

# Cuaderno

Enero - Diciembre 2022

# Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •



**Tecnológico**  
**de Antioquia**  
**Institución Universitaria**  
VIGILADA MINEDUCACIÓN



Cuaderno

# *Activa*

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •



**Tecnológico**  
*de Antioquia*  
**Institución Universitaria**  
VIGILADA MINEDUCACIÓN

Cuaderno

# Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

ISSN: 2027-8101

e-ISSN: 2619-5232

Número 14, Enero-Diciembre de 2022

Periodicidad Anual

**Leonardo García Botero**

Rector

**Andrea Aguilar Barreto**

Vicerrectora Académica

**Fabio Alberto Vargas Agudelo**

Director de Investigación

**Andrés Felipe Montoya Rendón**

Decano Facultad de Ingeniería

## DIRECCIÓN EDITORIAL

*Dario Enrique Soto Duran*

Editor Director

*Harry Puerta*

Coeditor

## COMITÉ EDITORIAL

*Adela Tatiana Rodríguez Chaparro, Ph.D. en Ingeniería Hidráulica y Saneamiento. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia.*

*Alicia Martínez Rebollar, Ph.D. en Informática, Ph.D. en Investigación en Informática y Telecomunicaciones. Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), México.*

*Antonio Silva Sprock, Ph.D. en Management Science. Universidad Central de Venezuela, Venezuela.*

*Carlos Mario Zapata Jaramillo, Ph.D. en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.*

*Diana María Montoya Quintero, Ph.D. en Ingeniería de Sistemas e Informática. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.*

*Diego Mauricio Murillo Gómez, Ph.D. en Sonido y Vibraciones. Universidad de San Buenaventura, Colombia.*

*Fredy Edimer Hoyos Velasco, Ph.D. en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.*

*Gerard Olivar Tost, Ph.D. en Matemática Aplicada. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.*

*Gonzalo Llano Ramírez, Ph.D. en Telecomunicaciones. Universidad ICESI, Colombia.*

*Jorge Alberto Villalobos Salcedo, Ph.D. en Informática. Universidad de los Andes, Colombia.*

*María Cristina Peñuela Mora, M.Sc. Forest Resources Management. State University of New York, United States.*

*Paola Andrea Noreña Cardona, Ph.D. en Ingeniería de Sistemas e Informática. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.*

*Paola Verónica Britos, Ph.D. en Ciencias Informáticas. Universidad de Río Negro, Argentina.*

## COMITÉ CIENTÍFICO/ARBITRAL

Camilo Cesar Castro Jimenez, MSc.  
Universidad de Antioquia, Colombia.

Javier Augusto Vera Solano, MSc.  
Unipamplona, Colombia.

Gloria Liliana Velez Saldarriaga, Ph. D.  
UPB, Colombia.

Hernán Jair Andrade Castañeda, Ph. D.  
Universidad del Tolima, Colombia.

Juan Camilo Hinestroza Farfan, MSc.  
Docente de cátedra, Colombia.

Juan Carlos Valdés Quintero, Ph. D.  
Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia.

Idalia Jacqueline López Sánchez, MSc.  
Universidad de Medellín, Colombia.

Alejandra González Acevedo, Ph. D.  
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

Sixto Enrique Campaña, Ph. D.  
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia.

Quelbis Roman Quintero Bertel, Ph. D.  
Universidad autónoma de Colombia, Colombia.

Jorge Andrés Victoria Taborda, Ph. D.  
Universidad del Tolima, Colombia.

Hernan Dario Cañola, MSc.  
Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia.

Iván Andrés Delgado González, MSc.  
Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Colombia.

Fredy Alonso Vidal Alegria, MSc.  
Colegio Mayor del Cauca, Colombia.

Freddy Oswaldo Ovalles Pabon, MSc.  
SENA Cucuta, Colombia.

Lizeth Marely Alvarez Salas, Ph. D.  
Tecnológico de Antioquia, Colombia.

José Alejandro Martínez Sepúlveda, MSc.  
Universidad EAN, Colombia.

Erasmus Alfredo Rodríguez Sandoval, Ph. D.  
Universidad Nacional, Colombia.

Patricia Torres Lozada, Ph. D.  
Universidad del Valle, Colombia.

Lennis Rafael Florez Leiva, MSc.  
Universidad de Antioquia, Colombia.

Alfredo Jaramillo Velez, MSc.  
Universidad de Antioquia, Colombia.

Dewar Willmer Rico, MSc.  
UFPSO, Colombia.

Fabian Cuesta Quintero, MSc.  
UFPSO, Colombia.

Julian Moreno Cadavid, Ph. D.  
Universidad Nacional, Colombia.

Luis A. Lasso Cardona, MSc.  
Univalle Buga, Colombia.

Yiniva Camargo Caicedo, MSc.  
Universidad del Magdalena, Colombia.

Boris René Galvis Remolina, Ph. D.  
Universidad de la Salle, Colombia.

Juan Daniel Martínez Angel, Ph. D.  
UPB, Colombia.

Libardo Mendoza Geney, Ph. D.  
Universidad Nacional, Colombia.

Miguel Eduardo Torres Moreno, MSc.  
Universidad Javeriana, Colombia.

Roberto Carlos Guevara Calume, MSc.  
Uniremington, Colombia.

Jaime Ricardo Rosero Noguera, Ph. D.  
Universidad de Antioquia, Colombia.

Críspulo Perea Román, Ph. D.  
Universidad Nacional, Colombia.

Johannes Delgado Ospina, MSc.  
Universidad de San Buenaventura Cali, Colombia.

Manuel Alexander Valbuena Henao, MSc.  
Tecnológico de Antioquia, Colombia.

Silvio Ricardo Timarán Pereira, Ph. D.  
Universidad de Nariño, Colombia.

