información de construcción (BIM) para edificios ecológicos: una revisión crítica y direcciones futuras] [8]

Con los desarrollos recientes, BIM ha ganado una importancia creciente en la industria AEC (Arquitectura, ingeniería y construcción). Este artículo de la revista automatización en construcción muestra una revisión crítica de la conexión entre los edificios verdes o ecológicos con BIM que corresponde a su dimensión 6D. El uso de aplicaciones BIM para facilitar la construcción ecológica del medio ambiente ha recibido una creciente atención tanto en el mundo académico como en la industria. Basado en la revisión de artículos de revistas y 13 tipos de aplicaciones BIM, este estudio tiene como propuesta una taxonomía “Triángulo BIM Verde” para conceptualizar la relación entre BIM y el green building, y proporciona una mirada a los desafíos y ventajas de implementar BIM con el enfoque de la construcción sustentable.

Tres principales fases de la metodología BIM son examinadas críticamente, específicamente las contribuciones y aplicaciones de BIM en el ciclo de vida de los edificios verdes, las diversas funciones del análisis de sostenibilidad medioambiental proporcionados por los softwares BIM, y la integración de evaluación de edificios verdes (GBA) con BIM. [8].

Los hallazgos principales encontrados son los siguientes. En primer lugar, se analizó la aplicabilidad del uso de BIM en cada fase y en la totalidad del ciclo de vida del proyecto de edificios sustentables. Se descubrió que, si bien BIM se percibe principalmente como una herramienta vital para el diseño etapa de los edificios verdes, su valor potencial para la construcción, instalación y las fases de gestión de operaciones ha sido cada vez más reconocida. BIM podría facilitar el intercambio de datos y la integración, proporcionar visualización de análisis de desempeño de edificios, y mejorar la comunicación y colaboración de varias partes interesadas durante el ciclo de vida del proyecto.

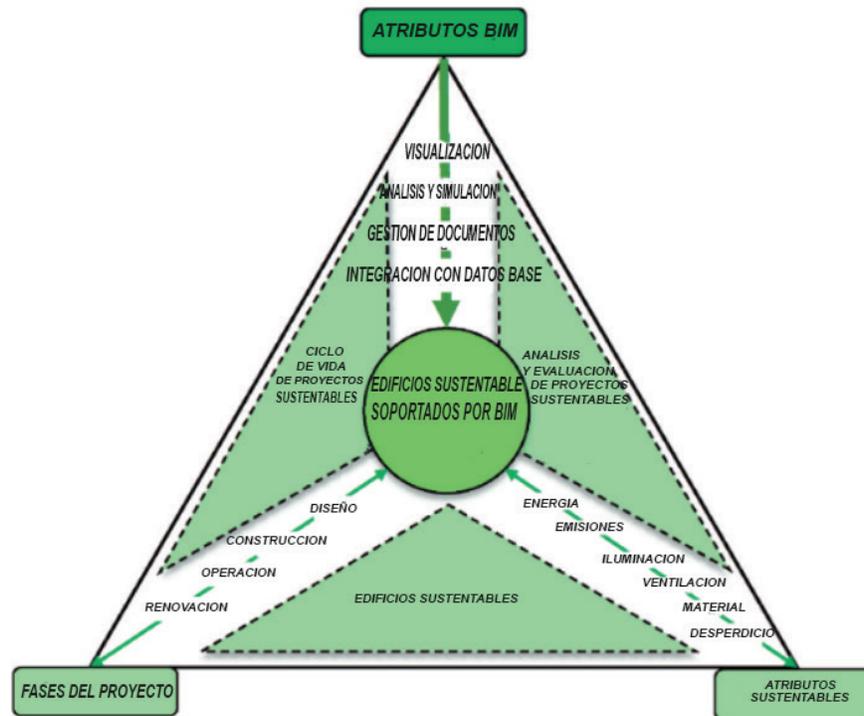


Figura 5. Taxonomía “Triángulo BIM Verde”. Fuente: Adaptado desde [8].

El segundo hallazgo es con respecto a las ventajas y desafíos de las funciones BIM para las que se discutieron los análisis de sostenibilidad ambiental de los edificios. Se identificaron 7 principales funciones para análisis de sostenibilidad los cuales fueron revisados, incluyendo análisis y evaluaciones de rendimiento energético, análisis de emisiones de carbono, análisis de sistemas de ventilación natural, análisis solar de radiación e iluminación, análisis de uso de agua, análisis acústico y análisis de confort térmico.

En tercer lugar, fue explorado el potencial de aplicar BIM para apoyar el proceso de evaluación de edificios verdes (GBA). Este estudio revela que las aplicaciones BIM verdes podrían traer varios beneficios para GBA, como la estimación de puntajes de GBA, la gestión de documentos de solicitud, y mejorar la eficiencia del proceso GBA.

En [8] y [9] se menciona que, aunque BIM podría agregar valor al desarrollo de edificios verdes, el empoderamiento de BIM verde no está exento de desafíos. El estudio identifica 6 brechas principales de conocimiento que deben ser respondidas por estudios futuros, incluyendo primero la débil interoperabilidad entre varias aplicaciones de sustentabilidad BIM; en segundo lugar la falta de apoyos para la construcción y fases de operación de edificios sustentables; como tercer punto la falta de estándares de la industria cubriendo holísticamente las diversas áreas de aplicación de BIM sustentable y estudios sobre las mejores prácticas de proyectos BIM verdes; cuarto, la baja aceptación industrial de las aplicaciones de la metodología en su ámbito sustentable para los proyectos; el siguiente punto sobre la baja precisión de los modelos de predicción basados en BIM, cabe mencionar que este punto ha ido mejorando a través de los años considerando que este artículo se publicó en 2017 y los softwares han ido mejorando; y por último la carencia de métodos apropiados de entrega de proyectos. Con esto se puede notar que existen oportunidades futuras de investigación para promover la metodología BIM en el ámbito de su dimensión de sostenibilidad. Este estudio proporciona una referencia importante tanto para los investigadores como para los profesionales que estudian BIM y los proyectos de construcción con una mirada ecológica. La propuesta “Triángulo BIM

Verde” (figura 5) proporciona un enfoque sistemático para la comprensión, destacando el cuerpo actual de conocimiento sobre BIM y la gestión de proyectos de construcción. Es útil ya que investigadores podrían utilizar este concepto como un marco guía para encontrar oportunidades de investigación relacionados a BIM y la sustentabilidad. De manera similar, este estudio ayuda a los profesionales a comprender las varias funciones del software BIM para edificios verdes [8].

Análisis de los factores financieros, técnicos y humanos que limitan la implementación de la metodología BIM en la fase de construcción del proyecto CEFE LAS COMETAS. [10]

El problema planteado en este trabajo de grado es que, si bien la adopción de la metodología de *Building Information Modeling* en el sector de la construcción en Colombia ha experimentado una tendencia creciente y aun teniendo claro las ventajas y desventajas de la implementación de BIM, no se evidencia las causas por las cuales el proyecto Centro de Felicidad las Cometas no lo ha implementado en la fase de la materialización del proyecto.

Las variables de este problema son: el factor económico necesario para la implementación de esta metodología en el proyecto, la adquisición de la infraestructura y tecnología apta para su utilización, la contratación de Profesionales expertos en la materia o *BIM Managers* y la dificultad y resistencia al cambio de metodología de trabajo desde la gerencia del proyecto. El trabajo de investigación se divide en 5 fases, comenzando por el análisis del estado actual de la adopción de la metodología BIM, el diagnóstico y análisis de problemáticas de la gerencia del proyecto CEFE LAS COMETAS, identificación de factores que limitan la implementación de la metodología en el proyecto, un análisis comparativo de estrategias BIM y por último la entrega de conclusiones y recomendaciones de acuerdo con los resultados obtenidos en cada fase [10].

Dentro de los factores que limitan la implementación se muestra un análisis de resultados obtenidos en el componente de la administración de la encuesta, advirtiéndose la percepción que tienen los involucrados respecto a la gestión administrativa, demostrando, según la encuesta, una carencia en el manejo del proceso del plan de gestión de costos según los encuestados.

Además, se presenta un análisis de los componentes económico, técnico, humano y cultura, de acuerdo con el juicio de expertos sobre la incidencia de los factores en los componentes.

Respecto a el componente económico, los factores vistos son el del costo de licencia y adquisición de software con un 80% de incidencia, siendo el principal factor de limitación económica, el factor ‘Aumento de honorarios de profesionales expertos en BIM’ presenta un 60% de incidencia, costo de adquisición de infraestructura tecnológica apta para el uso de la metodología presente una incidencia del 60%, estos tres factores son los de mayor incidencia dentro la implementación de BIM en el proyecto,

En relación con el componente técnico, los factores son la ausencia de especificaciones técnicas o detalles constructivos del proyecto con un 80% de incidencia, el cual es el más relevante en relación con la limitación para el uso de BIM, esto debido a que al inicio de la fase de construcción fueron identificadas inconsistencias en los planos y estudios técnicos. También la dificultad del cambio de la metodología tradicional a BIM con un 60% de incidencia, esto teniendo en cuenta que desde un comienzo el proyecto fue formulado en base a la metodología tradicional de trabajo y no a partir de la BIM, por lo cual se menciona que se debe efectuar una transición de cambio dentro de la fase de ejecución del proyecto, que evidentemente es una dificultad. El factor del tiempo necesario para la implementación de esta metodología también

presenta un 60% de incidencia, este factor es perceptible debido a que como se menciona en el trabajo de grado, si se realiza el traspaso sobre la marcha del proyecto se acortaran los tiempos de ejecución y es posible que los problemas sean identificados demasiado tarde.

Sobre el componente humano se tiene el factor de la necesidad de formación de profesional calificado en BIM con un 80%, el factor de la 'carencia de la calificación del recurso humano en conocimiento de la metodología' igualmente con un 80% y el factor de la 'resistencia del equipo al cambio de trabajo' que tiene una incidencia del 100%, factor que limita enormemente la implementación de la metodología, no solo se habla sobre más tiempo para realizar el cambio, sino que los miembros del equipo asocian el cambio a riesgo y se adopta una postura defensiva y desconfiada al respecto.

Cuadro 1. Tabla comparativa metodología BIM y 'CAD'.

	BIM	CAD
Descripción	Corresponde principalmente a una metodología con la cual se administra la información de un proyecto de construcción utilizando un modelo tridimensional.	Metodología basada esencialmente en un software para realizar y generar dibujos digitales en dos y tres dimensiones sin más información de sus elementos.
Flujo de trabajo	Alto en etapas tempranas y disminuye conforme se avanza a las siguientes etapas del proyecto.	Bajo al inicio del proyecto y aumenta en la etapa de documentación donde se necesita mayor cantidad de tiempo para los detalles, especificaciones, cortes y vistas.
Detección de errores	Facilidad para detectar interferencias o conflictos de especialidades debido a su mejor calidad de detalle.	Dificultad para detectar errores interdisciplinarios por falta de información, usualmente realizado empíricamente, generando más errores.
Corrección de errores	Se evita corregir múltiples veces debido a que gracias a los softwares disponibles se modifican en todas las vistas y planos automáticamente.	Si se tienen que realizar cambios o correcciones en el proyecto, hay que revisar y modificar cada uno de los dibujos de manera individual y manual, aumentando el riesgo de generar errores.
Colaboración y coordinación	Permite una mejora en la colaboración entre implicados en el proyecto, habilitando el trabajo en el mismo archivo en tiempo real. También permite mejorar la coordinación entre estos implicados para detectar y corregir errores e interferencias.	No permite la colaboración en un mismo archivo al mismo tiempo, además la coordinación entre especialidades se dificulta por falta de automatización.
Costos	Facilita el monitoreo de los costos del proyecto de construcción y permite la reducción de costos, debido a mejora de productividad.	No existe la función para monitorear costos en el proyecto.

Los principales beneficios de la metodología estudiada son, la capacidad que tiene BIM para gestionar la información de un edificio o proyecto constructivo durante todas las fases de su ciclo de vida utilizando un modelo 3D, todos los especialistas e implicados en el proyecto pueden colaborar en un mismo archivo al mismo tiempo mejorando el flujo de trabajo en las etapas tempranas que es el momento donde se alimenta el proyecto con información, detalles y especificaciones los cuales comienzan a disminuir a medida que se avanza en las siguientes etapas del proyecto, esto se puede traducir en una mejora de productividad y menor costo basándose en que se necesitaran menos horas hombre. Con respecto a costos, la metodología

BIM, facilita el monitoreo de este aspecto del proyecto. Otro punto a favor es la agilización de la documentación del proyecto, al crear un modelo del edificio las vistas, detalles y cortes se generan en base al mismo modelo. Por último, las correcciones se realizan una sola vez y automáticamente se actualiza en todas las vistas correspondientes, esto evita rehacer trabajos y disminuir en gran medida los errores, lo que conlleva a permitir una mejor coordinación entre las especialidades permitiendo detectar interferencias entre estas.

Los problemas en la aplicación de BIM no se refieren a la capacidad de la metodología ni de los softwares que conforman BIM, sino más bien a la implementación efectiva del sistema, capacitación y equipamiento. Dentro de una organización el problema más frecuente es el de no entender lo que significa la metodología BIM, siendo este uno de los desafíos más grandes en la implementación, si la organización no comprende el significado y la forma de operar BIM, sumado a que el coste de su implementación no es menor, los clientes no captarán el alcance que tendrá en los proyectos e incrementará el factor de resistencia al cambio tanto del equipo de trabajo como de los interesados.

Adicionalmente algunas limitaciones y consideraciones para tener en cuenta están asociadas con la capacitación del personal, el dominio de la dirección integrada de proyectos (DIP), las herramientas informáticas y la complementación de la metodología BIM con otras guías como paquetes de software como office [11].

Conclusiones y/o recomendaciones

Con respecto a los objetivos, durante el presente documento se presentaron ejemplos de estudios, exámenes de grado, tesis y artículos que demuestran la aplicación de la metodología BIM en la industria de la construcción y relacionado a la gestión de proyectos de construcción. Esto fundamentado con los objetivos específicos, comenzando por el análisis bibliométrico con la herramienta VosViewer, revisando palabras claves en los artículos de la base de datos Web of Science y realizando un análisis al gráfico de barras que WoS dispone, concluyendo que el interés sobre el tema BIM, o Building Information Modeling, está aumentando, esto se puede inferir del aumento de la cantidad de artículos publicados sobre el tema desde el año 2006 a 2022. [2]

En los proyectos analizados se muestran casos donde se utiliza BIM como alternativa a la metodología tradicional, analizando el costo de su implementación, detectando falencias y presentando oportunidades de mejora en la gestión de los proyectos. Además, se dio una mirada a sus múltiples usos con sus diferentes dimensiones ejemplificando con el artículo relacionado a la aplicación de BIM para edificios ecológicos, el cual presenta funciones de análisis para la dimensión 6D de la metodología. La principal idea con la presentación de estos proyectos es comparar la metodología BIM y la tradicional para hacer notar las ventajas y el impacto que tiene BIM, para esto se presentó una tabla comparativa entre metodologías y presentando algunas desventajas y limitaciones en el uso de BIM. [8]

Finalmente, para responder el último objetivo específico, 'Reflexionar sobre las principales barreras que tiene BIM para implementarse en proyectos de construcción.', se presentó el caso del trabajo de grado de los factores que limitan la implementación de la metodología en la obra Centro de Felicidad las Cometas en Colombia, se evidenció en el estudio que analizó los componentes económicos, teniendo como factores más incidentes la adquisición de software y capacitación de personal, técnicos, como factores incidentes el tiempo para realizar el cambio de metodología tradicional a BIM y la carencia de información suficiente para trabajar con la metodología, y el componente humano en el cual es factor más incidente es el de 'resistencia al cambio'. Este punto es el punto clave y es, sino la más grande, una de las más grandes barreras

en la implementación de BIM en la gestión de proyectos de construcción a nivel mundial. El tema de pasar de la metodología tradicional a BIM conlleva, capacitaciones, aprendizaje de un nuevo método de trabajo colaborativo, adaptación a softwares y mejoramiento digital. [10]

Todo esto lleva a los profesionales a pensar en factores como aumento de trabajo y responsabilidades, desconfianza y relacionar el cambio al concepto de riesgo.

Este último componente deja en evidencia que, las principales limitaciones para la transformación digital y para mejorar los procesos no son tecnológicas sino humanas.