Elizabeth Granados Pemberty, Ph. D.  
Tecnológico de Antioquia, Colombia.

Sir Alexci Suárez Castrillón, Ph. D.  
UFPSO, Colombia.

## INSTITUCIÓN EDITORA

Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria.  
Facultad de Ingeniería.  
Calle 78B No. 72A – 220. Medellín - Colombia, Suramérica.  
Teléfono: (604) 454 70 38

## CORRECCIÓN DE ESTILO, DISEÑO, DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

Divegráficas S.A.S  
divegraficas@gmail.com  
Cra. 50 N° 35 - 62 Medellín, Colombia.  
Tel.: (604) 322 50 96

## ILUSTRACIÓN DE PORTADA Y SEPARADORES

Divegráficas S.A.S

Los artículos publicados incorporan contenidos derivados de procesos de investigación, revisión y reflexión académica, que cumplen una función social, sin embargo, no representan los criterios institucionales del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. Los contenidos son responsabilidad exclusiva de los autores, y cualquier observación o cuestionamiento sobre la originalidad de los textos puede ser notificada al correo [cuadernoactiva@tdea.edu.co](mailto:cuadernoactiva@tdea.edu.co) y a los autores. El Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria autoriza la reproducción parcial de los textos con fines exclusivamente académicos, dando estricto cumplimiento a las normas de referenciación bibliográfica en favor de los autores y de las instituciones editoras. Cualquier uso diferente requerirá autorización escrita del director, y su omisión inducirá a las acciones legales dispuestas por las leyes internacionales sobre la propiedad intelectual y los derechos de autor.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

## SITIO WEB

<http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva>

## CORREO

[cuadernoactiva@tdea.edu.co](mailto:cuadernoactiva@tdea.edu.co)



Cuaderno

# Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

## Contenido

<b>Presentación</b>	7
<b>Presentation</b>	8
<b>Editorial</b>	9
<b>Evaluación de los lineamientos técnicos para la implementación de la bioingeniería de suelos en la intervención sobre retiros de quebradas en la ciudad de Medellín</b>	11
Evaluation of the Technical Guidelines for the Implementation of Soil Bioengineering in the Intervention on Creek Retreats in the City of Medellín	
Diana María Acevedo Miranda	
Sergio Humberto Valencia Hurtado	
Yudy Andrea Londoño Cañas	
<b>Comprensiones del territorio de la comunidad de la Institución Educativa El Bosque: Comuna Aranjuez, ciudad de Medellín</b>	31
Understandings of the territory of the community of the El Bosque Educational Institution: Aranjuez Commune, city of Medellín	
Juliana Márquez Jaramillo	
Diego Hernández García	
<b>Procesamiento del lenguaje natural y aprendizaje de lenguas extranjeras: Abordaje metodológico desde la realización de una tarea lingüística</b>	43
Natural language processing and foreign language learning: Methodological approach from the performance of a linguistic task	
Alejandro Ramírez Cañas	
<b>Implementación de la agricultura de precisión a través del desarrollo de sistemas productivos en áreas protegidas o de conservación para optimizar la producción de cultivos. Una revisión sistemática de literatura</b>	65
Implementation of precision agriculture through the development of production systems in protected or conservation areas to optimize crop production. A systematic literature review	
Laura Rocío Vargas Martínez	
Lina Teresa González Álvarez	
Sebastián Molina Bayona	
Julián David Ávila Cubides	

<b>Modelado de un dominio de planificación automática de un robot reforestador de árboles</b>	<b>79</b>
Modeling of an automatic planning domain of a tree reforestation robot. Jose David Cano Sierra María José Vargas Pescador Deisy Nataly Ramírez Ruiz Juan-Manuel Chaguendo-Benavides	
<b>Una revisión del impacto de la adopción de la metodología Lean Construction en los proyectos de construcción</b>	<b>103</b>
<i>A review of the impact of the adoption of Lean Construction methodology in construction projects</i> Sócrates P. Muñoz Pérez Nelson M. Gómez Ormeño Jorge R. Ticona Juárez	
<b>Revisión sistemática de la implementación BIM basada en modelos de diseño para la construcción de obras viales</b>	<b>119</b>
<i>Systematic review of BIM implementation based on design models for road construction</i> Sócrates Pedro Muñoz Pérez José Rony Llamó Cubas	
<b>Prácticas para estimación de reservas de contingencia en CapEx de proyectos: una revisión literaria</b>	<b>135</b>
<i>Practices for Estimating Contingency Reserves in Project CapEx: A Literature Review</i> Gabriel Jaime Correa-Henao	
<b>El Big Data aplicado en la industria 4.0: un caso en el sector textil colombiano con un enfoque en la inteligencia de negocios</b>	<b>157</b>
<i>Big Data applied in industry 4.0: a case in the Colombian textile sector with a focus on business intelligence</i> Gustavo Andrés Araque González Víctor José Giampietro Torres	

# Cuaderno *Activa*

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

## Presentación

*Cuaderno Activa* es una revista científica de acceso abierto, es editada desde el 2011 por la Facultad de Ingenierías del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. *Cuaderno Activa* publica con periodicidad anual artículos del campo de la Ingeniería, la Ciencia y la Tecnología cumpliendo con las políticas editoriales de alta calidad para revistas científicas. El objetivo de la revista es difundir el conocimiento científico y tecnológico resultado de investigaciones originales y relevantes sobre nuevos conocimientos en ingeniería, reflejado a través de productos de investigaciones científicas que buscan contribuir al desarrollo de la Ciencia y la Tecnología.

### Objetivos

- Brindar un espacio académico, investigativo y científico en las áreas de Ingeniería.
- Publicar resultados originales de investigación científica y tecnológica.
- Tener calidad editorial en la producción de la revista.
- Ser una fuente de difusión y discusión para la comunidad científica.