Referencias

- [1] L. X. Sierra Aponte, «Gestión de proyectos de construcción con metodología BIM “Building Information Modeling”», 2016.
- [2] A. H. E. Sepúlveda Zambrano, «Impactos en la implementación de la metodología BIM en el sector construcción: una revisión sistemática de la literatura científica desde el 2015 hasta el 2019», 2021.
- [3] D. C. Naranjo Bejarano, «Implementación de la metodología BIM para la gestión de proyectos de construcción», 2021.
- [4] J. Torroglosa Díaz, «Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura: un proyecto con REVIT», PhD Thesis, Universitat Politècnica de València, 2018.
- [5] L. Alvarado Acuña, J. Huidobro Arabia, y S. Acevedo Acevedo, «Propuesta de un modelo para integrar la metodología BIM 4D y 5D con la gestión de proyectos en el sector inmobiliario de Antofagasta, Chile.», 2018.
- [6] J. M. Zaragoza Angulo y J. M. Morea Núñez, «Guía práctica para la implantación de entornos BIM en despachos de arquitectura», 2015.
- [7] R. O. L. Saldías Silva, «Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM», 2010.
- [8] Y. Lu, Z. Wu, R. Chang, y Y. Li, «Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions», *Autom. Constr.*, vol. 83, pp. 134-148, 2017.
- [9] V. A. M. Pacheco, R. F. H. Valencia, F. C. M. La Ribera, y G. C. C. Miranda, «Evaluación técnico-económica de modelación y coordinación bim en proyectos de edificación de mediana envergadura: un caso de estudio», *J. Bim Constr. Manag.*, vol. 1, n.º 1, pp. 1-10, 2019.
- [10] J. A. Bermúdez-Zúñiga y M. A. Castrillón-Parada, «Análisis de los factores financieros, técnicos y humanos que limitan la implementación de la metodología BIM en la fase de construcción del proyecto CEFÉ Las Cometas», 2022, Accedido: 28 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/27244>
- [11] G. Oussouboure y R. D. Victore, «La asignación de recursos en la Gestión de Proyectos orientada a la metodología BIM.», *Rev. Arquít. E Ing.*, vol. 11, n.º 1, p. 4, 2017.

El monitoreo de la calidad educativa como pilar para la buena Gestión de Proyectos en futuros profesionales en ingeniería

The monitoring of educational quality as a pillar for good Project Management in future engineering professionals

Nidia Cruz-Zúñiga¹

Cruz-Zuñiga, N. El monitoreo de la calidad educativa como pilar para la buena Gestión de Proyectos en futuros profesionales en ingeniería. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 78-85.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6861>

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

Palabras clave

Calidad educativa; educación superior; atributos de egreso; ingeniería de proyectos.

Resumen

La calidad siempre debería estar presente en la gestión de proyectos en ingeniería, pero para que los futuros profesionales puedan interiorizar el concepto de calidad en todo lo que hacen se requiere que desde su formación el tema haya sido un eje transversal en su proceso de aprendizaje. Los procesos de autoevaluación y acreditación de las carreras buscan asegurar una calidad mínima en la educación profesional de los futuros graduados, y con esto influir en las competencias profesionales que puedan desarrollar. En las últimas décadas las agencias acreditadoras de carreras de ingeniería a nivel mundial han impulsado la necesidad de evaluar los atributos de egreso en las personas que se gradúan de carreras de ingeniería como un paso previo a garantizar las competencias deseadas en la persona profesional, lo que también está directamente relacionado con el aseguramiento de la calidad de la educación superior en estas disciplinas. Enlazar los hallazgos de estos procesos de evaluación con las reformas curriculares resulta un insumo clave para mejorar el desarrollo de las carreras y de los procesos de enseñanza – aprendizaje con el estudiantado, en especial en algunos atributos clave para la buena gestión de proyectos como los son: la comunicación oral y escrita, el trabajo en equipo, la resolución de problemas, entre otros. El presente trabajo expone el caso de la Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, donde se aborda la metodología integral que se aplicó para llevar a cabo una reforma curricular que contemplara la necesidad de evidenciar los atributos de egreso y los retos de la acreditación con miras a la mejora del programa, enlazado en cómo esto se espera que contribuya con las destrezas de las futuras personas ingenieras en la ejecución de proyectos de ingeniería.

Keywords

Educational quality; higher education; graduation attributes; project engineering.

Abstract

Quality should always be present in the management of engineering projects, but for future professionals to be able to internalize the concept of quality in everything they do, the subject must have been a transversal axis in their learning process since their training. The self-assessment and accreditation processes of the careers seek to ensure a minimum quality in the professional education of future graduates, and with this influence the professional skills they can develop. In recent decades, the accrediting agencies of engineering careers worldwide have promoted the need to evaluate the graduation attributes in people who graduate from engineering careers as a previous step to guarantee the desired competencies in the professional person, which it is also directly related to quality assurance of higher education in these disciplines. Linking the findings of these evaluation processes with curricular reforms is a key input to improve the development of careers and teaching-learning processes with students, especially in some key attributes for good project management such as: oral and written communication, teamwork, problem solving, among others. The present work exposes the success case of the Civil Engineering Degree of the University of Costa Rica, where the integral methodology that was applied to carry out a curricular reform that contemplates the need to demonstrate the graduation attributes and the challenges is addressed. of accreditation with a view to improving the program, linked to how this is expected to contribute to the skills of future engineers in the execution of engineering projects.

Introducción

La calidad siempre es un fin por sí mismo en la gestión de proyectos, esta se cimienta en gran medida en las habilidades y destrezas de las personas ingenieras que tienen a cargo los proyectos. Un buen profesional en ingeniería es aquella persona que tiene un sólido conocimiento técnico de la disciplina, pero que además logra reunir una serie de habilidades blandas que le ayudan a expresarse correcta y asertivamente, sustentar sus puntos de vista, negociar con sus colegas y clientes, conocer y aplicar técnicas para resolución de problemas y conflictos, entre otras habilidades. Dichos aspectos no siempre son tan claramente visibles en su proceso de formación y tampoco son siempre reflejados explícitamente en el currículo universitaria. En algunos casos se ven desdibujados en medio de tanto contenido teórico.

Los procesos de autoevaluación en la educación superior abren espacios para la reflexión acerca de esas habilidades y destrezas que se requiere formar en el estudiantado, dándoles un valor similar al de la adquisición de conocimientos duros. Estos ejercicios evaluativos sirven como puntos de reflexión para docentes y administrativos (encargados de las carreras) para procurar acciones de mejora de la calidad profesional futura.

De igual forma que la autoevaluación, los procesos de reforma curricular son una necesidad para el crecimiento y actualización de los planes de estudio de las carreras en una universidad. La planificación curricular implica una revisión integradora el plan de estudios como un todo, que requiere ser enlazada a los resultados de los procesos de acreditación, con miras a detectar ciclos de mejora continua que ayuden a crear una cultura de aseguramiento de la calidad. Estos procesos de revisión y mejora requieren contemplar la contextualización de la carrera; que incluye las tendencias mundiales, la caracterización profesional y el desarrollo de un marco epistemológico [1]; donde se recomienda un abordaje circular que vea hacia afuera (referentes) y luego vuelva hacia adentro de la propia universidad y de la carrera.

El caso expuesto en el presente escrito, basado en la experiencia de la Licenciatura en Ingeniería Civil, expone cómo los procesos de monitoreo de la calidad en educación superior ayudan a forjar profesionales más integrales. Se tomo como base la experiencia de la última reforma curricular y los procesos de evaluación de atributos que fueron concebidos con la hipótesis de que era más sencillo interiorizar y posteriormente evaluar los atributos de egreso de la población graduada si estos habían sido incorporados desde el planteamiento curricular base, tratando de desglosar cada habilidad o conocimiento en un hilo conductor que lo llevara desde el perfil de egreso hacia los cursos, y de ahí a la vida profesional de cada graduado, pasando por diferentes niveles de profundización conforme se avanza en la malla curricular. Lo ideal habría sido complementar esta investigación con mediciones de las competencias de las personas graduadas, y enlazar esto con la calidad de los proyectos que lideran o en los que participan, sin embargo, esto quedó fuera de los alcances presentados en este artículo y requerirá ser abordado más adelante en futuras investigaciones del tema.

Antecedentes

El proyecto piloto denominado Tunning, que se gestó en el año 2000 en Europa, y donde se hablaba de la necesidad de convergencia en cuanto a los perfiles profesionales y los resultados académicos deseables, a través de la obtención de competencias comunes en el estudiantado, fue la base de los procesos de evaluación por competencias y luego por atributos de egreso. El proceso evolucionó luego en otros proyectos como 6X4 (2008) e Innova Cesal (2009), entre otros [2]. Todas estas iniciativas buscaban mejorar la relación entre la formación universitaria que se impartía y las cualidades que lograban desarrollar las personas graduadas al estar ejerciendo sus distintas profesiones. En este sentido Vargas [3] indica que en términos de formación laboral las competencias destacan los atributos o características personales de

quienes las poseen, o el desempeño en función de resultados exitosos, la capacidad de lograr resultados en situaciones diferentes y adversas; aspectos que son relevantes para la gestión de proyectos de calidad. Esta necesidad de un perfil profesional eficiente nace precisamente desde el mercado laboral, que buscaba un estándar de calidad mínimo entre los recién graduados que contrataba, y que conlleva a un enfoque que luego adoptan varias disciplinas diferentes, entre ellas las ingenierías.

Desde la dimensión profesional, se tiende a promover el desarrollo de competencias orientadas hacia el desempeño de funciones específicas, fácilmente observables, pero que no pueden estar desligadas de los elementos teóricos y conceptuales que fundamentan el hacer, el conocer y el ser una persona en su totalidad [4]. Por ello se trató de hilar los atributos con los saberes del perfil, para que quedaran entrelazados al implementarlos en la educación que recibirá el estudiantado.

Díaz-Barriga [5] agrega que el discurso de la innovación en la institución educativa ofrece argumentos en torno a la realidad social del mundo cambiante, incierto y complejo en que vivimos, y por ello se afirma que el conocimiento, y por ende los modelos educativos, caducan continuamente, de ahí la necesidad de una reinención constante y de procesos cíclicos. La visión de aseguramiento de la calidad también se enmarca en este proceso de reinención y mejoramiento continuo, basado en la necesidad de que las personas sepan adaptarse a las demandas de un mundo cambiante, y en particular, que quienes están inversos en proyectos de ingeniería tengan también esas habilidades para adaptarse y trabajar con alta calidad y ética, sin menoscabar en la rigurosidad de los conceptos técnicos a aplicar.

Tampoco es adecuado solo pensar que el mercado laboral dará las pautas de lo que se debe enfocar en una carrera universitaria, pues no siempre el mercado pagará o atenderá todas las necesidades sociales, más si estas no son rentables. En este sentido hay que considerar que la ingeniería es una actividad en la que es esencial conocer las necesidades de las personas, el desarrollo económico en el que está inmerso un proyecto y la necesidad de proveer de servicios a la sociedad.

La realidad es que el cuerpo docente enfrenta las tareas de selección, caracterización y organización de los contenidos curriculares y por ende la delimitación de los aprendizajes esperados y su evaluación, [6], esperando dar todos los conocimientos, fomentar los valores, reforzar las habilidades y desarrollar las aptitudes que posteriormente las personas estudiantes tendrán para enfrentarse exitosamente al desarrollo de proyectos de ingeniería. Sin embargo, se ha evidenciado como la formación de algunos atributos necesarios para garantizar la calidad (trabajo en equipo, habilidades de comunicación, ética, resolución de problemas) pueden no estar siendo abarcados de forma integral en la formación de los futuros ingenieros.

Metodología

El proceso reflexivo que da origen al presente artículo parte del trabajo que se realizó entre 2016 – 2019 para la reforma curricular y la ejecución de la evaluación de atributos de egreso en la carrera (2017 – 2022). Ambos desafíos, que tenía que abarcar la Escuela sin mucho conocimiento de fondo de cómo ejecutarlo, se encargan en los procesos de calidad educativa exigidos tanto por la universidad como por las agencias acreditadoras a las que se presenta la carrera. Durante el primer año de la investigación se trabajó con un alcance exploratorio, en vista de la poca información documentada que existía respecto al abordaje del currículum en carreras de ingeniería y en particular de la inclusión de los atributos de egreso en el perfil

académico. Posteriormente, se pudo profundizar en los dos años siguientes del proceso pasando a fases más descriptivas e incluso llegando a la creación de constructos propios para la carrera en los que se apoyó el nuevo perfil de egreso.

Se trabajaron procesos de consultas a poblaciones clave en el aseguramiento de la calidad de la formación universitaria que impartía la Escuela. En el cuadro 1 se presentan los criterios utilizados para seleccionar la muestra en cada población:

Cuadro 1. Caracterización de las poblaciones consultadas.

Población	Tipo de muestreo	Proceso de selección y criterios de exclusión	Muestra deseada	Tamaño muestra logrado
Estudiantil	Censo a la población completa	Se consideró solo al estudiantado activo de la carrera que se encontraran cursando 7mo, 8vo, 9no y 10mo semestres, además de personas egresadas.	La mayor posible. La población seleccionada era de 278 personas	135 respuesta válidas (49%)
Docente	Censo a la población completa	La totalidad de docentes nombrados para el segundo semestre de 2016.	La totalidad de la población activa: 74 docentes.	84% (62 respuestas)
Graduada	A conveniencia, dependiendo de quienes lograran ser contactados	Representantes de las cohortes graduadas del plan vigente entre el 2000 y 2016, las listas de contactos a la Oficina de Registro.	Al menos un 10% de la población que se logró contactar (1506)	267 respuesta satisfactorias (18%)
Empleadora	A conveniencia, recomendados por la CPE	Una vez conformada la base de datos, se procedió, por medio de llamadas telefónicas, a invitar a las y los empleadores a participar en el proceso	Al menos un 10% de los contactos. Se lograron 366 contactos confirmados	60 (16%)
Investigadores	A conveniencia, recomendados por la CPE	Se contemplaron representantes nacionales e internacionales.	Al menos una persona representante por área.	6 en total
Personas expertas referentes nacionales	A conveniencia, recomendadas por la CPE	La Comisión consideró profesionales en ingeniería civil que fueran referentes en las diferentes Áreas de la disciplina en el país	Al menos un representante por área.	10 en total.

Fuente: recopilado del proceso de reforma curricular, EIC, 2016.

Para todos los casos, al tratarse de personas como unidades de estudio, se obtuvo el consentimiento informado para participar de la investigación, se explicaron los alcances del estudio, la relevancia que tenía para la carrera y se dio a la persona la potestad de decidir si participaba del proceso. Los resultados obtenidos con las consultas realizadas se trabajaron de forma anónima y agrupada, con el fin de obtener información global, no personalizada. Posterior a este proceso de consulta se realizaron varios talleres participativos, con las

siguientes poblaciones de interés: docentes y estudiantes; personas graduadas y empleadoras, esto como parte del proceso investigativo de devolución de resultados y triangulación entre poblaciones.

Paralelamente, se realizó una investigación formal de fuentes secundarias de información, que ayudaron a definir los antecedentes, contexto nacional e internacional, referentes universales, entre otros aspectos. Finalmente vinieron los procesos de reflexión y síntesis de los resultados para obtener los principales hallazgos que se reflejaron en el nuevo perfil de egreso y en la incorporación explícita de los atributos deseados en él.

Resultados

Román y Diez [7] concuerdan con la necesidad de superar la escuela tradicional de aprendizaje de contenidos y en dar énfasis en las prácticas de la escuela activa, contemplando formas más integrales de aprender. El aseguramiento de la calidad en los proyectos altamente demandantes de la ingeniería actual precisamente no puede ser atendido solo con poseer un listado de conocimientos adquiridos, sino que se requieren destrezas adicionales, que ayuden a los nuevos profesionales a enfrentar mejor los retos que se les plantean de forma más integradora.

Uno de los primeros resultados obtenidos fue un mapeo con los vacíos de formación en algunos atributos requeridos para la formación de personas ingenieras. Al analizar los contenidos desarrollados en cada ciclo de formación se pudo ver como aspectos que eventualmente deberían ser transversales en la formación (sostenibilidad, ética, aporte a la sociedad, entre otros) no estaban tan claramente reflejados en los procesos de formación y ciertamente son sumamente necesarios en la ingeniería de proyectos. Estos vacíos también se evidenciaron en parte en la segunda fase con las evaluaciones de atributos, donde se obtuvo entre los primeros resultados como algunos de estos atributos estaban un poco débiles en la población estudiantil, al menos en las primeras corridas del proceso de evaluación, lo que induce a pensar en la necesidad de incorporarlos más fuertemente y dentro de cursos específicos, más que como ejes transversales.

Las reflexiones con los diferentes grupos de interés se centraron muchas veces en que la universidad pública no podría solo responder a lo que pide el mercado laboral, pues se correría el riesgo de dejar por fuera ciertas áreas del conocimiento disciplinar solo por considerarlas obsoletas para el mercado, con el peligro de que con ello se pierda el entendimiento del concepto, de la fundamentación o de la adaptación de teorías a situaciones particulares. Guzmán [4] indica que la investigación en el campo del currículo y la reflexión epistemológica en el campo de la disciplina pueden aportar lineamientos teóricos y metodológicos para buscar posibles puntos de encuentro entre estos ideales de la formación universitaria y los intereses del medio laboral. Si bien el mercado busca profesionales altamente eficientes y que realicen trabajos de calidad, esto no es tan fácil de lograr si en todo el proceso de formación no se dio este énfasis de enseñanza. La calidad como constructo no estaba tan claramente definido en el abordaje curricular de la carrera en estudio; y aunque todas las poblaciones consultadas concordaban en la importancia de fomentarla, no entendían lo mismo a la hora de delimitarla.

Algunos resultados de las mediciones de atributos de egreso (a nivel exploratorio pues se han desarrollado al momento solo experiencias piloto) muestran como resultado que las mayores brechas de formación se están teniendo particularmente en atributos blandos, en particular se evidencia de forma paralela del análisis curricular que algunos de estos atributos blandos no son estrictamente enseñados durante la carrera, sino que se parte de que el estudiantado trae una formación previa que debe perfeccionar en temas como comunicación, habilidades de trabajo individual y en equipo, entre otras. Como se ha mencionado estos atributos blandos están relacionados con ese aseguramiento de la calidad. Aunque lo primeros resultados

muestran cumplimientos aceptables en la mayoría de los atributos medidos, si se reflejó que en estos últimos el promedio de calificación de la cohorte fue ligeramente menor que para los atributos duros. La Figura 1 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en la medición de algunos atributos durante la experiencia piloto desarrollada en el II semestre del 2021. Para esta experiencia se había definido una serie de preguntas para evaluar cada uno de los componentes seleccionados, y se esperaba tener un resultado promedio de la población evaluada que al menos superara el 7,0 de calificación (línea punteada en rojo en los gráficos de radar).

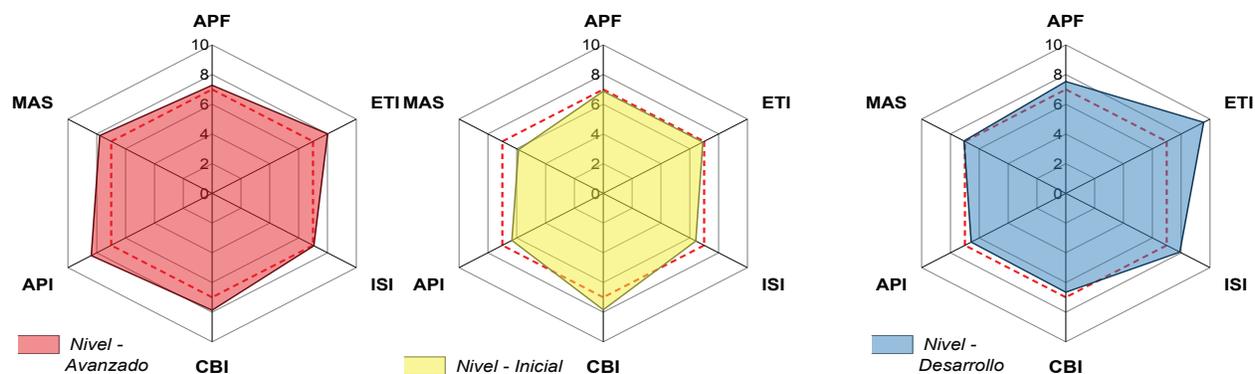


Figura 1. Resultados promedio obtenidos para cada atributo durante la medición del II-2021. Fuente: [8].

Nota: La línea punteada indica el valor de 7,0, el valor mínimo deseable para cada atributo. Atributos - APF: Administración de Proyectos y Finanzas; ETI: Ética; ISI: Ingeniería y Sociedad; CBI: Conocimientos Básicos de la Ingeniería; API: Análisis de Problemas; MAS: Medio Ambiente y Sostenibilidad.

Por otro lado, al tratar de mapear las actividades pedagógicas y los espacios en los cursos donde se enseñan, practican y evalúan dichos conocimientos también se han detectado importantes vacíos a cubrir. En particular se evidenció que muchas veces se da por sentado el desarrollo de ciertas habilidades como la de trabajo en equipo, sin enseñar realmente al estudiantado las pautas a seguir para lograr un trabajo altamente eficiente con sus colegas e incluso más allá al prepararlos para trabajar con profesionales en otras disciplinas.

Otro resultado del proceso de investigación evidenció que lo que busca la incorporación de los atributos es corregir el aprendizaje memorístico y abstracto, la formación meramente teórica, por uno más práctico y cercano a la realidad en la que se desempeñarán las personas profesionales en su futuro ejercicio. Se pretende que la formación universitaria trascienda las aulas y pueda llevar fácilmente a la persona graduada al campo laboral con una visión integradora de su realidad y una potencialización de sus habilidades. Aguerredondo [9] lo resume muy prácticamente indicando que: “las situaciones son cada vez más complejas, ser competente requiere por un lado de muchos saberes, teóricos y prácticos, y por otro de mucha imaginación y creatividad.” Este enfoque del profesional de ingeniería que el mundo requiere es lo que haría que su trabajo sea de calidad y que los proyectos en los que se desempeñan esos graduados se ejecuten cumpliendo los estándares de calidad que se requieren.

Conclusiones

Todavía quedan interrogantes importantes por resolver, que requieren futuras investigaciones, en especial asociado a ¿cómo operativizar la evaluación de los atributos de egreso incorporados en el perfil?, ¿cómo convencer a las personas docentes de que el enfoque por atributos es una buena opción para responder a las necesidades de más practicidad del estudiantado actual?,

y finalmente, ¿cómo trascender de los resultados que se lleguen a obtener en la evaluación de los atributos hacia una formación universitaria más profunda e igualmente rigurosa como la que se ha tenido en estos años?

El proceso evidenció como la visión de los atributos busca precisamente que los futuros graduados sepan no solo conceptos (saberes), sino que puedan actuar adecuadamente según el contexto en el que se van a desarrollar y utilizar sus conocimientos para la resolución de los problemas a los que se enfrentan (saber hacer). Todo esto les podría ayudar a adaptarse mejor a las demandas del mercado y más allá a las necesidades de la sociedad en la que trabajan con criterios éticos, equitativos e inclusivos (saber ser). Si desde la universidad logramos que la formación tenga esta visión integradora, se garantiza la calidad de los futuros profesionales, y a la vez la calidad de los proyectos de lideren.

Respecto a los atributos blandos se llegó a la conclusión de que para su correcta evaluación se requiere complementar los instrumentos de medición con otras actividades como rubricas, observaciones de clase, talleres participativos. La EIC está trabajando actualmente en definir las mejores estrategias al respecto.

Finalmente, también se llegó a la conclusión de que las modalidades educativas tipo taller y el incremento de actividades complementarias como giras y laboratorios son ideales para mejorar el proceso de formación de calidad, en especial para la adquisición y reforzamiento de los atributos blandos. Sin embargo, también se evidenció como esto requiere de más profesorado y a la vez estos requieren estar más capacitados, al mismo tiempo que estas actividades requieren más tiempo docente para diseñarlas y evaluarlas como actividades formativas.

Finalmente es importante recalcar que el modelo de competencias en la Universidad de Costa Rica, según González [10], no puede ser “una respuesta al paradigma de la competencia” de la economía global, sino que debe estar contextualizado en el marco de una comunidad o país, por lo que representa un reto para esta institución, que ha de cuestionarse y reflexionar acerca de las características de este modelo, intereses o fines y el contexto en que se plantean [4].

Referencias

- [1] Centeno, E. & Cruz, N. (2018). La construcción epistemológica en Ingeniería Civil: Visión de la Universidad de Costa Rica, vol. 19, n.1, p. 1-30. DOI 10.15517/AIE.V19I1.35328.
- [2] Bolaños, C. et al. (2015) Discusión conceptual y sistematización de experiencias para el diseño curricular por competencias. Proyecto piloto de innovación docente: formación por competencias. Recuperado de: <http://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/2245>
- [3] Vargas Zúñiga, F. (2004) Competencias clave y aprendizaje permanente. Montevideo: Cinterfor/OIT. (Herramientas para la transformación, p.26)
- [4] Guzmán A., A. (2010). Las competencias: Otra mirada a la formación universitaria de enfermería. Revista Electrónica Actualidades Investigativas en Educación. Volumen 10, número 1. Pp.1-28.
- [5] Díaz-Barriga, F. (2012) “Reformas curriculares y cambio sistémico: una articulación ausente pero necesaria para la innovación” *Revista iberoamericana de educación superior*. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-28722012000200002&script=sci_arttext&lng=en
- [6] Coll, C. (2006), “Cada vez que ha habido cambio curricular, ha sido como resultado de un debate ideológico y no del análisis de las evaluaciones. Entrevista a César Coll”, en *Docencia*, núm. 29, agosto, p. 30-39.
- [7] Román Pérez, M., Díez López, E. (2005). Diseños Curriculares de aula. En el marco de la sociedad del conocimiento. Madrid: Editorial EOS.
- [8] EIC (2022). Boletín informativo. Resultados del plan Piloto medición de atributos de egreso - II semestre 2021.
- [9] Aguerro, I. (2007). El nuevo paradigma de la educación para el siglo XX. La educación. Revista Interamericana de Desarrollo Educativo, N°116, III, OEA, Wash. DC. Disponible en <http://www.campus.oei.org>
- [10] González G., Y. (2006). Educación y Universidad. San José: Editorial Universidad de Costa Rica

Gestión de Residuos en proyectos de construcción de viviendas en Costa Rica: teoría versus práctica

Waste Management in housing construction projects in Costa Rica: theory versus practice

Nidia Cruz-Zúñiga¹

Cruz-Zúñiga, N. Gestión de residuos en proyectos de construcción de viviendas en Costa Rica: teoría versus práctica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 86-95.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6862>

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

Palabras clave

Residuos de construcción; gestión ambiental; gestión de residuos; tasa de generación de residuos.

Resumen

El presente artículo sintetiza los resultados de varios proyectos de investigación que se han realizado en la Escuela de Ingeniería Civil, bajo la tutoría de la autora, y enmarcados en la línea de investigación de gestión integral de residuos en la construcción. El objetivo de la investigación ha sido generar información respecto a la tasa de generación de residuos en proyectos de construcción, al momento solamente para proyectos de vivienda, y estudiar su composición, con el fin de brindar pautas a las autoridades nacionales para una posible regulación del sector construcción en materia de residuos. Una de las principales hipótesis que se han estudiado es que existe una diferencia en la tasa de generación de residuos por metro cuadrado de construcción según la tipología constructiva que se maneje en el proyecto. La metodología seguida para estas investigaciones ha consistido en estudiar proyectos constructivos de diversa índole durante su fase de obra gris, y cuantificar en sitio todos los residuos que se van produciendo, llevando un control por peso y por avance de obra. Al mismo tiempo se han realizado caracterizaciones por tipo de residuo en todos los casos, con el fin de evidenciar que tipo de material de construcción genera mayor cantidad de residuo, por peso y por volumen. Adicionalmente, se ha estudiado los porcentajes de desperdicio, llevando un comparativo entre la cantidad de materiales que ingresan a cada proyecto y los residuos que se reflejan en campo, lo que se comparó luego con los porcentajes de desperdicio que indica la teoría para estimar los presupuestos. Entre las principales conclusiones a las que ha llegado la investigación al momento están el que los desperdicios suelen ser mayores en la práctica de lo que indica la teoría, pero que existen otras variables implicadas en la generación de residuos que hacen que proyectos de una misma tipología y hasta muy similares entre sí tengan tasas de generación relativamente diferentes. También se ha podido observar cómo los proyectos construidos con sistemas modulares no precisamente tienen tasas de generación de residuos menores, como se indica en la teoría. Adicionalmente, si se ha comprobado que los proyectos constructivos que tienen elementos más complejos en diseño suelen generar tasas de residuos mayores, lo que parece estar relacionado a diseños arquitectónicos más elaborados.

Keywords

Construction waste; environmental management; waste management; waste generation rate.

Abstract

This article summarizes the results of several research projects that have been carried out at the School of Civil Engineering, under the author's guidance, and framed in the research line of comprehensive waste management in construction. The objective of the research has been to generate information regarding the rate of waste generation in construction projects, at the moment only for housing projects, and to study their composition, in order to provide guidelines to national authorities for a possible regulation of the construction sector in terms of waste. One of the main hypotheses that have been studied is that there is a difference in the rate of generation of construction waste per square meter of construction depending on the type of construction used in the project. The methodology followed for these investigations has consisted of studying construction projects of various kinds during their gray work phase and quantifying all the waste that is produced on site, keeping track of weight and work progress. At

the same time, characterizations by type of waste have been carried out in all cases, in order to show what type of construction material generates the greatest amount of waste, by weight and by volume. Additionally, the percentages of waste have been studied, carrying out a comparison between the amount of materials that enter each project and the waste that is reflected in the field, which was then compared with the percentages of waste that the theory indicates to estimate the budgets. Among the main conclusions reached by research to date are that waste is usually greater in practice than theory indicates, but that there are other variables involved in the generation of waste that make projects of the same type and even very similar to each other have very different generation rates. It has also been observed how projects built with modular systems do not precisely have lower waste generation rates, as indicated in theory. Additionally, it has been proven that construction projects that have more complex design elements tend to generate higher waste rates, which seems to be related to more elaborate architectural designs.

Introducción

El sector construcción incide en el desarrollo del país, ya que influye en el crecimiento de actividades económicas, como la inmobiliaria, el comercio o la manufactura de productos, al generar infraestructura física y empleo. Según datos de la Cámara Costarricense de la Construcción [1], la construcción aportó alrededor del 4,0 % del producto interno bruto del país, y el 3,9 % para el 2020 [2]. Adicionalmente, según la Encuesta Continua de Empleo, un 7 % de la población ocupada del país se desarrolla en la rama de construcción, lo que representa cerca de 135 500 personas que se sustentan gracias al sector [3]. El Informe Económico del Sector Construcción reportó un crecimiento del 15,2 % en la cantidad de metros cuadrados reportados ante el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) entre febrero 2018 y enero 2019 [1].

Las estadísticas casi siempre hablan del empleo y crecimiento, pero son menos los datos disponibles cuando se habla de generación de residuos en el sector. El sector de la construcción consume el 40 % de los materiales vírgenes que se extraen, mientras que produce el 10 % – 35 % de los residuos que se encuentran en los sitios de disposición [4]. Precisamente la falta de más datos de campo en esta rama de generación de residuos hace necesario el desarrollo de proyectos de investigación que aporten información valiosa para la toma de decisiones.

En Costa Rica existe un marco normativo que legisla la Gestión Integral de Residuos (Ley N° 8839), [5], sin embargo, las acciones enfocadas en los residuos de construcción son escasas y poco específicas. Como consecuencia, estos últimos no se tratan correctamente, porque los generadores y los actores responsables de su gestión, no cuentan con mecanismos ni datos apropiados para mejorar su recolección, transporte, almacenaje, procesamiento y disposición o que permitan reducir las tasas de generación [6]. Según Leandro [7] la generación de desechos de construcción en una obra depende de las políticas de administración, proveeduría y manejo de materiales del proyecto, la capacitación y calidad de la mano de obra y del tamaño y complejidad del proyecto.

La línea de investigación que la autora lleva en la Escuela de Ingeniería Civil busca generar información actualizada respecto a la cantidad de residuos sólidos que se producen en proyectos constructivos, mediante su medición directa en campo. Se parte de lo que indicó Leandro [7] en cuanto a que existen muchas posibles causas de la generación de residuos, pero en particular se estudia la relación entre la tipología constructiva y la tasa de generación; además de identificar algunas otras variables emergentes como posibles causas de la diferencia de generación de residuos de un proyecto a otro, tal como lo es el nivel de capacitación de la mano de obra y su formalidad y tipo de contratación. En la mayoría de los casos estudiados se ha tenido como limitación el abarcar la obra desde el inicio de cimientos hasta finalizada la obra

gris; solo en pocos casos se ha logrado levantar datos de campo para la fase de acabados. Esto último debido a los múltiples atrasos que se generan en las obras, en especial durante la pandemia, y en el tiempo disponible de las personas tesorarias para continuar midiendo. Para la presente investigación se tomaron los residuos de construcción que no incluyen los generados en el movimiento de tierra (suelo y capa vegetal).