### Política editorial

Para garantizar la calidad de las publicaciones, *Cuaderno Activa* dispone de dos comités que permiten dar cumplimiento a los procesos editoriales de la revista en compañía de un director editorial, el cual debe ser un docente-investigador que lidere el proceso editorial y la periodicidad de la revista. El Comité Editorial define los criterios con que se rige la revista y está conformado por pares académicos nacionales e internacionales. El Comité Científico/Arbitral verifica la pertinencia de los artículos y está integrado por miembros internacionales ajenos al proceso editorial. Además, el Comité Científico/Arbitral valora rigurosamente el contenido de los escritos que envían los autores y está compuesto por evaluadores internos y externos a la institución editora, expertos en el área. (Los miembros de los comités podrán ser árbitros o autores, siempre y cuando no participen en ambos roles en el mismo número de la edición.)

### Política de acceso abierto

Esta revista se inscribe en la política de libre acceso a la información que ella contiene. La revista *Cuaderno Activa* puede ser consultada en la plataforma de gestión de revistas académicas y científicas del Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria: <http://ojs.tdea.edu.co>. La revista *Cuaderno Activa* se encuentra incluida en:

Digital repositorio:



Índices de revistas:



# Cuaderno *Activa*

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

## Presentation

*Cuaderno Activa* is a scientific journal with an Open Access character, it has been published since 2011 by the Faculty of Engineering of Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria. *Cuaderno Activa* publishes articles in the field of Engineering, science and technology on an annual basis, complying with high quality editorial policies for scientific journals. The aim of this journal is to disseminate scientific and technological knowledge resulting from original and relevant research on new engineering knowledge, reflected through scientific research products that seek to contribute to the development of Science and Technology.

### Objectives

- To provide an academic, research and scientific space in the field of Engineering.
- To publish original results of scientific and technological research.
- To issue a journal with editorial quality.
- To be a source of dissemination and discussion for scientific community.

### Editorial policy

*Cuaderno Activa* has two committees that allow to achieve the journal editorial process in order to guarantee the quality of publications. The committees work together with an editorial director, which must be a teacher-researcher who leads the editorial process and the periodicity of the journal. The Editorial Committee defines the criteria used by the journal and is made up of national and international academic peers. The Scientific/Arbitration Committee verifies the relevance of the articles and rigorously assesses the content of the writings submitted by the authors. The Scientific / Arbitration Committee is made up of international members who are not part of the editorial process. Besides, it is composed by internal evaluators and external of the publishing institution, experts in the area. (Committee members may be judges or authors, as long as they do not participate in both roles in the same issue.)

### Open-access policy

This journal adheres in an open access policy to the information that it contains. The journal *Cuaderno Activa* can be visited on the platform for academic and scientific journals of Tecnológico de Antioquia - University Institution: <http://ojs.tdea.edu.co>. *Cuaderno Activa* journal is included in:

Digital repository:



Indexes of journals:



# Cuaderno

# Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

## Editorial

La revista *Cuaderno Activa* es un medio que busca contribuir a los procesos de generación y transferencia de conocimiento a partir de la selección y consolidación de una publicación periódica que compila artículos científicos relevantes para la comunidad académica y científica de la disciplina ingenieril.

La edición compila 9 artículos que abordan temáticas como: problemáticas ambientales (2), procesos de aprendizaje basado en tecnología (1), buenas prácticas para la gestión de proyectos (3), la gestión de datos (1) e innovación en procesos de siembra y forestación (2).

En los dos primeros artículos se abordan problemáticas ambientales donde se analizan los fenómenos erosivos producto de los retiros de quebradas y los aspectos relevantes que inciden en la educación ambiental en las comunidades en la ciudad de Medellín.

En el tercer artículo se discute el uso y beneficios de la articulación de la tecnología en los procesos de aprendizaje en campos de la enseñanza en idiomas a través de inteligencia artificial.

En el contexto de la innovación de procesos de siembra y forestación los artículos cuatro y cinco, discuten los avances derivados de la agricultura de precisión y la planificación en procesos de reforestación.

En los artículos seis y ocho se presenta un conjunto de buenas prácticas para la gestión de proyectos en metodologías como Lean aplicadas al contexto de los proyectos de construcción y la generación de valor para la estimación de reservas de contingencia en la construcción de los presupuestos de inversión. Asimismo, en el séptimo artículo se desarrolla una revisión de literatura sobre la implementación de la metodología BIM aplicables al diseño, construcción y gestión operativa prevista en los proyectos viales.

En el noveno artículo se aborda la gestión de datos con el desarrollo de los factores que inciden en la toma de decisiones en las empresas del sector textil a partir del análisis de datos y el uso del Big Data.

El equipo Editorial agradece a todos los autores y miembros del consejo científico que participaron en el proceso de revisión de los artículos que componen esta edición, esperando que este volumen sea un activo de conocimiento que contribuya al campo de la Ingeniería.

Dario E. Soto Duran  
**Editor**

Harry L. Puerta Monsalve  
**Coeditor**



Acevedo, Diana. Valencia, Sergio y Londoño, Yudy (2022). Evaluación de los lineamientos técnicos para la implementación de la bioingeniería de suelos en la intervención sobre retiros de quebradas en la ciudad de Medellín. Cuaderno Activa, 14, 11-29.