Dentro de los alcances de la investigación se decidió trabajar con el subsector de vivienda, esto considerando que es el tipo de construcción más común en general en los países. Según el Informe Económico del Sector Construcción de la Cámara Costarricense de la Construcción [2], un 42,28 % del área construida, tramitada ante el CFIA, fue de la categoría vivienda y un 37,75 % específicamente para vivienda unifamiliar. Al mismo tiempo se consideró que en este tipo de proyectos suele tenerse mano de obra menos especializada o calificada que en los proyectos grandes de infraestructura, aunado a que también es menos común encontrar un sistema de gestión de proyectos operando. Todo esto puede influir en la cantidad de residuos que se generan en obra. Según Cruz [8] el porcentaje de desperdicio de materiales es mayor si el presupuesto es inexacto o no considera los desperdicios como un factor determinante para la toma de decisiones: por inexperiencia de quien lo elabora, aplicación de factores de seguridad altos o falta de detalle en planos constructivos. En proyectos pequeños tampoco es común que se lleven controles de inventario donde se registre las cantidades compradas y utilizadas para controlar los índices de desperdicio, aspecto que es clave para una gestión de proyectos exitosa. Un 83 % de las empresas encuestadas por Abarca y Leandro [9] no guardan un registro de este tipo.

Finalmente, otra arista analizada comparó los sistemas constructivos tradicionales con los modulares (para la mampostería) y valoró si realmente el uso de modulación presenta un ahorro significativo en la generación de residuos sólidos y facilitan su gestión. Según Marín [10] en Costa Rica, en los últimos años, se ha ido implementando un sistema de mampostería de concreto modular, con el objetivo de disminuir los desperdicios generados en la actividad de pega de bloques y de esta manera aumentar la productividad no solo constructiva sino también económica. De acuerdo con Fernández [11] el sistema modular tiene la ventaja de que se pueden realizar intersecciones entre paredes con los mismos bloques sin necesidad de segmentarlos, ni realizar otro tipo de ajuste. Además, permite un diseño normalizado no solo en las paredes sino también en los buques de puertas y ventanas. Sin embargo, en materia de residuos, hay que considerar que este sistema solo modula los bloques de mampostería y no así el resto de los materiales requeridos, por lo que realizar comparativas es clave para ver si la teoría de reducción de residuos que comercializan es realmente lo que se da en la práctica.

Metodología

En todos los casos las personas tesorarias estudiaron proyectos de vivienda, de diferentes dimensiones y tipologías constructivas. Cada persona tenía a cargo el estudio de dos o tres viviendas, con el fin de levantar información detallada y estimar la generación y composición de los residuos en campo. Además, se chequeaban las órdenes de compra y presupuestos para cuantificar la cantidad de materiales que ingresaban a la obra.

Como primera etapa en todos los casos se contó con la anuencia de los desarrolladores de las viviendas en estudio. Luego se realizó una visita preliminar y se conversó con cada maestro de obra y profesional a cargo para explicar la metodología de trabajo y los requerimientos de la investigación. En todos los casos se contó con la anuencia a participar. Los datos se presentan de forma anónima para respetar la confidencialidad de cada participante.

Seguidamente en todos los casos se pidieron listas detalladas de compra de materiales, con el fin de tener una idea concreta de la cantidad y tipo de materiales que ingresaban a cada obra y así luego compararlo con los tipos de residuos detectados. No en todos los casos se logró tener el mismo grado de detalle de estas listas, y en algunos proyectos se tuvo información parcial.

Para el control de los residuos generados se visitó cada uno de los proyectos al menos una vez a la semana, siempre en coordinación con los maestros de obra encargados, con el fin de evitar que se mandara a disposición final los residuos sin que hubieran sido cuantificados. La cuantificación de los residuos en todos los casos se realizó mediante el análisis de pesada total, método que consiste en pesar todos los residuos que van a una instalación de tratamiento o vertido. Este método permite determinar la tasa de generación de residuos con los datos recolectados. En estos casos la pesada se dio en el sitio de obra antes de que salieran los residuos hacia su sitio de disposición final.

El principal indicador que se estimó en todos los casos fue la tasa de generación de residuos, que es la relación que existe entre la cantidad de residuos generados, ya sea en peso o volumen y la unidad de generación deseada. Para el caso de esta investigación se utiliza el peso en kilogramos por metro cuadrado de construcción, según la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa de generación} = \frac{\text{Residuos generados (kg)}}{\text{Área construida (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

Los datos sobre tasas de generación de proyectos de construcción son necesarios para crear bases de datos con las cuales establecer las políticas necesarias sobre gestión integral de residuos de construcción en el país. Este indicador permite estimar proyecciones nacionales de las cantidades de residuos de construcción que requieren manejo anualmente y son básicos para el diseño y planteamiento de un sistema integral de gestión.

En una segunda fase de la investigación en cada casa se estimó el índice de residuos por tipo de material, lo cual se calculó mediante la metodología de balance de masas. Para este método se deben identificar todas las entradas y salidas a un sistema limitado: en este caso los materiales adquiridos y los residuos generados en el entorno de cada proyecto. El índice de residuos se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de residuos} = \frac{\text{Residuos generados (kg)}}{\text{Materiales adquiridos (kg)}} \times 100\% \quad (2)$$

Para este índice se debe indicar que en el campo fue complejo de delimitar los bordes del sistema para realizar el balance de masa, en particular cuando se tenían varias casas en construcción de forma simultánea. Esto debido a las malas prácticas de cuantificación en obra y de gestión de los residuos. Incluso se detectaron inconsistencias en la presupuestación y el control de materiales por obra.

En todos los casos los residuos se pesaron con una balanza digital con una incertidumbre de 0.05 kg y con la ayuda de estañones o baldes, luego se registró los datos del pesaje en la hoja de Excel.

Resultados

Existen metodologías constructivas más eficientes que otras en cuanto al uso de materiales y que por ende podrían producir tasas bajas de generación de residuos, como por ejemplo cuando se usan correctamente elementos prefabricados o modulares. Sin embargo, independientemente

del método de construcción, hay situaciones que pueden suscitar cantidades mayores de residuos como la compra de cantidades innecesarias de materiales, la variación en las dimensiones de elementos, el daño de materiales por baja calidad o manipulación inapropiada o la falta de compromiso e interés de las empresas constructoras o de sus empleados con el correcto tratamiento de los materiales y los residuos que se van generando. La investigación pudo constatar que estas son algunas de las múltiples causas de la generación de residuos y que llevan a que la gestión de los proyectos en esta materia sea compleja. De las visitas de campo se pudo destacar como en varios de los proyectos se tenía muy poco control del ingreso y las cantidades de los materiales a utilizar, llevando en ocasiones listados generales que se iban a usar en varias casas a la vez sin tener una claridad de cuanto de cada material realmente se consumía por casa. Se evidenció de las entrevistas y de las visitas de campo que existe poco interés del personal de obra en llevar registro de los materiales realmente gastados y mucho menos existe la cultura de registrar los residuos generados.

A partir de las cantidades del pesaje de los residuos generados en los proyectos estudiados y las respectivas áreas de construcción de cada vivienda, se obtuvo la tasa de generación de residuos total por proyecto y por tipo de material. Los datos se muestran en el cuadro 1.

De los estudios de campo se pudo reflejar que para los bloques de mampostería modular no se llega a tener el cero desperdicio que se comercializa, siendo en promedio un 5.23 Kg/m^2 la cantidad de residuos de este tipo que se producen en obra. Si se comparan estos valores con los estudiados por Rímolo [12] para casas construidas con mampostería no modular (1.87 kg/m^2 , reportado como cementicios que en su mayoría son restos de bloques de mampostería), se obtiene una tasa de generación incluso mayor en los proyectos con bloques de mampostería modular. Aunque la cantidad de proyectos no es estadísticamente representativa del comportamiento en el país, se podría pensar que existen otros factores que están afectando la generación de residuos de bloques de mampostería, que va más allá de si se utilizó o no un sistema modular, lo que ya ha sido mencionado en la literatura del tema por varios autores ([9]; [7]; [13]). Según algunas de las entrevistas de campo realizadas por Bolaños [14], el factor de mano de obra afecta significativamente la generación de residuos, y en especial cuando son contratados en planilla, pues parece que tienen menos cuidados al manipular los materiales. Sin embargo, cabe comparar lo que ocurre con otro residuo importante de la construcción, como por ejemplo con la madera, pues en los proyectos evaluados por Rímolo [12] el residuo de madera (medida en masa seca) alcanzó para este caso 2.41 kg/m^2 ; mientras que para los proyectos de mampostería modular el valor promedio rondó los 0.56 kg/m^2 , es decir casi 4 veces menos.

De los proyectos estudiados para sistemas modulares, el total de residuos de la vivienda, exceptuando este material mayoritario (bloques), ronda los 300 kg por proyecto, lo cual no representa ni siquiera el 50 % de los residuos de bloques de concreto. Con base en ello resulta un valor considerablemente alto el que se tiene para los residuos de mampostería, si se toma en cuenta que la utilizada es modulada, es decir, los residuos de este material deberían de ser bajos puesto que existe una modulación para evitar desperdicios. Sin embargo, según lo observado en campo por Marín [10] las fuentes de residuo encontrado en los bloques de concreto se deben a razones no relacionadas con la modulación, por lo que no se puede atribuir este hecho a un mal o ineficiente diseño de modulación, sino más bien a deficiencias y malas prácticas durante el proceso constructivo; esto concuerda también con lo comentado por Bolaños [14]. Específicamente en campo se evidenció que los residuos de bloques tienen entre sus causas comunes los errores de medición, falta de previsión para el paso de tuberías eléctricas o sanitarias, falta de cuidado en el uso de módulos especiales para juntas, esquinas

o similares, entre otros. Todas estas potenciales causas de los residuos podrían minimizarse con un sistema de gestión de obra que incluya la capacitación y sensibilización en el uso de materiales y la generación de residuos.

Cuadro 1. Comparación de tasas de generación por proyecto estudiado y por tipo de material.

Residuo Sólido	Tasa de generación de residuos en proyectos construidos con sistema de mampostería modular (kg/m ²)						
	Proyecto 1A (armabloque)	Proyecto 2A (armabloque)	Proyecto 1B (integral)	Proyecto 2B (integral)	Proyecto 1C (armabloque)	Proyecto 2C (armabloque)	Proyecto 3C (armabloque)
Concreto premezclado	0	0	0,78	0	1	1,03	1,04
Block paredes de mampostería	8,07	2,91	3,32	1,9	6,81		
Block de entrepiso	no dato	no dato	3,58	3,52	no dato	no dato	no dato
Escombros	14,04	6,62	0,19	0,27	3,24	3,06	2,82
Mortero de pega	0,23	0,27	8,52	8,35	5,17	4,88	4,24
Repello grueso	2,43	0,07	2,68	2,98	0,56	0,56	0,6
Repello fino	no dato	no dato	no dato	no dato	0,48	0,43	0,44
Madera	0,53	0,52	0	0,46	0,81		
PVC	0,07	0,05	0,034	0,02	0,1		
Estereofón	2,24	0,14	no dato	no dato	0,1	0,11	0,1
Hierro galvanizado	0,21	0,18	0,24	0,5	0,211	0,21	0,212
Varilla	0,39	1,45	0,65	0,15	0,91		
Perfiles de aluminio	0,08	0,08	0,03	0,03	no dato	no dato	no dato
Revestimiento cerámico y porcelanato	0,47	1,67	1,57	1,34	no dato	no dato	no dato
Lámina de yeso	0,5	0,45	0,37	0,23	no dato	no dato	no dato
Cable eléctrico	no dato	no dato	no dato	no dato	0,012	0,011	0,011
Tasa de generación total (Kg/m ²)	29,26	14,41	21,97	19,75	19,4	18,92	18,09
Tasa de generación total promedio (Kg/m ²)	20,26						

Fuente: [Adaptado de Bolaños [14] & Marín [10]]

Nota: No en todos los proyectos se contó con los mismos materiales, y en el caso de la familia de proyectos "C" no fue posible cuantificar acabado de pisos y ventanería, y además por el manejo de los residuos en obra para algunas categorías no fue posible tener un dato separado por cada casa, sino que se tuvo que trabajar con un promedio para los tres proyectos.

También se pudo comprobar que en campo que lograr una gestión integral de residuos en las construcciones no es una tarea sencilla. Se tienen muchos inconvenientes y una falta de cultura de reutilización y reciclaje. Algunas otras causas de los altos índices de desperdicios de los materiales documentadas en campo son: el de despacho tardío de materiales, mala manipulación del material en las etapas previas a su colocación, malos trazos de las fincas que provocan que una casa invada la otra y esto genere que el bloque no calce y deba cortarse, uso indebido del material, por ejemplo, para calzar los andamios o colocarlos como base para esquivar otros materiales, entre otros. Ante esto se concluye que la cuantificación de los residuos de bloques de concreto se ve afectada, en gran parte, por motivos ajenos al diseño de la modulación, por lo que, no se puede esperar que este material sea completamente cero residuos si está sujeto a muchos más factores externos al diseño propiamente. Aunado con ellos, los encargados de obra indicaron en varias ocasiones que tienen grandes problemas asociados al manejo y disposición de los residuos generados, pues no cuentan con gestores que puedan ser fácilmente contratados y a un costo razonable para que se puedan valorizar los residuos. En muchos de los casos se tiene mucha informalidad entre las personas asociadas a llevarse los residuos de las obras, y se tiene prácticamente una omisión en el seguimiento de los residuos una vez que son retirados de las obras.

Finalmente, dentro de esta investigación se realizó una consulta a diferentes actores involucrados en la construcción de casas, tanto en el sistema tradicional de bloques de mampostería como con alguno de los sistemas modulares. Los resultados de la encuesta realizada por Rímolo [12] reflejaron que del total de vivienda construida cerca de un 74% se construye con mampostería, y de este porcentaje aproximadamente 75% utiliza mampostería confinada no modular. Fue claro de la investigación que se requiere propiciar que las autoridades del CFIA lleven estadísticas de la construcción en el país más detalladas, pues no fue posible encontrar un valor oficial comparativo con lo encontrado por la consulta a los actores. El CFIA lleva el registro de cuantos de los metros cuadrados de construcción tramitados en el país son vivienda, pero no llega a definir mayor detalle.

Conclusiones

Para el establecimiento de políticas sobre gestión integral de residuos de construcción y la preparación de un sistema adecuado para el país, se debe priorizar la declaratoria de los residuos de construcción como un residuo de manejo especial, con todas las implicaciones que la legislación costarricense le otorga bajo dicha declaratoria. Esto propiciaría el surgimiento de un mercado de gestores que ayuden a mejorar el manejo en obra, reutilización, reciclaje, transporte y disposición de estos residuos.

De los casos de estudio analizados, se llega a la conclusión de que en las construcciones de mampostería integral se desecha un poco más de bloques (1,67 % más), pero mucha menos madera (24,45 % menos), que en los proyectos que se analizaron con mampostería tradicional. El mercado costarricense va migrando poco a poco hacia el uso de sistemas de mampostería confinada, sin embargo, en grueso de las viviendas unifamiliares que se construyen de forma independiente sigue utilizando el sistema tradicional.

El espacio disponible para almacenamiento de materiales y de residuos durante la obra parece ser clave a la hora de implementar una gestión controlada de los últimos. Se pudo constatar en las diferentes obras estudiadas, que conforme se tiene menos espacio complementario para el almacenamiento y la clasificación de los residuos se aplica mucho menos los principios de recuperación, reutilización y reciclaje de residuos, y se tiende más a volver a las prácticas tradicionales de disponer rápidamente todos los residuos revueltos y sin control.

Se concluye que la mano de obra (y su capacitación en materia de GIRS) es clave en cuanto al generación de residuos. Fue evidente como casas de la misma tipología constructiva, incluso con el mismo diseño, mismos proveedores de materiales, presentaron tasas de generación de residuos muy diferentes, donde la variable diferenciadora más significativa era la composición y tipo de contratación de la cuadrilla de trabajo.

En cuanto a recomendaciones para mejorar las prácticas constructivas la investigación concluye que se debe tomar acción en distintas áreas como:

- Velar por la correcta manipulación de los materiales, desde el momento que ingresan al proyecto hasta que se son utilizados, con el fin de conservar su integridad para evitar generar residuos por pérdida de su funcionalidad;
- mejorar la logística de entrega de materiales, de modo que no se acabe por completo la disponibilidad de ninguno y que así los operarios no se vean tentados a realizar sustituciones poco eficientes que se traducen en desperdicios;
- Contar siempre con un punto para el almacenamiento temporal de los residuos en obra, de forma clasificada, para así tener claridad de donde se pueden buscar cabos de un material para alguna tarea complementaria y se evite que se corten innecesariamente elementos nuevos.
- Controlar la adquisición de materiales con un control del consumo por obra, se evidenció que la compra masiva de materiales repercute a nivel de la empresa, pues al no tener control del consumo por proyecto se pueden estar generando costos adicionales por uso inadecuado y excesivo de los materiales. Se pudo ver como esta práctica hace que se obtenga un menor rendimiento de los materiales, lo cual está asociado a producir más residuos de los que realmente deberían generarse.

Agradecimientos

Se agradece el trabajo de cada una de las estudiantes que han participado de esta línea de investigación y que han realizado el trabajo de campo en cada uno de los proyectos estudiados. De igual manera se agradece a las empresas constructoras y profesionales encargados de obra, que han estado anuentes a que se estudien en detalle sus proyectos de vivienda.