# Evaluación de los lineamientos técnicos para la implementación de la bioingeniería de suelos en la intervención sobre retiros de quebradas en la ciudad de Medellín

*Evaluation of the Technical Guidelines for the Implementation of Soil Bioengineering in the Intervention on Creek Retreats in the City of Medellín*

Diana María Acevedo Miranda<sup>1</sup>, Sergio Humberto Valencia Hurtado<sup>2</sup>, Yudy Andrea Londoño Cañas<sup>3</sup>

**Tipo de Artículo:** Investigación revisión.

**Recibido:** 7/07/21 **Aprobado:** 9/04/22 **Publicado:** 18/12/2022

**Resumen:** Los movimientos en masa por erosión en Medellín, producidos sobre los retiros de quebradas, son la consecuencia de las prácticas descontroladas en la explotación del recurso hídrico, lo que se incrementa con el asentamiento de población sobre las zonas de ladera del río Medellín. Desde la Administración municipal de Medellín se han establecido políticas orientadas a la gestión y control del recurso hídrico, así como la ejecución de obras para la intervención del suelo, con el fin de mitigar los fenómenos erosivos. La Secretaría de Medio Ambiente, como entidad municipal encargada, ha venido ejecutando proyectos de obra civil convencional como medida para mitigar el efecto de estos fenómenos erosivos. Sin embargo,

no se han utilizado técnicas de bioingeniería de suelos en este tipo de proyectos. Las técnicas de bioingeniería permiten la estabilización de suelos bajo procedimientos de revegetalización del terreno intervenido. Con el presente trabajo se busca proponer los lineamientos técnicos que permitan a los profesionales de la Secretaría de Medio Ambiente evaluar la factibilidad para desarrollar proyectos basados en las técnicas de bioingeniería de suelos aplicadas a la intervención de las problemáticas identificadas sobre los retiros de quebradas, como alternativa amigable con el ambiente, mediante criterios técnicos que permiten evaluar la viabilidad y efectividad de la obra que se va a ejecutar.

1 Especialista en prevención y atención de desastres naturales. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria. Colombia, Medellín. [acvdomr@gmail.com](mailto:acvdomr@gmail.com)

2 Profesor Investigador. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria. Colombia, Medellín. [sergio.valencia@tdea.edu.co](mailto:sergio.valencia@tdea.edu.co). ORCID: 0000-0002-1165-1795

3 Profesora Investigadora. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria. Colombia, Medellín. [yudy.londono@tdea.edu.co](mailto:yudy.londono@tdea.edu.co). ORCID: 0000-0001-8981-4067

**Palabras clave:** Movimientos en masa, retiros de quebradas, obras civiles de intervención, bioingeniería de suelos.

**Abstract:** The mass movements that have occurred on the withdrawals of gulches are the consequence of the uncontrolled practices in the exploitation of the water resource and the settlement of population in the city on the slopes of the río Medellín. The Municipal Administration of the city of Medellín has established policies aimed at the management and control of the city's water resources, as well as the execution of works for the intervention of soil to mitigate erosive phenomena. The Secretaría de Medio Ambiente, as the municipal entity in charge, has been implementing conventional civil works projects as a measure to mitigate the effect of these erosive phenomenon. With the present work, the aim is to propose technical guidelines that allow professionals from the Ministry of the Environment, to evaluate the feasibility of developing projects based on soil bioengineering techniques applied to the intervention of the problems identified with regard to creek withdrawals, as an environmentally friendly alternative, given that soil stabilization is achieved under revegetation procedures of the intervened land, which must be based on technical criteria that allow evaluating the feasibility and effectiveness of the work to be executed.

**Keywords:** Medellín, mass movements, río Medellín, creek removals, civil intervention works, soil bioengineering.

## I. Introducción

La ciudad de Medellín, dados su localización geográfica, su ecosistema y los procesos de desarrollo comercial y social que se desarrollaron a principios del siglo XX, se convirtió en un polo de atracción poblacional. Esto desencadenó una transformación del espacio urbano en virtud del aprovechamiento de los recursos naturales, especialmente del río Medellín y sus quebradas afluentes como fuentes de agua para el consumo humano y el aprovechamiento industrial.

Los cauces de las quebradas se convirtieron en el eje del desarrollo poblacional; sin embargo, las prácticas de ocupación del espacio y el aprovechamiento del agua por parte de los habitantes de la ciudad llevaron a un progresivo deterioro de los espacios naturales.

Una de las consecuencias del deterioro de espacios naturales es la erosión, que ocurre cuando las partículas de suelo son separadas por las acciones del agua y del viento. El material erosionado queda suspendido en el agua y se sedimenta cuando encuentra las condiciones adecuadas. La erosión del suelo ocasiona desastres naturales [1] en que toneladas de suelo pueden ser lavadas y llevadas corriente abajo.

En general, el lecho de un río está formado por material no cohesivo de diferente tamaño: arenas, gravas, bolos, entre otros. En condiciones ordinarias, dicho material se encuentra en equilibrio, pero durante las crecidas, cuando el caudal sobrepasa el valor crítico de comienzo de arrastre, las partículas del fondo son transportadas por las aguas y el caudal sólido crece simultáneamente con el líquido.

Esta situación se está presentando sobre los retiros de las quebradas en la jurisdicción del municipio de Medellín. Este deterioro de espacios naturales de la ciudad ha generado una gran preocupación, por lo que la Administración municipal tiene el interés de establecer políticas de control sobre los recursos no renovables, especialmente la intervención que se está llevando a cabo sobre las quebradas y vertientes, con el fin de establecer medidas para la administración, mantenimiento y distribución de las aguas [2].

La Secretaría de Medio Ambiente realiza intervenciones en estas quebradas, mediante mantenimiento y obra nueva en los cauces, con la finalidad de prevenir situaciones de riesgo y buscar proteger los canales hidráulicos. Estas intervenciones están clasificadas con problemáticas asociadas a coberturas, canales deteriorados, desbordamientos o inundaciones, desvíos de fuentes hídricas, residuos sólidos, estructuras colapsadas, hundimientos de vías, andenes o pisos, insuficiencia de capacidad hidráulica,

invasiones de retiro, obstrucciones, movimientos en masa (socavación/erosión), entre otros [2].