Referencias

- [1] Cámara Costarricense de la Construcción, 2019. Informe Económico del Sector Construcción. Dirección de Investigación y Desarrollo técnico. Costa Rica. Recuperado de: <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/8613>
- [2] Cámara Costarricense de la Construcción, (2021). Informe Económico. <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/11064#:~:text=Para%20el%202021%20se%20esperaba,privada%20en%20el%20territorio%20nacional>.
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020. Encuesta Continua de Empleo. Recuperado de: <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/receiit2020.pdf>
- [4] Abarca-Guerrero, L., Leandro-Hernández, G., Hasbum-Fernández, I., & Solano-Soto, J. (2019). Gestión de materiales de construcción en Costa Rica para reducción de residuos: barreras y motivaciones. *Revista Tecnología En Marcha*, 32(6), Pág. 65–77. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i6.4230>
- [5] Ley N° 8839 Gestión Integral de Residuos. 24 de Junio del 2010.
- [6] Arce, E.M. (2017) Validación de la Guía de manejo eficiente de materiales de construcción. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

- [7] Leandro, A. (2008). Manejo de desechos de la construcción. Tecnología en Marcha, 21(4), 6063. Recuperado de: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/226
- [8] Cruz, E. (2010). Diseñar un sistema de manejo de desechos sólidos para una empresa constructora de edificios de apartamentos. Trabajo de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- [9] Abarca, L., Leandro, A. (2016). Guía: Manejo Eficiente de Materiales de Construcción. <https://construccionsostenible.cfia.or.cr/wp-content/uploads/2018/08/gu%C3%ADa-manejo-eficiente.pdf>.
- [10] Marín, F. (2021). Caracterización y cuantificación de residuos sólidos de construcción para viviendas individuales tipo apartamento en condominio con sistema constructivo modular tipo Armabloque en la Gran Área Metropolitana. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- [11] Fernández, D. (2015). Evaluación de un nuevo sistema constructivo de mampostería modular de concreto en Costa Rica. Proyecto Final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- [12] Rímolo, S. (2021). Identificación, categorización y cuantificación de residuos de construcción en viviendas de mampostería confinada. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- [13] Leandro, A. (2007). Administración y manejo de los desechos en proyectos de construcción. Etapa 2: Alternativas de manejo. [PDF]. Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Recuperado de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/492/Informe%20final%20Manejo%20de%20Desechos%20enla%20construcci%EF%BF%BD%EF%BF%BDn%20Etapa%20II.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14] Bolaños, S. (2021). Análisis, cuantificación y caracterización de residuos de construcción para sistemas constructivos modulares de viviendas en serie. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Un modelo de gestión de riesgos aplicado a proyectos de movimiento de tierras

A risk management model applied to earthmoving projects

Oscar Rojas-Cazaluade¹, Mauricio Barraza-Osorio²,
Boris Heredia-Rojas³, Juan Huidobro-Arabia⁴

Rojas-Cazaluade, O; Barraza-Osorio, M; Heredia-Rojas, B; Huidobro-Arabia, J. Un modelo de gestión de riesgos aplicado a proyectos de movimiento de tierras. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, número especial. Agosto, 2023. X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. Pág. 96-117.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6863>

- 1 Universidad Católica del Norte, Departamento de Gestión de la Construcción, CEMIC. Chile. Correo electrónico: orojas@ucn.cl
 <https://orcid.org/0000-0001-8016-6235>
- 2 Universidad Católica del Norte, Magíster en Gestión Integral de Proyectos, MeGIP. Chile. Correo electrónico: mbarraza298@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0003-1187-6190>
- 3 Universidad Católica del Norte, Departamento de Gestión de la Construcción, CEMIC. Chile. Correo electrónico: bheredia@ucn.cl
 <https://orcid.org/0000-0003-4134-5569>
- 4 Universidad Católica del Norte, Departamento de Gestión de la Construcción, CEMIC. Chile. Correo electrónico: jhuidobro@ucn.cl
 <https://orcid.org/0000-0003-4164-8316>

Palabras clave

Gestión de riesgos; gestión de proyectos; modelos de madurez; registro de riesgos; lecciones aprendidas; método del caso.

Resumen

Este estudio entrega un modelo para la gestión de riesgos aplicado a los proyectos de una empresa de movimiento de tierras, con el propósito de gestionar las causales de riesgo que amenacen el logro de los objetivos en este tipo de proyectos y tomar las medidas necesarias para poder satisfacer la promesa de valor que exige el cliente y los usuarios, y cumplir con los compromisos respecto al costo, plazo, calidad y alcance. Este trabajo aporta con la aplicación de las mejores prácticas de la gestión de riesgos, según la metodología propuesta por el Project Management Institute (PMI), donde se requiere de la aplicación de procesos de planificación, identificación de los riesgos, análisis cualitativo y cuantitativo, planificación e implementación de respuestas y monitoreo de los eventos que afecten a los proyectos ejecutados por empresas de movimiento de tierras.

Abstract

This study provides a model for risk management applied to the projects of an earthmoving company to manage the causes of risk that threaten the achievement of the objectives in this type of project. This model helps to take the necessary measures to satisfy the promise of value demanded by the client and users and meet the commitments regarding cost, schedule, quality, and scope. Furthermore, this work applies the best risk management practices according to the methodology proposed by the Project Management Institute (PMI). The processes are applied in projects by earthmoving companies, such as planning, identification of risks, qualitative and quantitative analysis, planning and implementation of responses, and monitoring events.

Keywords

Risk management; project management; maturity models; risk register; lessons learned; case method.

Introducción

Este estudio nace por la necesidad de mejorar la gestión de imprevistos en los proyectos de una empresa contratista del rubro movimiento de tierras, siendo una de las debilidades recurrentes la aparición de errores y problemas no contemplados en la planificación inicial. Esta situación converge en la forma de enfrentar estos problemas en la etapa de ejecución, terminando con altas consecuencias como son los costos adicionales, no cumplimiento de plazos, alcances mayores o menores, no conformidades en calidad, mal uso de recursos y mal desempeño financiero. Además de esto no existe un aprendizaje de la experiencia al finalizar cada proyecto, repitiendo estos errores en el futuro.

Se entiende por movimiento de tierras al conjunto de acciones a realizar en la preparación de un terreno para la ejecución de una obra. Además, es una de las etapas más importantes en cualquier obra pública o privada, ya que afecta directamente al éxito, o no, del proyecto. Para ser concreto, los movimientos de tierras son considerados un conjunto de actividades que requieren seguir procedimientos específicos para su perfecta ejecución. Su importancia radica en que son el soporte de los cimientos de cualquier proyecto de construcción. Adicionalmente, las actividades de un movimiento de tierra se pueden sintetizar en corte, transporte, relleno y

consolidación. El corte o desmonte se refiere a la separación o extracción de determinadas partes de un volumen, una vez superadas las fuerzas internas que lo mantenían unido. En tanto el material removido producto de la excavación es transportado a un depósito o es utilizado en la conformación y consolidación de rellenos o terraplenes.

El movimiento de tierras es considerado como una de las actividades primordiales en la minería, cuenta con varias etapas donde destacan el carguío, transporte y descarga. En todas estas se debe cuidar la planificación y programación de los movimientos y rutas. Según Larraín [1], para muchos el movimiento de tierra es una de las actividades más importantes dentro de la industria, siendo considerada el eje motriz de la industria minera, ya que está presente desde la fase de construcción hasta el cierre de los proyectos. Comenta que si bien es un proceso que se desarrolla tanto en minería como en construcción, existen diferencias en la forma en que se ejecutan y los alcances de los proyectos. Principalmente respecto del rendimientos, ya que, en las obras de construcción, al ser menos masivas, se busca una mayor calidad y precisión, mientras que en la minería se busca mayor volumen.

Dentro de los problemas más recurrentes identificados en faenas de movimiento de tierras realizadas en proyectos, está el mal desempeño mecánico de la maquinaria pesada utilizada, problemas en el financiamiento de los recursos, la falta de insumos para la mantención de la maquinaria y materiales del proyecto y los errores en la definición del alcance. En consecuencia, para identificar, evaluar y controlar adecuadamente los riesgos en este tipo de trabajos, esta investigación define y formula el problema a través de la pregunta ¿cómo desarrollar un modelo de gestión de riesgos aplicable a los proyectos de una empresa de movimiento de tierras que permita mejorar el cumplimiento de los objetivos relacionados con el alcance, costo, plazo y calidad?

Para cumplir con el objetivo general, los objetivos específicos definidos son los siguientes:

- Medir el nivel de madurez en gestión de proyectos aplicando el modelo propuesto por Harold Kerzner [2].
- Diseñar un modelo de gestión de riesgos utilizando como base teórica los procesos indicados en el estándar PMBOK aplicado a proyectos de una empresa de movimiento de tierras.
- Proponer la aplicación de la gestión del conocimiento mediante el proceso SECI como herramienta para la capitalización de la experiencia en una empresa de movimiento de tierras.

Metodología

Para lograr los objetivos, este estudio aplica una metodología con una justificación de tipo práctica, ya que a partir del marco teórico desarrollado se busca encontrar solución a una problemática de una organización. Específicamente, el diseño metodológico consta de tres etapas principales: (a) definición y diseño de la investigación; (b) preparación, recolección y análisis de la evidencia; y, por último, (c) discusión y conclusiones (ver figura 1).

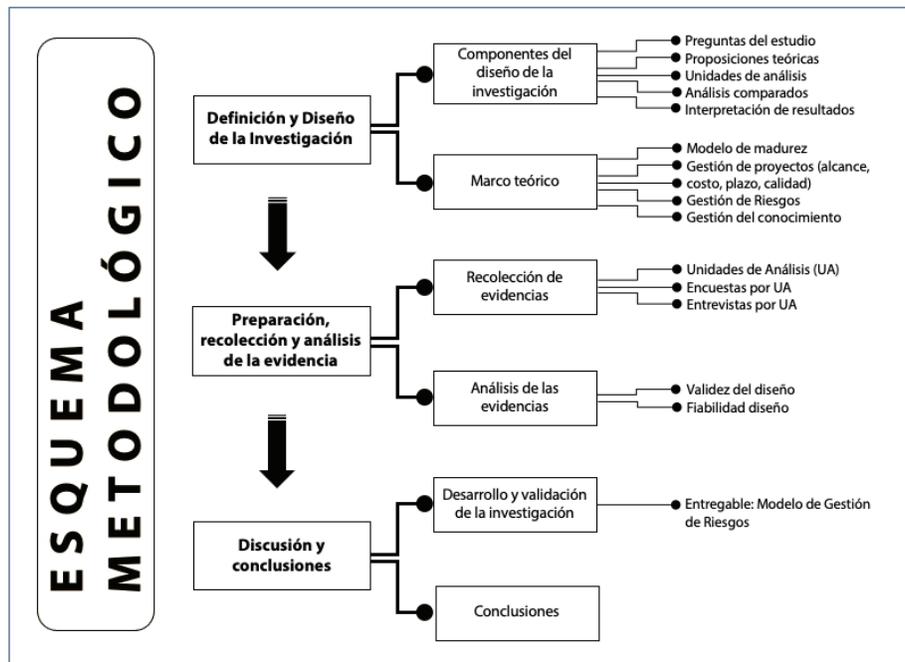


Figura 1. Esquema metodológico de la investigación.

La definición y diseño de la investigación se realiza aplicando el Método del Caso de Robert Yin [3] que aporta las herramientas que guían las distintas variables que permite, en primer lugar, delinear las fuentes de evidencia que respalden las proposiciones teóricas del diagnóstico planteado en la investigación. En segundo lugar, los datos de campo que aportan la evidencia y datos que permiten el análisis del estado de nivel de madurez de la gestión de proyectos en la organización, es decir, evaluar las buenas prácticas en gestión de proyectos aplicadas, para determinar las brechas respecto a la gestión de riesgos y gestión del conocimiento.

El caso aplicado es del tipo acoplado–deductivo, puesto que el punto de partida es una situación general aplicada a una realidad concreta. El estudio se desarrolla en el contexto de una empresa de movimiento de tierras, utilizando cuatro unidades de análisis: gerencia, administración de contratos, oficina técnica y estudios de proyectos y mantenimiento de maquinarias. Para cumplir con la etapa de recolección de datos, el estudio contempla la realización de encuestas y entrevistas en cada unidad de análisis. En la figura 2 se muestra el diseño del caso estudiado.

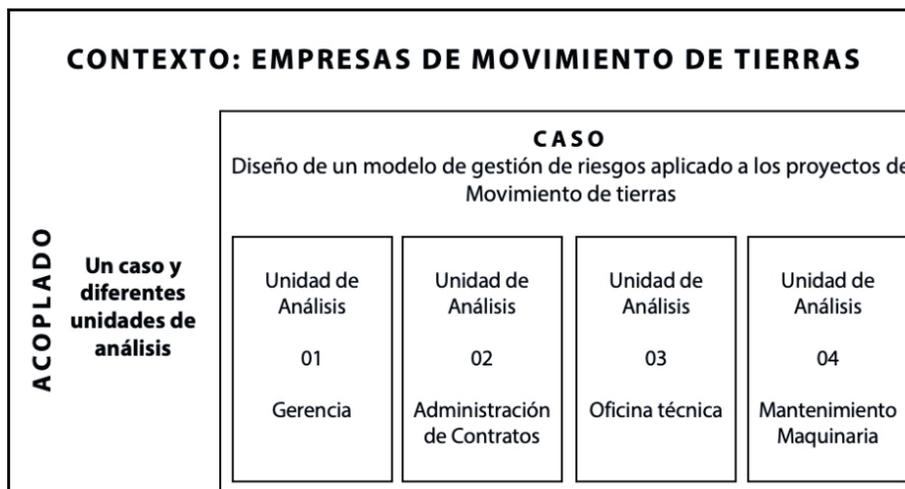


Figura 2. Esquema del método del caso acoplado.

El protocolo diseñado para la recolección de datos consistió en una entrevista con preguntas estructuradas para todos los entrevistados. Mientras que las encuestas fueron estructuradas con preguntas relativas a la gestión de riesgos, su impacto en el costo, plazo, alcance y calidad y la gestión del conocimiento en proyectos de movimiento de tierras.

Finalmente, para probar la validez y fiabilidad del estudio, se recurrieron a las recomendaciones propuestas por Yin [3]. Específicamente, respecto a la validez de la construcción del estudio se aplicaron las siguientes acciones: (a) utilización de múltiples fuentes de evidencia; (b) establecimiento de cadenas de evidencia para cada caso considerado en la investigación; y, (c) establecimiento de un grupo de “informantes claves”, para que revisen el borrador del reporte del estudio de cada caso. Mientras que para la garantizar la fiabilidad se realizó un protocolo del estudio del caso y el desarrollo de la base de datos del estudio (para cada unidad de análisis).

Marco teórico

Modelo de madurez en gestión de proyectos

Un modelo de madurez en gestión de proyectos representa un marco referencia conceptual que define niveles de madurez alcanzados por las organizaciones respecto a la gestión de proyectos de acuerdo con distintos ámbitos y criterios para la evaluación [4], que están relacionados con la capacidad de producir éxitos repetidos en gestión de proyectos. Kerzner [2] agrega que todas las organizaciones marchan a través de un proceso de madurez que debe preceder la excelencia, cuya curva de aprendizaje se mide con el paso del tiempo.

Uno de los principales modelos, por lo menos uno de los más aplicados, es el PMMM (por el nombre en inglés, Project Management Maturity Model) que fue desarrollado y propuesto por Kerzner [2]. Este modelo está compuesto por cinco niveles que representan cada uno un diferente grado de madurez en gestión de proyectos: (a) lenguaje común; (b) procesos comunes; (c) metodología única; (d) referenciación (benchmarking); y, (e) mejoramiento continuo. Un mayor grado de madurez significa métodos más efectivos para la gestión de proyectos, mayor calidad en los entregables, costos más bajos, más motivación en el equipo de proyectos, una balanza deseable entre costo-cronograma-calidad, y una fundamental mejora en provecho de la organización. Por el contrario, una organización con poca madurez se caracteriza por sus repetidos errores en proyectos, aplicación de procedimientos redundantes y si aporte de valor, una historia de proyectos ejecutados sin resultados, entre otros aspectos.

Gestión de riesgos del proyecto

Un riesgo en el proyecto representa un evento individual o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto, mientras que, a nivel general del proyecto, los riesgos son el efecto de la incertidumbre sobre el proyecto en su conjunto, proveniente de todas las fuentes de incertidumbre incluidos riesgos individuales, que representa la exposición de los interesados a las implicancias de las variaciones en el resultado del proyecto, tanto positivas como negativas [4]. Hacer una efectiva gestión de riesgos del proyecto significa, en consecuencia, aumentar la probabilidad y el impacto de eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de eventos negativos para el proyecto. Según PMI [4], esta gestión incluye la realización de los procesos relacionados a la planificación de la gestión, la identificación, el análisis, la planificación de la respuesta a los riesgos, así como su monitoreo de riesgos en un proyecto. En la Figura 3 se presenta la estructura de procesos para una efectiva gestión de riesgos en proyectos y las salidas en cada uno.

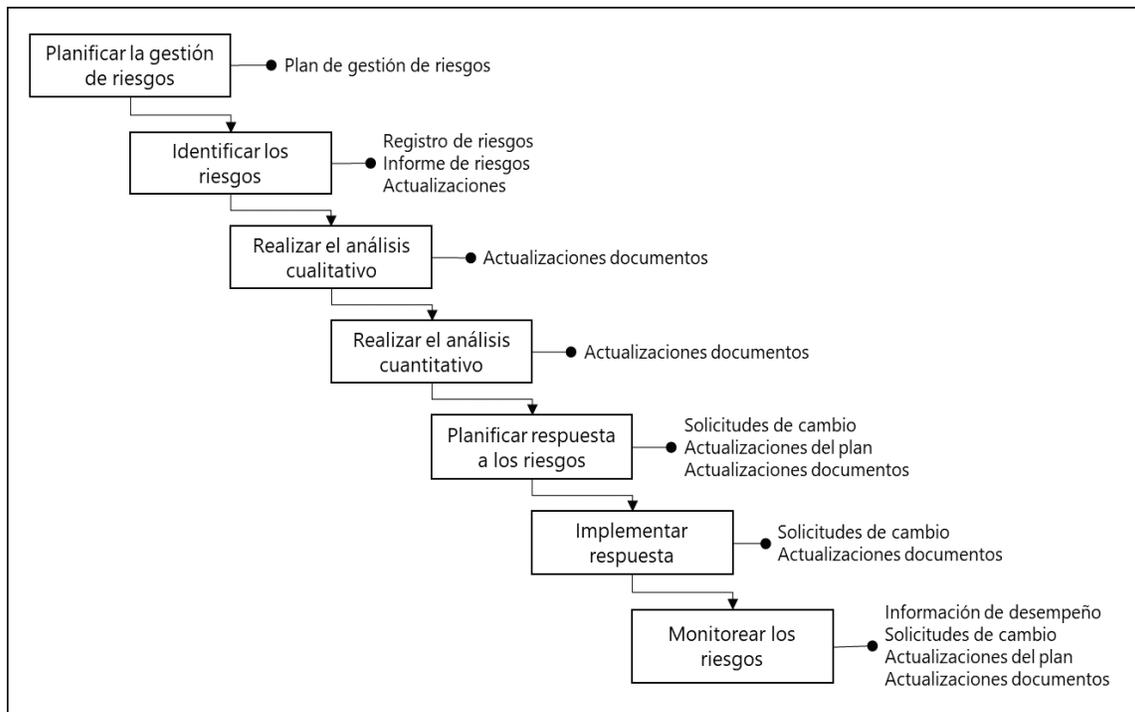


Figura 3. Proceso de gestión de riesgos en proyectos. Fuente: Adaptado de [4].

Tal como lo define el PMI [4], planificar la gestión de riesgos significa definir cómo realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto, dando como resultado el plan de gestión de riesgos. Luego se identifican los riesgos, donde se priorizan los riesgos individuales del proyecto para análisis o acción posterior, evaluando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos, así como otras características. Una vez hecho esto, se realiza un análisis cualitativo de riesgos que sirve para priorizar riesgos para análisis o acción posterior, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos. Complementariamente, se ejecuta un análisis cuantitativo de riesgos, para numéricamente determinar el efecto combinado de los riesgos individuales identificados del proyecto y otras fuentes de incertidumbre sobre los objetivos generales del proyecto. Realizado esto, se planifica e implementa la respuesta a los riesgos con el fin de desarrollar opciones, seleccionar estrategias y acordar acciones para abordar la exposición al riesgo del proyecto en general, así como para tratar los riesgos individuales del proyecto. Finalmente, se monitorea la implementación de los planes acordados de respuesta a los riesgos, hacer seguimiento a los riesgos identificados, identificando y analizando los nuevos riesgos y evaluando la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a lo largo del proyecto.

Como se puede observar, es fundamental estructurar la gestión de riesgos en los proyectos para generar una cultura preventiva que permita a la organización y a los equipos del proyecto, aprender, de tal manera que se realice también una efectiva gestión del conocimiento. La gestión del conocimiento según Nonaka y Takeuchi [5] es un modelo de generación de conocimiento mediante dos espirales de contenido epistemológico y ontológico, donde se produce una interacción entre conocimiento tácito y explícito, el cual tiene naturaleza dinámica y continua. Se constituye en una espiral permanente de transformación interna de conocimiento. En este modelo se expresan los siguientes cuatro procesos de conversión de conocimiento [5]: (a) De tácito a tácito (socialización): Los individuos adquieren conocimientos directamente de otros; (b) De tácito a explícito (externalización): El conocimiento se articula de una manera tangible del

diálogo; (c) De explícito a explícito (combinación): combinan diferentes formas de conocimiento explícito mediante documentos o base de datos; y, (d) De explícito a tácito (internalización): Los individuos internalizan el conocimiento en su propia experiencia.

La gestión del conocimiento significa aplicar de manera planificada y continua una serie de acciones (por ejemplo, registrar y utilizar lecciones aprendidas), que potencien el conocimiento e incrementen la competitividad a través del mejor uso y creación de recursos de conocimiento individual y colectivo en la organización, en este caso para la efectiva gestión del riesgo. Con esto, la organización y sus proyectos podrán ir subiendo en la escala de madurez.

Proposiciones teóricas y factores de análisis

Siguiendo la estructura metodológica de la investigación, a partir del marco teórico, se establecen las siguientes proposiciones y factores de análisis, los cuales se dividen como sigue (ver detalle en cuadro 1): (a) relacionados con el nivel de madurez de la organización; (b) relacionados con la gestión de proyectos; (c) relacionados con la gestión de los riesgos; y, (d) relacionados con la gestión del conocimiento.

Cuadro 1. Proposiciones y factores de análisis.

Proposiciones	Factores de Análisis	
El nivel de madurez refleja el desarrollo de una empresa respecto a la aplicación efectiva de gestión de proyectos.	NM 1	Nivel de madurez respecto a la gestión de proyectos según modelo PMMM de Kerzner [2]
Con la aplicación de la Gestión de Proyecto se pueden alcanzar los objetivos del proyecto de acuerdo con la triple restricción	GP 1	Buenas prácticas en gestión de alcance
	GP 2	Buenas prácticas en gestión de costos
	GP 3	Buenas prácticas en gestión del cronograma
	GP 4	Buenas prácticas en gestión de la calidad
Mediante la aplicación de una efectiva gestión de riesgos se pueden disminuir la ocurrencia de eventos negativos (amenazas) y potenciar los eventos positivos	GR 1	Procesos de gestión de riesgos
La gestión del conocimiento ayuda a la capitalización de la experiencia y a la captura de lecciones aprendidas	GC 1	Proceso SECI Gestión del Conocimiento: Socialización, Externalización, Combinación e Internalización

Resultados

Mediante la recopilación de los datos de encuesta y entrevistas aplicadas a las diferentes unidades de análisis, los resultados de este estudio están enfocados a obtener el nivel de madurez de la organización en gestión de proyectos, utilización de las mejores prácticas en los procesos principales de la gestión de proyectos, analizar el nivel de conocimiento y aplicación de la gestión de riesgos, y capitalización de la experiencia de proyectos pasados. Con los reportes obtenidos de las unidades de análisis y la utilización del marco referencial se obtiene el reporte final de la investigación. A continuación, se enumeran los reportes realizados, los que son la base para la construcción del modelo propuesto:

Reporte N°1: Nivel de madurez en gestión de proyectos

Según los cuestionarios aplicados se obtiene que la organización tiene un nivel de madurez bajo (36%) (ver figura 4 y cuadro 2), de acuerdo con las respuestas marcadas:

- Existe un desconocimiento de los objetivos estratégicos de la organización.
- Los proyectos se desvían de sus objetivos en tiempo, costo y calidad.
- No existen políticas de mejora en los procesos de gestión de proyectos.
- Existe el rol de gerente de proyectos solo en algunos proyectos.
- No existen herramientas para la evaluación del desempeño de los recursos.
- En algunos proyectos existen hitos para su evaluación.
- No existe un programa enfocado a la comunicación y colaboración entre proyectos.
- No se trabaja con cronogramas de multiproyectos.
- No se evalúa la carga de trabajo, requerimiento de ganancias o márgenes y tiempos de entrega para evaluar que trabajo emprender.
- No existe una estrategia de negocio definida a la hora de escoger proyectos.
- No hay metodología de gestión de proyectos común.
- Se recolectan medidas de gestión de la calidad.
- No se conoce el concepto de madurez en gestión de proyectos.
- No se recopilan lecciones aprendidas.

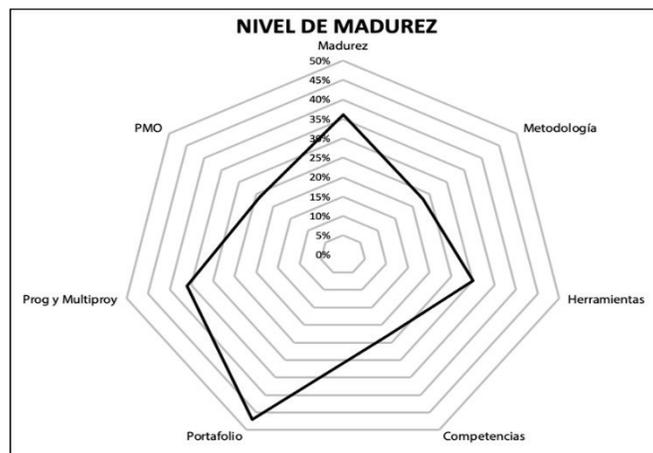


Figura 4. Resultado global nivel de madurez de la organización.

Cuadro 2. Puntaje alcanzado para el nivel de madurez.

Puntaje	Nivel
Obtenido	210 de 640
Nivel de madurez	BAJO - LENGUAJE COMUN (Nivel 1)

Reporte N°2: Gestión de proyectos

Los resultados respecto las áreas de conocimiento relacionados con la triple restricción son:

Gestión del alcance: La definición del alcance de los proyectos se realiza de manera parcial, esto se define inicialmente con la documentación entregada por el cliente, donde en algunas oportunidades se realizan reuniones en las cuales se definen tareas fuera de alcance las cuales no quedan documentadas y se producen problemas posteriormente. El seguimiento del alcance no se documenta, se registran algunos cambios mediante libro de obra y otros de manera verbal. El alcance de los proyectos finaliza mayor al planeado, algunas veces sin considerar estas tareas como mayor obra.

Gestión del cronograma: El monitoreo y control del proyecto se realiza según la exigencia del cliente, si no lo exige no se efectúa. La planificación y coordinación con proveedores se cumple en algunos proyectos dependiendo también del financiamiento. Los plazos sobrepasan lo planeado en gran medida por el aumento y falta de control del alcance.

Gestión del costo: Para estimación del costo se realiza de manera separada la mano de obra, materiales y maquinaria, usando como base presupuestos anteriores o bases de precios. Se controla con poca frecuencia los costos y no existe acceso a todos los costos del proyecto. Los costos finalizan en lo planeado, se puede atribuir a la utilización de recursos propios, como la maquinaria. Los mayores costos están en la remuneración del personal, combustible, compra de material estabilizado, agua industrial, insumos para la mantención mecánica.

Gestión de la calidad: La calidad de los proyectos tiene un desempeño de acuerdo con lo planeado, se tiene establecido un sistema de gestión de la calidad que se encuentra certificado para asegurar la calidad de los procesos y productos. Se establecen controles y ensayos a realizar en los proyectos. De las encuestas se concluye que el mayor éxito de los proyectos se obtiene dando mayor importancia a la gestión del costo, plazo, alcance, riesgos y calidad, de manera integrada.

Reporte N°3: Gestión de riesgos

La organización no tiene un manejo de los procesos de la gestión del riesgo, pero se realiza de manera lógica una evaluación de los posibles riesgos y consecuencias, además de la categorización de los riesgos. No existe un registro histórico o base de datos oficial de los riesgos pasados, el conocer los riesgos dependerá de la experiencia de los profesionales o registro en correos y minutas de reuniones, carpetas Top de proyectos anteriores. También, existe un desconocimiento de los métodos de análisis cuantitativo de riesgos, como por ejemplo Montecarlo. La mayor causa de no alcanzar los objetivos en los proyectos es la baja disponibilidad mecánica de maquinarias, esto viene relacionado con la falta de financiamiento en recursos tales como repuestos. Las fallas en los equipos impactan los plazos y costos, por detención de actividades críticas tales como excavaciones y rellenos. El conseguir repuestos con proveedores en tiempos menores por urgencia significa un mayor costo. Esto, consecuentemente, impacta en la confianza y credibilidad del cliente por no cumplir con calidad de los recursos ofertados, afectando la posibilidad de futuros negocios. Los resultados de esta área del conocimiento se muestran en Figura 5.

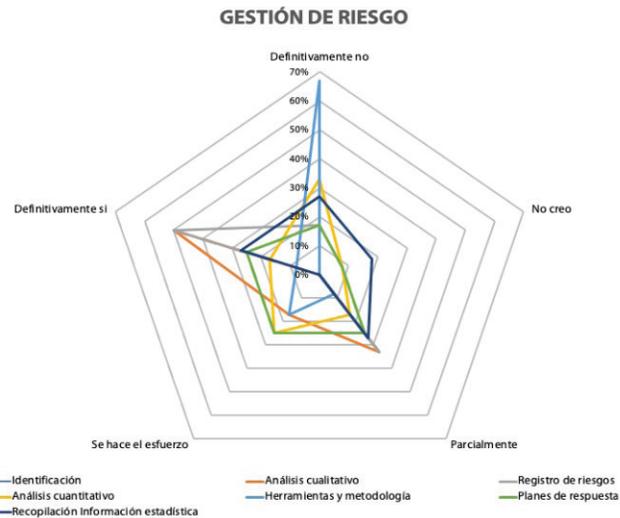


Figura 5. Resultados respecto a la gestión del riesgo.

Reporte N°4: Gestión del conocimiento

Como resultado de la encuesta se concluye que los conceptos de la gestión del conocimiento son familiares al 58% de los encuestados. Existen repositorios físicos o virtuales, pero estos no son difundidos al personal clave de los proyectos. Además, existe una repetición de errores en proyectos de alcance similar. Finalmente, las lecciones aprendidas no se recopilan por falta de formatos y procedimientos o desconocimiento de parte del equipo de proyecto. Los resultados se resumen en la Figura 6.

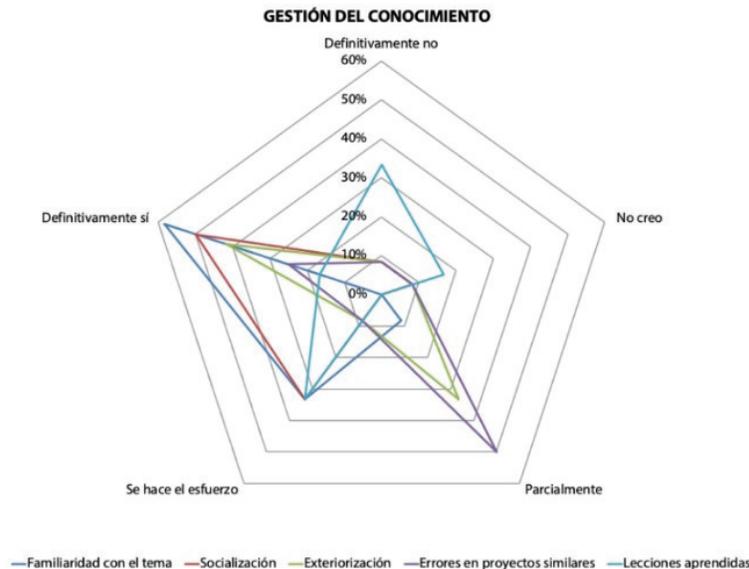


Figura 6. Resultados respecto a la gestión del conocimiento.

Modelo de gestión de riesgos propuesto

El aporte de este estudio es la propuesta de un modelo de gestión de riesgos en proyectos para una empresa de movimiento de tierras (Figura 7), que ponga énfasis en los riesgos recopilados en la fase del análisis de datos. Los principales riesgos detectados son: la baja disponibilidad mecánica; el rendimiento de las maquinarias; el financiamiento insuficiente, donde la falta de recursos son los más incidentes. Además, de un registro de lecciones aprendidas para futuros proyectos.