Las intervenciones, por lo general, detallan aspectos como localización, objetivos, descripción del sitio de estudio, estudio hidráulico, evaluación de condiciones existentes, evaluación de alternativas, descripción de obras, cálculos, cantidades de obra, presupuesto y evaluaciones a futuro.

Las intervenciones son realizadas mediante actividades con personal propio o por contratación pública, de acuerdo con los requerimientos y especificaciones planteadas por los profesionales (ingenieros civiles, ambientales, sanitarios, hidráulicos y geólogos).

Las necesidades de intervención son consignadas, en primer lugar, en una ficha técnica. Luego se desarrollan estudios previos y pliegos de condiciones (cuando es por contratación) para ejecución de obras civiles convencionales, según la evaluación y priorización de las situaciones a intervenir. En la actualidad, las intervenciones incluyen únicamente soluciones netamente civiles, lo que deja de lado las posibilidades de desarrollo de otras alternativas [3].

La bioingeniería presenta un conjunto de técnicas que ofrecen soluciones a problemas de inestabilidad en masas de suelo, donde los ingenieros pueden encontrar un complemento adecuado a las técnicas tradicionales de estabilización que normalmente se utilizan en la ingeniería civil. Estas técnicas de bioingeniería llevan a la implementación de materiales naturales que cumplen con normativas técnicas específicas de acuerdo con su funcionalidad, resistencia, contención, rehabilitación, bajos costos, entre otros factores.

En obras civiles de construcción se utilizan las plantas como elementos estructurales para enfrentar problemas de erosión, protección, estabilización y restauración de laderas. Estas se convierten en refuerzo mecánico, drenajes hidráulicos y barreras vivas para mitigar estos fenómenos asociados al uso del suelo [4].

A diferencia de las técnicas convencionales de construcción, la bioingeniería se fundamenta en la relación que debe existir entre las características y condiciones del suelo con el clima, la flora y la fauna, la infraestructura y los seres humanos. Las diferentes aplicaciones de esta técnica muestran que la bioingeniería tiene grandes ventajas en su utilización, especialmente en la estabilización de procesos avanzados de degradación a un corto plazo, mediante obras sencillas y amigables con el medio ambiente y a un bajo costo en relación con los de las obras ingenieriles convencionales de concreto. Además, con el paso del tiempo, estas obras, con las que se instrumentaliza la vegetación presente en el entorno, permiten lograr mayor estabilización del suelo y un proceso de revegetalización más eficiente, con lo que se reduce el impacto ambiental negativo [5].

Según lo anterior, en la Secretaría de Medio Ambiente de Medellín es necesario incluir y fortalecer estas técnicas de bioingeniería, para que sean contempladas en los procesos de intervención y se prioricen alternativas diferentes a las obras convencionales.

Con el presente trabajo se busca proponer los lineamientos técnicos con bioingeniería, mediante propuestas de criterio a evaluar, que permitan a los profesionales de la Secretaría de Medio Ambiente identificar y evaluar la factibilidad para desarrollar proyectos de bioingeniería que lleven a intervenir las problemáticas identificadas en las quebradas, principalmente las relativas a invasiones de retiro y movimientos en masa, que están asociadas a procesos de socavación o erosión.

## II. Marco teórico

Colombia cuenta con una enorme riqueza en fuentes de agua, pero se han presentado dificultades en cuanto al acceso y disposición del recurso. Esto se debe a las malas prácticas destinadas al aprovechamiento del recurso, con su progresivo agotamiento y la degradación del suelo, que lleva a fenómenos relacionados con la erosión. Los estudios técnicos sobre la materia establecen que la oferta del recurso agua se ve afectada por los procesos de degradación de

las cuencas, por la disminución progresiva de la regulación natural del régimen hidrológico, que hace más prolongados los períodos de estiaje y mayores las crecientes [6].

Para la intervención sobre las quebradas en las que se identifica degradación del suelo, se cuenta con el soporte normativo e institucional: el ordenamiento de cuencas hidrográficas, aspecto fortalecido en la Ley de Desarrollo Territorial de 1997; además, la normativa que reglamenta el manejo de las cuencas hidrográficas (Decreto 1729 de 2002), que le da una especial importancia al ordenamiento ambiental y a su incorporación en los Planes de Ordenamiento Territorial. Por otro lado, las autoridades ambientales tienen responsabilidades de elaboración y asesoría, orientadas a la gestión integral del recurso agua.

En la Tabla 1 se muestran los diferentes planes que establecen la Política para la Gestión Ambiental y Territorial del Recurso Hídrico que existen en Colombia.

**Tabla 1.** Instrumentos de planeación relacionados con el recurso hídrico.

Elaborar	Asesorar y concretar
<b>Plan de Gestión Ambiental Regional (PGAR)</b>	No tiene plan asociado para estas actividades
<b>Plan de Acción (antes Plan de Acción Trienal PAT)</b>	Planes de Ordenamiento Territorial (POT)
<b>Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA)</b>	No tiene plan asociado para estas actividades
<b>Planes de Ordenamiento del Recurso hídrico (PORH)</b>	Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV)
<b>Planes de Ordenación Forestal (POF)</b>	No tiene plan asociado para estas actividades
<b>Planes de Manejo (PM) de los ecosistemas más importantes en su jurisdicción (humedales, páramos, manglares, entre otros)</b>	No tiene plan asociado para estas actividades

Fuente: Elaboración propia (2021)

## Bioingeniería para intervenir las problemáticas identificadas en las quebradas

La bioingeniería se basa en la utilización de las plantas como elementos estructurales para enfrentar problemas de erosión, protección, estabilización y restauración de laderas. Estas se convierten en refuerzo mecánico, drenajes hidráulicos y barreras vivas para mitigar estos fenómenos asociados al uso del suelo [7]. Además, con el paso del tiempo, estas obras, con las que se instrumentaliza la vegetación presente en el entorno, permiten lograr mayor estabilización del suelo y, consecuentemente, un proceso de revegetalización más eficiente, con lo que se reduce el impacto ambiental negativo [8].