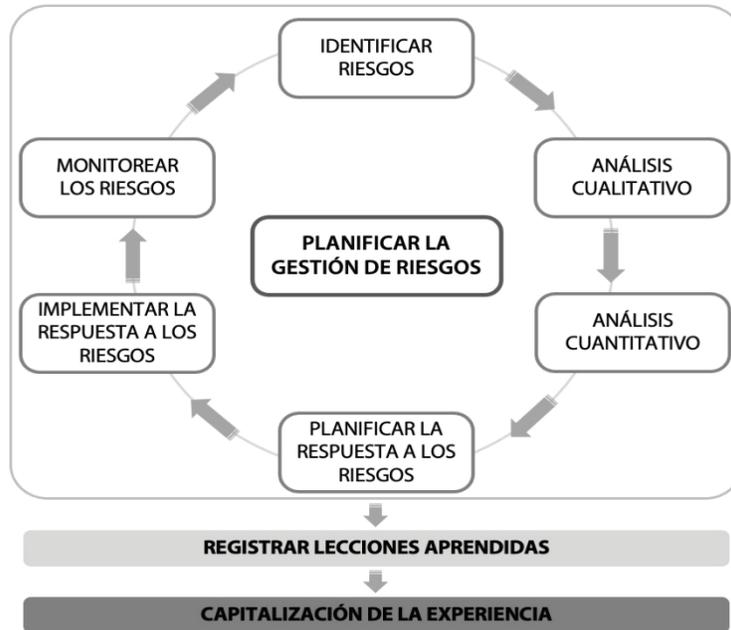


Figura 7. Modelo de gestión de riesgos de proyectos de movimiento de tierras.

Plan de gestión de riesgos

El plan de gestión de los riesgos es un componente del plan para la dirección del proyecto que describe el modo en que se estructurarán y se llevarán a cabo las actividades de gestión de riesgos. El plan de gestión de los riesgos puede incluir algunos o todos de los siguientes elementos:

Metodología: define los enfoques, las herramientas y las fuentes de datos específicos que se utilizarán para llevar a cabo la gestión de riesgos en el proyecto.

Roles y responsabilidades: define los stakeholders del proyecto, y explica sus responsabilidades.

Financiamiento: identifica los fondos necesarios para realizar actividades relacionadas con la Gestión de los Riesgos del Proyecto. Establece protocolos para la aplicación de las reservas de contingencia y de gestión.

Calendario: define cuándo y con qué frecuencia se llevarán a cabo los procesos de Gestión de los Riesgos del Proyecto a lo largo del ciclo de vida del proyecto, y establece las actividades de gestión de riesgos a incluir en el cronograma del proyecto.

Categorías de riesgo: proporciona un medio para agrupar los riesgos individuales de cada proyecto. Una forma común de estructurar las categorías de riesgo es por medio de una estructura de desglose de los riesgos (RBS), que es una representación jerárquica de las posibles fuentes de riesgos. En este caso se define una RBS Genérica para todos los proyectos. Un ejemplo se presenta en Figura 8.



Figura 8. Estructura de desglose de riesgos.

Apetito al riesgo del interesado: el apetito al riesgo de los interesados clave en el proyecto se registra en el plan de gestión de los riesgos, ya que informan los detalles del proceso Planificar la Gestión de los Riesgos.

Definiciones de la probabilidad e impactos de los riesgos: las definiciones de la probabilidad e impacto de los riesgos son específicas al contexto del proyecto y reflejan el apetito al riesgo y los umbrales de la organización y los interesados clave. El proyecto puede generar definiciones específicas de los niveles de probabilidad e impacto, o puede comenzar con definiciones generales proporcionadas por la organización. En esta investigación se consideran las siguientes definiciones de probabilidad e impacto (ver cuadros 3 y 4).

Cuadro 3. Definiciones de la probabilidad e impactos de los riesgos.

Definición de la probabilidad	
Probabilidad de ocurrencia	Definición
0,9	Muy alta
0,7	Alta
0,5	Moderada
0,3	Baja
0,1	Muy baja

Cuadro 4. Definición de los impactos en los objetivos del proyecto.

Definición del Impacto					
Objetivos del Proyecto	Escalas relativas y numéricas no lineal				
	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
Costo	Incremento <\$1.000.000	Incremento entre \$1.000.000-\$5.000.000	Incremento entre \$5.000.000-\$9.000.000	Incremento entre \$9.000.000-\$15.000.000	Incremento >\$15.000.000
Cronograma	Incremento del plazo <3 días	Incremento del plazo entre 3 y 7 días	Incremento del plazo entre 7 y 14 días	Incremento del plazo entre 14 y 21 días	Incremento del plazo >21 días
Alcance	Reducción del alcance apenas perceptible	Áreas menores del alcance afectadas	Áreas mayores del alcance afectadas	Reducción del alcance inaceptable para el patrocinador	El producto final es inutilizable
Calidad	Degradación de la calidad apenas perceptible	Sólo aplicaciones muy específicas son afectadas	La aprobación de la calidad demanda la aprobación del patrocinador	Reducción de la calidad inaceptable para el patrocinador	El producto final es inutilizable
Maquinaria	Disponibilidad de maquinaria >85%	Disponibilidad de maquinaria entre 85 y 65%	Disponibilidad de maquinaria entre 65 y 45%	Disponibilidad de maquinaria entre 45 y 15%	Disponibilidad de maquinaria <15%
Financiamiento	Capital inicial financia 100% del proyecto	Capital inicial >80%	Capital inicial entre 80 y 50%	Capital inicial entre 50 y 20%	Capital inicial <20%
Adquisiciones	Se tiene stock de recursos y contratación de servicios anticipado al inicio del proyecto	Recursos y servicios disponibles >80%	Recursos disponibles entre 80 y 40%	Se planifican las compras cuando el proyecto está en ejecución	No existe planificación de suministros, se desconocen los requerimiento y necesidades del proyecto

Matriz de probabilidad e impacto: las reglas de priorización pueden ser especificadas por la organización con anterioridad al proyecto y ser incluidas en los activos de los procesos de la organización, o pueden ser adaptadas para el proyecto específico. Las oportunidades y las amenazas están representadas en una matriz común de probabilidad e impacto utilizando definiciones de impacto negativo para las amenazas. Se pueden utilizar para la probabilidad y el impacto términos descriptivos y valores numéricos (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Matriz de la probabilidad de los impactos de los riesgos.

Matriz de riesgos							
Matriz			Impactos Negativos				
			Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
			0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
Probabilidad	Muy alta	0,9	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72
	Alta	0,7	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56
	Mediana	0,5	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40
	Baja	0,3	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24
	Muy baja	0,1	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08

Formatos de los informes: los formatos de los informes definen cómo se documentan, analizan y comunican los resultados del proceso de gestión de riesgos del proyecto. El plan de gestión de riesgos describe el contenido y el formato del registro de riesgos y el informe de riesgos, así como cualquier otra salida requerida de los procesos de gestión de riesgos.

Identificación de los riesgos del proyecto

En esta etapa se deben identificar los riesgos individuales del proyecto, así como las fuentes de riesgo general del proyecto y documentar sus características. Se identifican y clasifican los riesgos para cada categoría de la RBS, encontrando un total de 70 riesgos. A continuación, se muestra el desglose para el costo (ver Cuadro 6).

Cuadro 6. Identificación y clasificación de los riesgos para cada categoría de la RBS.

Subcategoría	Ítem	Descripción	¿Afecta?
Costo	GR1	Mala estimación del consumo de petróleo	Si
	GR2	Perdidas de petróleo por mal uso	Si
	GR3	Mayor costo de base estabilizada	Si
	GR4	Aumento en costo de agua industrial	Si
	GR5	Necesidad de choferes y operadores	Si
	GR6	Arriendo de maquinaria adicional	Si
	GR7	Repuestos de maquinaria no estimados en el presupuesto	Si
	GR8	Sobrepasar el plazo de arriendo en maquinarias	Si
	GR9	Contratación de empresas externas especializadas en mantención de maquinarias	Si
	GR10	Atraso en la certificación de maquinarias y operadoras	Si
	GR11	Maquinaria fuera de servicio por problemas mecánicos mayores	Si
	GR12	Costos semanales de mantenciones preventivas en mal estado	Si
	GR13	Montos de estado de pago inferiores a los costos que tiene el proyecto	Si
	GR14	Costos de exigencias adicionales para cumplir el estándar del cliente en seguridad y medioambiente	Si
	GR15	Necesidad de maquinaria con mayor capacidad por cambios en las condiciones del terreno (dureza)	Si
	GR16	No autorización de ingreso al área de trabajo por contingencia del usuario	Si
	GR17	Maquinaria arrendada detenida por falta de operadores	Si
	GR18	Maquinaria arrendada detenida por no tener tarea asignadas	Si
	GR19	Demora en entrega de área a los subcontratos (HDPE, schotcrete, asfalto)	Si

Análisis cualitativo de los riesgos del proyecto

Realizar el análisis cualitativo de riesgos es el proceso de priorizar los riesgos individuales del proyecto para análisis o acción posterior, evaluando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos, así como otras características. El beneficio clave de este proceso es que concentra los esfuerzos en los riesgos de alta prioridad. Este proceso se lleva a cabo a lo largo de todo el proyecto. Como entregable de este proceso se obtiene el registro de riesgos.

El registro de riesgos contiene detalles de cada riesgo individual del proyecto identificado que debe ser evaluado durante el proceso realización del análisis cualitativo de riesgos. Como resultado del análisis de la probabilidad e impacto para cada riesgo individual, se obtiene el registro de riesgos priorizados (ver cuadro 7).

Cuadro 7. Identificación y registro de riesgos priorizados.

Riesgos ID	Descripción del Riesgo	Probabilidad (Entre 0,1 y 0,9)	Impacto del Riesgo (Entre 0,05 y 0,8)	Valor del Riesgo	Prioridad	Tipo de Riesgo	Dueño del Riesgo	Estado
GR45	Alcance mal descrito en el contrato	0,9	0,8	0,72	Muy alto	Negativo	Gerencia	Abierto
GR11	Maquinaria fuera de servicio por problemas mecánicos mayores	0,9	0,8	0,72	Muy alto	Negativo	Administrador de contrato	Abierto
GR7	Repuestos de maquinarias no estimados en el presupuesto	0,9	0,8	0,72	Muy alto	Negativo	Estudio de propuesta	Abierto
GR12	Costo semanal de mantenencias preventivas mal estimado	0,9	0,8	0,72	Muy alto	Negativo	Jefe de maquinaria	Abierto
GR47	Personal mecánico insuficiente	0,9	0,8	0,72	Muy alto	Negativo	Jefe de maquinaria	Abierto
GR37	No se formaliza el alcance al inicio del proyecto	0,7	0,8	0,56	Muy alto	Negativo	Gerencia	Abierto
GR16	No se autoriza el ingreso al área de trabajo por contingencias del usuario	0,7	0,8	0,56	Muy alto	Negativo	Administrador de contrato	Abierto

Análisis cuantitativo de los riesgos del proyecto

Realizar el análisis cuantitativo de riesgos es el proceso de analizar numéricamente el efecto combinado de los riesgos individuales del proyecto identificados y otras fuentes de incertidumbre sobre los objetivos generales del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que cuantifica la exposición al riesgo del proyecto en general, y también puede proporcionar información cuantitativa adicional sobre los riesgos para apoyar la planificación de la respuesta a los riesgos. Mediante el cuadro de definición de impactos se cuantifica los riesgos individuales anteriormente identificados, obteniendo su valor equivalente en pesos para el costo y en días para el plazo.

Para conocer el efecto de los riesgos combinados sobre los objetivos de un proyecto determinado se debe aplicar métodos de simulación mediante un software especializado. Para realizar este proceso se utiliza el software 'Primavera Risk Analysis', el cual permite el análisis de los riesgos en costo y plazo. El proyecto que se usa como caso es la "Construcción caminos y canal de derivación aguas lluvias - Minera ABC" el cual se desarrolla en el rubro del movimiento de tierras.

El plazo de ejecución de este proyecto es de 168 días corridos y se cuenta con un presupuesto: CLP\$2.911.926.793. Se toma como fecha de inicio el 29-10-2018 y término 14-04-2019.

Inicialmente se debe ingresar al software los rangos anteriormente definidos para la probabilidad, impactos en cada objetivo del proyecto y valores de tolerancia para la construcción de la matriz riesgos. A continuación, se crea el registro de riesgos cualitativo ingresando la probabilidad de ocurrencia, impacto en cada objetivo del proyecto, estrategias, planes de respuesta y medidas de mitigación, esto para las condiciones de pre-mitigación y post-mitigación. Para cada riesgo se debe definir sus detalles (causa/efecto, amenaza/oportunidad, responsable). También, se deben establecer sus medidas de mitigación descritas y cuantificadas en costo si fuera necesario, para que mediante esto se pueda obtener las estimaciones de probabilidad e impacto post mitigación. Una vez creado el registro de riesgos se procede a asignar los riesgos al proyecto elegido, partiendo por identificar las actividades más incidentes en el proyecto. En el Cuadro 8 se aprecia que las actividades más incidentes en costo y plazo de este proyecto.

Cuadro 8. Actividades más incidentes en costo y plazo del proyecto.

Camino	ID	Descripción	Duración (días)	Costo
Troncal Ruta B229	A1190	Sub-base granular CBR > 40%	23	\$366.943.595
	A1220	Base granular CBR > 100% estabilizado con bischofita	34	\$464.586.093
Acceso principal	A1210	Sub-base granular CBR > 40%	20	\$488.343.581
	A1480	Base granular CBR > 100% estabilizado con bischofita	32	\$459.672.618

Revisando el registro de riesgos se observa cuáles son los riesgos de nivel más alto que pueden impactar este proyecto. Para las actividades seleccionadas, colocación de subbase granular y base granular, los riesgos que pueden suceder son: maquinaria fuera de servicio por fallas mayores; atraso en suministro de materiales críticos; la llegada de la base estabilizada y bischofita es una restricción para el inicio de esta actividad; y, trabajar con material sin certificación. Se asignan estos riesgos a estas actividades y se selecciona la distribución de probabilidad a usar. En este caso se selecciona una distribución triangular, designando sus tres valores (pesimista, más probable, optimista).

Pre-mitigación: Como se puede ver en las Figuras 9 y 10, los resultados obtenidos son: respecto al costo, un 80% de probabilidad de finalizar en \$3.129.799.749, lo que corresponde a un sobrecosto de \$217.872.956 y en plazo la fecha de término tiene un 80% de posibilidad de ser el día 20-07-2019.

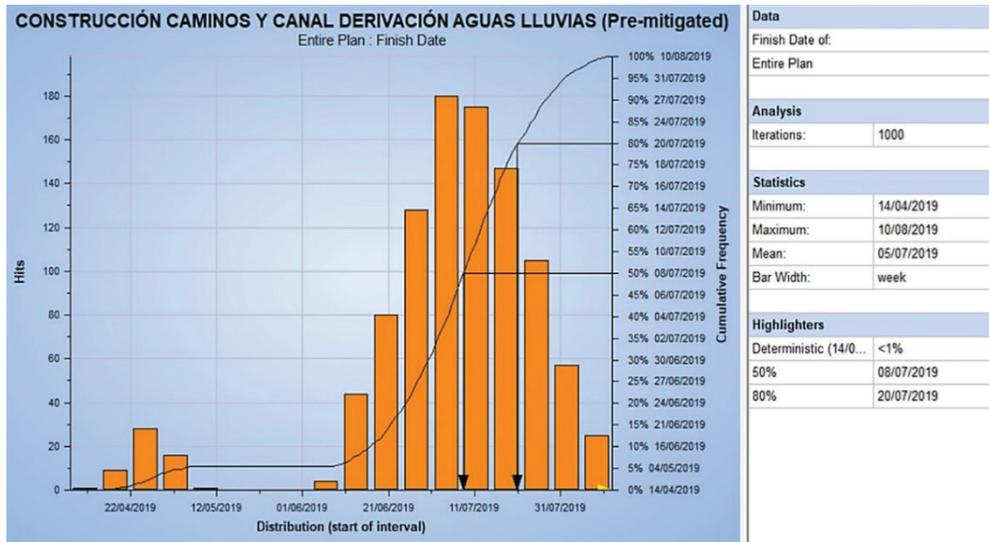


Figura 9. Análisis fecha de término pre-mitigación (obtenido de Primavera Risk Analysis).