El uso de plantas o material vegetal, solo o en conjugación con materiales inertes, tiene gran utilidad para controlar problemáticas de erosión de suelos y movimientos de tierra, cumpliendo funciones de ingeniería integradas con principios ecológicos, razón por la cual puede considerarse como una rama especializada de la estabilización biotécnica [9].

Existe una escasa implementación de la bioingeniería. Asimismo, los métodos de bioingeniería no han tenido una amplia trayectoria en materia de investigación, diseño e implementación en relación con las prácticas convencionales en obras civiles aplicadas en la intervención de los problemas geotécnicos. Sin embargo, esto no los hace menos importantes, ya que pueden brindar soluciones económicas en comparación con los métodos habituales, con un menor impacto ambiental [10].

Respecto a la intervención del suelo con el propósito de mitigar los efectos nocivos relacionados con su aprovechamiento productivo, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España diseñó una guía procedimental aplicable a los caminos naturales (férreo, forestal, agrícola) en los que se presenten desprendimientos o movimientos de tierra. Se llevará a cabo la intervención aplicando soluciones estructurales que contemplen las técnicas de integración ambiental (bioingeniería), con el propósito de restablecer la estabilidad y el periodo de vida de cada proyecto.

En el *Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales* el Gobierno español formuló los criterios sobre los cuales debe basarse el conjunto de iniciativas orientadas al restablecimiento de la geometría de los taludes, las cuales deben contemplar que los elementos de protección y contención deberán estar integrados en el paisaje mediante el uso de técnicas blandas propias de la bioingeniería, como plantaciones de cobertura, fajinas, hidrosiembras, entre otras, que deberán primar, siempre que sea posible, sobre tratamientos duros basados en estructuras (de hormigón, mampostería, gaviones, etc.) o técnicas mixtas, donde se mezclan estructuras con plantaciones [11].

La mitigación de los riesgos asociados con la pendiente y la exposición e inestabilidad de las laderas constituyen medidas que se encuentran en función de la puesta en marcha de una política orientada a la reparación de suelos y la recuperación de caminos y de paisajes naturales. Estas disposiciones privilegian la construcción de estructuras formadas por materiales existentes en la zona, que sean duraderos y que exijan bajos costes de ejecución y mantenimiento.

### III. Antecedentes

#### Cuenca del río Medellín

Se encuentra localizada sobre una depresión profunda y alargada, que forma parte de la Cordillera Central, conocida como el Valle de Aburrá. Allí nace el río Medellín, en el Alto de San Miguel, ubicado al suroriente del municipio de Caldas (Antioquia) a una altura de 2.700 m s.n.m., donde se conforman varios afloramientos de las quebradas La Vieja, La Moladora y Santa Isabel. El territorio cubre un área de 710 ha, que, unido con las quebradas La Mina, La Salada y La Clara, dan origen al río Medellín. Esta cruza diez municipios del departamento de Antioquia: Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa, los cuales conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Su desembocadura alcanza el río Grande en Puente Gabino, lugar en el que convergen las aguas del río Porce [12].

Para la ciudad de Medellín, el río ha sido un referente natural y paisajístico, tanto para sus habitantes como para visitantes. Así mismo, sus corrientes venían siendo aprovechadas como fuente para el uso y consumo de la población. Sin embargo, durante el siglo XX se produjo una acelerada expansión demográfica, que se expresó en la ocupación del espacio urbano mediante la construcción de numerosas viviendas. Esto tuvo un impacto negativo sobre el recurso hídrico por las condiciones inadecuadas para su manejo y uso. A causa del auge industrial y comercial y la ocupación descontrolada de las franjas de terreno alrededor de las quebradas, el río Medellín pasó de ser un referente paisajístico a convertirse en un problema de salubridad para la ciudad [2]. En esta medida, se hizo urgente la intervención de las autoridades municipales y, para la década de 1940, ya se hablaba de los primeros proyectos de alcantarillado y la canalización del río Medellín.

#### El suelo, el agua y los recursos naturales en la política pública

Ha sido una necesidad apremiante establecer unas reglas de juego en las que se regule la relación integral entre lo físico, lo espacial, lo ambiental y lo económico con los aspectos sociales y culturales del territorio. Aparece así el ordenamiento territorial, que consiste en una carta de navegación que establece las herramientas y los criterios para llevar a cabo la gestión integral del territorio, con carácter de obligatoriedad [13].

Para la gestión del medio ambiente y el manejo de los recursos naturales, se creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), mediante la promulgación de la Ley 99 de 1993.

Ante la necesidad de regular el impacto de las obras públicas, las actividades extractivas o productivas que puedan producir deterioro grave de los recursos naturales renovables o del ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje, será necesario el estudio ecológico y ambiental previo y, además, obtener licencia, según lo estipulado en el Decreto 2811 de 1974, en el artículo 28°.- Derogado por el art. 118, Ley 99 de 1993. Así mismo, precederán estudios

ecológicos y se adelantarán según las normas sobre protección y conservación de suelos.

Con el documento CONPES 3550 de 2008 se definen los lineamientos generales para fortalecer la gestión integral de la salud ambiental orientada a la prevención, manejo y control de los efectos adversos en la salud resultado de los factores ambientales, como base para la formulación de la Política Integral de Salud Ambiental.