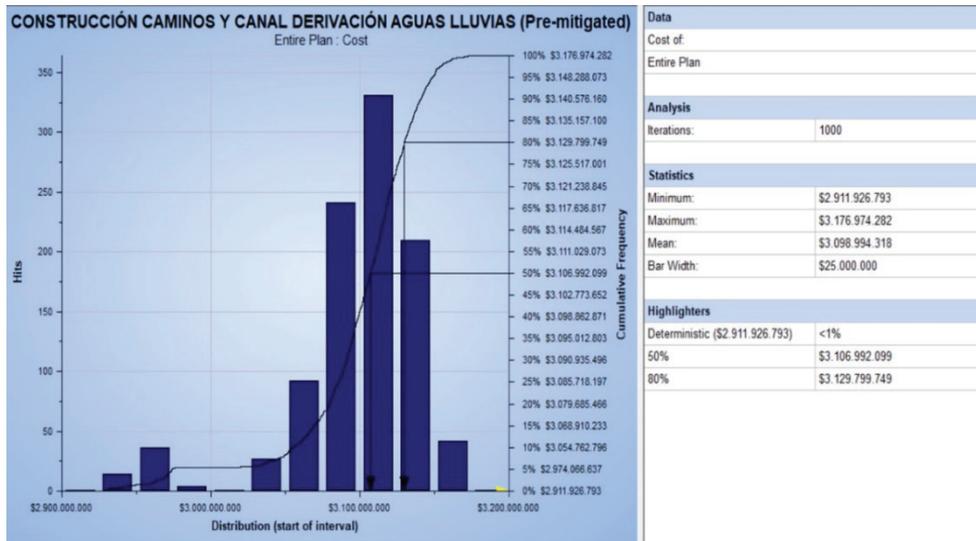


Figura 10. Análisis costo pre-mitigación (obtenido de Primavera Risk Analysis).

Post-mitigación: se realiza el mismo proceso, ahora aplicando las medidas de mitigación. Se asigna a cada actividad los riesgos como subactividad ahora con las probabilidades e impactos luego de aplicar las medidas mitigación. Se obtiene el nuevo histograma el cual muestra que existe un 80% de probabilidad de terminar el 11-05-2019. El costo tiene un 80% de probabilidad de finalizar en \$2.996.269.948, con un sobrecosto de \$84.343.155. Ver Figuras 11 y 12.

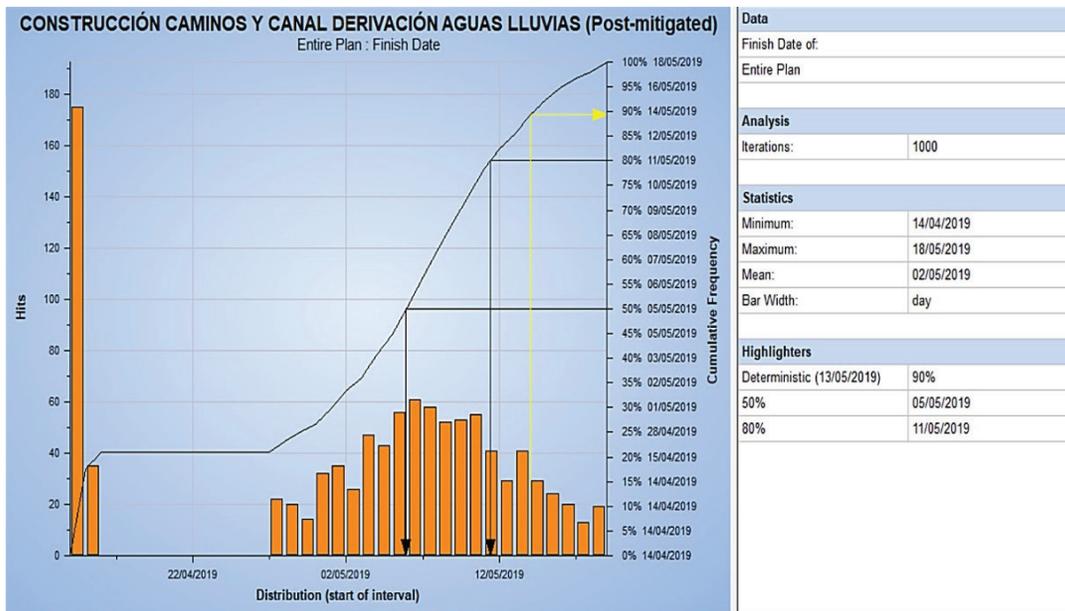


Figura 11. Análisis fecha de término post-mitigación (obtenido de Primavera Risk Analysis).

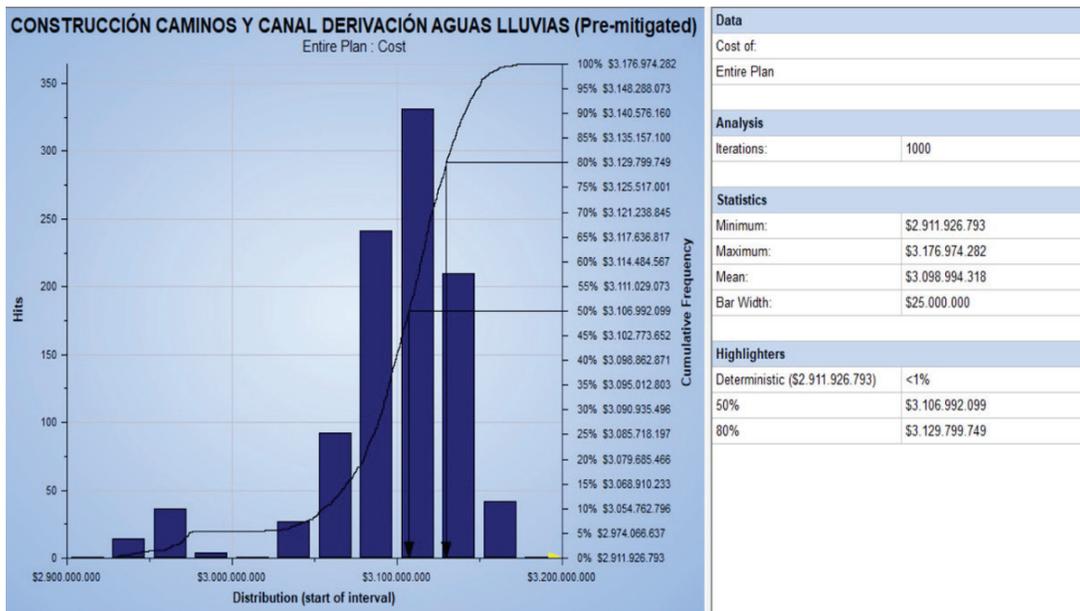


Figura 12. Análisis costo post-mitigación (obtenido de Primavera Risk Analysis).

Mediante las curvas de distribución de probabilidad se puede comparar el programa en los dos casos. En la Figura 13, se aprecia un acercamiento a la fecha determinística luego de aplicar las medidas de mitigación, valorizado en que la desviación estándar pre-mitigación es de 21,23 y post-mitigación es de 10,27. Se puede deducir que de seguir controlando este proceso a lo largo de todo el proyecto se puede lograr disminuir los valores.

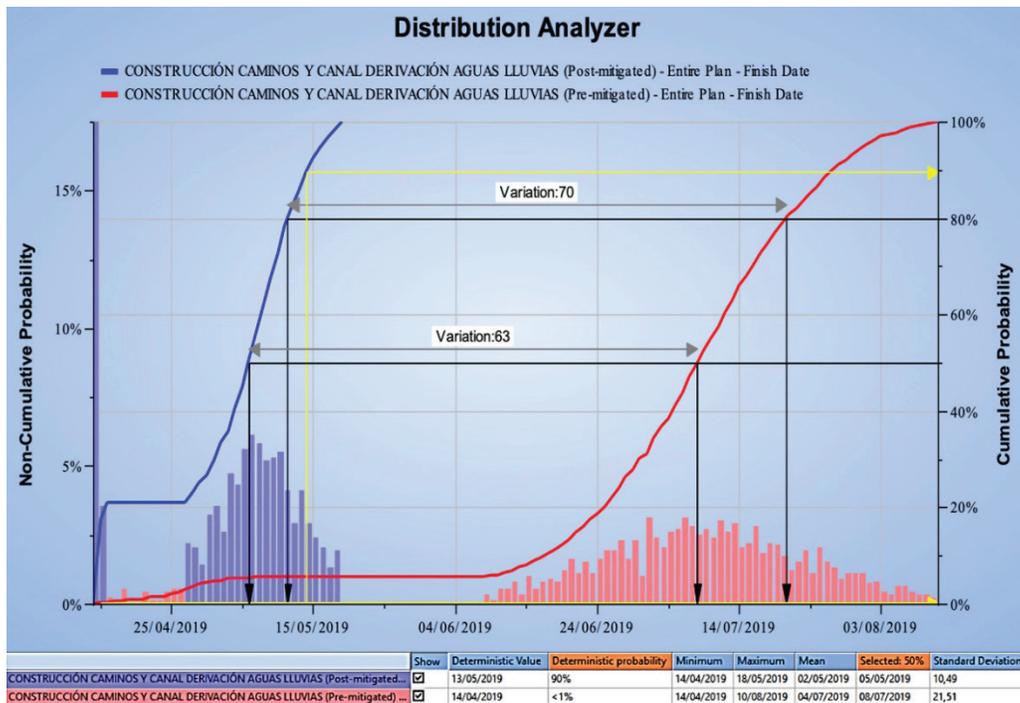


Figura 13. Análisis distribución post y pre-mitigación (obtenido de Primavera Risk Analysis)

Planificar la respuesta a los riesgos

Durante la planificación de la respuesta al riesgo se definen planes y acciones para mejorar las oportunidades y disminuir las amenazas (ver Cuadro 9). Este suele ser el proceso más importante de la gestión de riesgos porque se toma la decisión de cómo responder a cada riesgo identificado. En adelante, se señalan la ubicación de los riesgos en la matriz antes y después de aplicar las medidas de mitigación (ver Cuadros 10 y 11).

Cuadro 9. Planes y acciones para mejorar las oportunidades y disminuir las amenazas.

Puntaje	Prioridad	Estrategia	Significado de cada estrategia
0,01 – 0,05	Muy baja	Aceptar	Esta estrategia puede ser apropiada para las amenazas de baja prioridad, y también puede ser adoptada cuando no es posible o rentable hacer frente a una amenaza de ninguna otra manera.
0,06 – 0,2	Baja		
0,24 – 0,28	Moderado	Mitigar	Se toman medidas para reducir la probabilidad de ocurrencia y/o el impacto de una amenaza.
0,36 – 0,4	Alta	Transferir	Trasladar el riesgo a un tercero
0,56 – 0,72	Muy alta	Evitar	Cuando el equipo del proyecto actúa para eliminar la amenaza o proteger al proyecto de su impacto.
		Escapar	Es apropiado cuando una amenaza se encuentra fuera del alcance del proyecto o que la respuesta propuesta excedería la autoridad del director del proyecto.

Cuadro 10: Matriz de Riesgos pre-mitigación en *Primavera Risk Analysis*.

Matriz de Riesgos	Impactos				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Muy alto %				GR35, GR44	GR45, GR11, GR47, GR12, GR7
Alto %				GR22, GR15, G449, GR59, GR20, GR8, GR64, GR17, GR5	GR29, GR41, GR39, GR26, GR16, GR34, GR21, GR63, GR37, GR23
Medio %				GR51, GR53, GR48, GR60, GR65, GR18, GR33, GR70, GR10, GR9, GR32, GR67, GR69, GR66	GR55, GR52, GR38, GR57, GR54, GR25, GR50, GR61, GR58, GR24, GR68, GR6
Bajo %			GR19	GR36, GR46, GR27, GR4, GR14, GR43, GR42, GR31	GR56, GR13, GR2, GR28, GR1, GR40, GR3, GR30
Muy bajo %				GR62	

Cuadro 11. Matriz de Riesgos post-mitigación en *Primavera Risk Analysis*.

Matriz de Riesgos	Impactos				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Muy alto %					
Alto %			GR44	GR45, GR47, GR12, GR7, GR35	GR11
Medio %			GR29, GR63, GR37, GR22, GR15, GR49, GR59, GR20, GR8, GR64, GR65, GR10, GR5	GR41, GR39, GR26, GR16, GR34, GR21, GR23, GR54, GR24	
Bajo %	GR6	GR17, GR19	GR60, GR18, GR33, GR70, GR9, GR32, GR67, GR4, GR14, GR43, GR42, GR31	GR55, GR52, GR51, GR38, GR53, GR57, GR25, GR56, GR50, GR61, GR58, GR68, GR13, GR2, GR28, GR1, GR40, GR3, GR48, GR30	
Muy bajo %				GR62	

Implementar Respuestas a los Riesgos

Para la implementación de los planes de respuesta aprobados se propone un formato, en el que se detallan las actividades a realizar, su plazo de ejecución y responsables.

Lecciones aprendidas

Se debe ir recopilando las lecciones aprendidas a lo largo de todo el proyecto mediante reportes individuales, esto nos permitirá al final del proyecto contar con un registro que servirá como base para afrontar futuros proyectos y aprovechar la experiencia adquirida (ver cuadro 12).

Figura 14. Registro de lecciones aprendidas.

Registro de Lecciones Aprendidas									
Proyecto:									
ID del proyecto:									
Gerente del proyecto:									
Fecha:									
Descripción									
N°	Rol del equipo del proyecto	Fase en la que se dio la lección aprendida	¿Cuál fue la acción tomada?	¿Cuál fue el resultado?	¿Cuál es la lección aprendida específicamente?	¿Dónde y cómo puede utilizarse este conocimiento en el proyecto actual?	¿Dónde y cómo puede utilizarse este conocimiento en un proyecto futuro?	¿Quién debería ser informado acerca de esta lección aprendida?	¿Cómo debería ser difundida esta lección aprendida?
1	Administrador de contrato	Durante el segundo mes de ejecución	Cambio de proveedor de bischofita por falta de stock del principal	Orden de compra con proveedor, suministro del material en la fecha planificada sin afectar el cronograma	Es recomendable tener cotizaciones con varios proveedores por si existen imprevistos para cumplir con el programa de suministros	Construcción y estabilización de caminos	Construcción y estabilización de caminos y plataformas	Encargado de adquisiciones, administrador de contrato, programador, encargado de calidad	Mediante un informe y una reunión de proyecto
2									

Conclusiones

Este estudio evidencia que si implementamos procesos de gestión de riesgos de manera sistemática se pueden lograr proyectos más exitosos respecto al cumplimiento de los objetivos de eficacia: costo, plazo, calidad y alcance, puesto que esto nos permite gestionar, al detalle, los posibles eventos riesgosos que pueden suceder. Para la adecuación de este modelo en una organización o proyecto determinado se requiere la colaboración de todo el equipo, ya que la resistencia al cambio puede constituir una causa de fracaso. Este proceso requiere contar con un equipo de profesionales que conozcan y manejen las herramientas aplicables, de tal manera que se mantenga la actualización de los registros y se realice un análisis y seguimiento de todos y cada uno de los riesgos identificados.

La aplicación metódica de la gestión de riesgos constituye una herramienta muy útil en los proyectos de movimiento de tierras, siendo de ayuda para gestionar las amenazas que ocurren en sus diferentes etapas, la actualización constante de los registros de riesgos y planes de

repuestas puede establecer una base para lograr disminuir la incertidumbre en este tipo de proyectos. Adicionalmente, la captura de lecciones aprendidas es un gran recurso para afrontar nuevos proyectos sobre la base de la experiencia adquirida.

Finalmente, es importante que se siga mejorando la forma de identificar y registro de riesgos que ocurren en los proyectos de movimiento de tierras, se puede buscar la aplicación de otras herramientas para la identificación de los riesgos, como son los diagramas de influencia, diagramas causa-efecto, o para simulación incorporar otros softwares con distintas características. Lo más relevante es incorporar un enfoque preventivo que sin duda será de gran beneficio para la organización que lo emplee, agregando valor a su negocio y partes interesadas (*stakeholders*).

Agradecimientos

Los resultados mostrados en este trabajo fueron parcialmente desarrollados y presentados como Tesis de Magíster denominada “Diseño de un modelo de gestión de riesgos aplicado a los proyectos de una empresa de movimiento de tierras”. Los autores agradecen el apoyo del Magíster en Gestión Integral de Proyectos de la Universidad Católica del Norte. Además, este trabajo fue presentado en el X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos (RIIPRO) en San José de Costa Rica, en septiembre de 2022.

Referencias

- [1] J. M. Larraín, Movimiento de tierra en faenas mineras, *Revista Construcción Minera*, vol. 2, n° 9, pp. 7-12, 2014.
- [2] H. Kerzner, Strategic planning for project management using a project management maturity model, New York, USA: John Wiley & Sons, 2002.
- [3] R. Yin, Case study research: Design and methods, London, UK: SAGE, 2009.
- [4] Project Management Institute, Project management body of knowledge (PMBOK Guide), USA, 2017.
- [5] I. Nonaka y H. Takeuchi, The knowledge-creating company, *Harvard Business Review*, vol. 85, n° 7/8, p. 162, 2007.