Mediante el artículo 129 del Decreto 364 de 2013, se estableció que las estrategias para el manejo, conservación y restauración de los ecosistemas serán el resultado del diagnóstico y la planificación, asegurando que estos continúen prestando los servicios que permiten a las personas adaptarse a los impactos del cambio climático. La adaptación basada en los ecosistemas tiene como meta aumentar la resistencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas ante el cambio climático, implementación prioritaria de estrategias de bioingeniería, renaturalización urbana y gobernanza y recuperación de los espacios del agua, para restablecer servicios ecosistémicos y ambientales que aumenten la resiliencia de la ciudad.

Con el propósito de establecer las herramientas con las cuales el Estado cuenta, en materia política y legal, para llevar a cabo la gestión integral del suelo y dotarse de las herramientas necesarias para aplicar medidas de control, se cuenta con un espectro normativo compuesto, en primer lugar, por los artículos de la Constitución Política de Colombia referentes a los derechos colectivos y del ambiente (Arts.78-81). Especialmente, en el artículo 80 se establece que el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales deberá ser producto de la planificación estatal, con el fin de garantizar su conservación, restauración o sustitución, la cual deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados [14].

Asimismo, en lo relativo al manejo e intervención de suelos, se tiene la Resolución 0170 de 2009 del Ministerio de Medio Ambiente (se declara como año nacional del suelo y el 17 de junio

como su día conmemorativo, Promoción de iniciativas dirigidas a la conservación, protección, restauración, recuperación y rehabilitación de los suelos), así como la Ley 1469 de 2011 (Oferta de suelo urbanizable), la Ley 1523 de 2012 (Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres), la Ley 1551 de 2012 (funcionamiento de los municipios) y la Ley 1625 de 2013 (Régimen Áreas Metropolitanas).

En los espacios urbanos en cuanto a la relación entre el uso del suelo y recursos hídrico, existe un conjunto normativo en el que se establecen los criterios para el uso, explotación, intervención, así como la conservación de cuencas como elemento fundamental de la planeación territorial. Como base fundamental para este trabajo, se cuenta con el Acuerdo 048 de 2014, en el cual se dispone de elementos técnicos y conceptuales sobre el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad, relacionado con las características ecológicas y los elementos de la hidrografía urbana. En primer lugar, define la estructura y dinámica del ecosistema en función de los beneficios que brinda para la explotación económica y el aprovechamiento para la satisfacción de las necesidades vitales de sus habitantes [10]. Es preciso establecer claridades con respecto al recurso hídrico y su estructura compuesta por las quebradas y humedales con sus respectivas franjas sobre ambos lados de los cauces, las cuales constituyen un tipo especial de suelo dada su susceptibilidad a la inundación, por lo cual se precisa de intervenciones constantes.

La columna vertebral del sistema hidrográfico de la ciudad es el río Medellín, con sus corrientes naturales que recorren el suelo urbano, convirtiéndose en el eje principal de la expansión urbana. Sus corredores principales son las quebradas Santa Elena, Piedras Blancas, La Iguaná, Doña María, Ana Díaz, La Picacha, Altavista, La Guayabala y La Presidenta.

Cabe anotar que, dentro de la estructura hídrica, existen aquellos ecosistemas localizados en áreas donde las aguas se encuentran en la superficie terrestre o cerca de ella o donde los suelos están cubiertos por aguas poco profundas, conocidos como humedales. En la jurisdicción de Medellín

se encuentran la Laguna de Guarne, el Humedal Romeral, el lago del Parque Norte, el Embalse Piedras Blancas y el lago del Jardín Botánico. En estos sitios están completamente restringidas todas las actividades de aprovechamiento económico y urbanístico, salvo que se hayan adelantado estudios técnicos de factibilidad por parte de la autoridad competente [15].

Las franjas alrededor de los cuerpos de agua, denominadas retiros de quebradas, son el escenario en el que se generan las dinámicas de uso y ocupación del espacio, produciéndose fenómenos relacionados con la inestabilidad del suelo. Debido a las características de su localización y al sobrepoblamiento de estas zonas, están contempladas en el documento de revisión y ajuste al Plan de Ordenamiento Territorial. En este documento se establecen medidas de protección y control sobre estas zonas, con el fin de reducir y mitigar los riesgos de desbordamientos e inundaciones, vigilar e intervenir con el fin de estabilizar el terreno colindante de movimientos en masa y acondicionar el terreno como espacio público y para el aprovisionamiento de redes de servicios públicos [10].

Las áreas que han sido identificadas retiros de quebradas son objeto de protección, tanto de las características de su ecosistema como del recurso presente en los cuerpos de agua, de acuerdo con lo que se disponga en la planificación y organización territorial del municipio. Estas áreas se establecen para garantizar la permanencia de las fuentes hídricas naturales; por lo tanto, no podrán edificarse, ya que su fin es la protección, el control ambiental y el constituirse como faja de seguridad ante amenazas hídricas [10]. Las acciones de intervención sobre estos espacios deberán procurar la conservación, recuperación y regulación del caudal del agua y, en los casos de los nacimientos de aguas, exigen que se preserven o se restablezcan las especies de plantas, flora y fauna nativas. Al respecto, se establece que, en los espacios urbanos, los retiros de quebradas deben contar con delimitación para la protección de sus áreas, las cuales son variables teniendo en cuenta las pendientes del terreno, la valoración ambiental y paisajística, si cuentan con áreas protegidas o áreas naturales únicas reconocidas por el Sistema

de Parques Nacionales, si cuentan con los lugares reconocidos por la comunidad o determinados por expertos como balcones o miradores tanto del paisaje urbano como natural, o bien si en el lugar se localizan elementos de valor arqueológico y edificaciones de valor patrimonial y cultural [16].

Pese a los condicionamientos mencionados, el Acuerdo 048 de 2011 establece que podrán ejecutarse acciones sobre los yacimientos y retiros que componen la red hídrica de Medellín siempre y cuando sea definido un insumo técnico que defina el procedimiento, las herramientas y las condiciones, que esté incorporado al POT municipal y ajustado a la Ley 1450 de 2011, así como a las disposiciones establecidas en el Decreto 2811 de 1974 y a la Ley 99 de 1993.

Un aspecto que merece especial atención en el documento de revisión y ajuste al POT es la amenaza, prevención y gestión del riesgo por fenómenos relacionados con la degradación del suelo. Inicialmente, se identifican unas áreas de prevención del riesgo sobre movimientos en masa, las cuales son definidas como aquellas relacionadas con los ecosistemas naturales y seminaturales que contribuyen con la prevención de daños ocasionados por las amenazas.

Las áreas de amenaza y riesgo son aquellas que, por el carácter de su suelo, requieren de planes y mecanismos de protección, es decir, aquellas en las que se ha identificado un peligro de que se produzcan movimientos físicos de origen natural, como inundaciones, avenidas torrenciales o movimientos en masa, originados por la acción humana sobre el suelo, los cuales pueden ocasionar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. Este estudio se ocupa, especialmente, de aquel fenómeno en el cual un volumen considerable de suelo, rocas, tierra o escombros se desplaza sobre las laderas por efecto de la gravedad.

Siguiendo las definiciones establecidas en el documento de soporte técnico, se identifican unas zonas de amenaza de movimientos en masa

de acuerdo con su localización, características y condiciones topográficas y climáticas. Lo anterior deberá estar determinado con base en las especificaciones técnicas que partan de lo dispuesto por la autoridad municipal y deberá estar en concordancia con lo establecido tanto en el Acuerdo 048 como en el Decreto Ley 019 de 2012 y en el Decreto Nacional 1807 de 2014, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, o en las normas que los modifiquen o sustituyan.

Dentro de la normatividad municipal, respecto al sistema hídrico, el manejo de los ríos, quebradas y otros cuerpos de agua y sus contornos, estos son considerados de acuerdo con la funcionalidad que cumplen dentro del ecosistema urbano y, por lo tanto, lo que se determina sobre su uso, conservación e intervención debe realizarse bajo la consideración de espacios públicos. Con este propósito, se establecen unas categorías en las que se encuentran, en primer lugar, aquellos destinados a la protección y conservación del recurso hídrico, garantizando el goce y disfrute de los atributos ambientales y paisajísticos, conocidos como ecoparques de quebrada; en segundo lugar, se encuentran aquellas zonas en las cuales existe alto riesgo por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales por haber sido objeto de procesos de asentamientos humanos, las cuales deben ser intervenidas y adecuadas como espacio público.

En este sentido, se fijan criterios según los cuales se deben llevar a cabo las actividades de intervención sobre estos espacios: tomar, como punto de partida, estudios técnicos (hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos y geotécnicos) que tengan impacto favorable en materia social, ambiental y urbanística; poner en marcha estrategias orientadas por el restablecimiento de las condiciones naturales de los cuerpos de agua y sus cauces; ejecutar obras hidráulicas de carácter blando o intermedio. Los procedimientos en los cuales se implemente la bioingeniería de suelos sobre los retiros de quebradas deberán estar orientados a la restauración del suelo y a las condiciones hidráulicas de los lechos, así como a características naturales de los cauces de las quebradas. Otros criterios son: realizar estudios de impacto y apropiación social, ambiental

y urbanística que evalúen y determinen la adecuación o reubicación en el área de influencia de los equipamientos existentes en la faja de retiro; conservar y mejorar la cobertura vegetal existente con vegetación nativa en las fajas de los retiros a corrientes de agua (estas especies estarán acordes con las disposiciones del Manual de Silvicultura Urbana); realizar obras de estabilización de taludes cuando el retiro de las quebradas presente condiciones inseguras para la ejecución del espacio público, e implementar acciones de revegetalización de los retiros y áreas adyacentes a las quebradas.

En Colombia se han adelantado exploraciones y estudios de aplicabilidad sobre los fenómenos asociados con los movimientos en masa y el diseño de alternativas para el control de la erosión, expresados en una serie de productos académicos desde el campo de la ingeniería y las ciencias aplicadas. El trabajo de López [4] consiste en un resumen analítico sobre el estado del conocimiento y la aplicación de la bioingeniería en Colombia, en el cual se tienen en cuenta los resultados producidos y las experiencias en la mitigación de los problemas erosivos, el manejo de aguas en pendientes y la estabilización de laderas de los cauces en los campos y ciudades del país. En las principales consideraciones planteadas en este trabajo, se plantea que ciertas partes de las plantas sirven como elementos mecánicos a la estructura principal en los sistemas de protección de laderas y, con el tiempo, las raíces de las plantas incrementan el refuerzo mecánico por la mayor cohesión del suelo, disminuyen la presión de poros mediante la evapotranspiración e incrementan la resistencia de este al cortante tangencial y, con ello, la estabilidad del terreno.

### Técnicas de bioingeniería

Estas estructuras, con el paso del tiempo, se convierten en refuerzo mecánico, drenaje hidráulico y barreras para prevenir y contener la erosión y los movimientos masales. En contraste con las prácticas convencionales de obra civil implementadas, la bioingeniería ofrece enormes bondades en términos de adaptabilidad al medio y genera procesos de estabilidad por medios naturales, lo que la convierte en una alternativa sostenible.

En este orden de ideas, las técnicas de bioingeniería cuentan con las condiciones técnicas y materiales necesarias para llevar a cabo su implementación como alternativa a las obras civiles, especialmente sobre retiros de quebradas, dado que instrumentalizan los elementos existentes en el entorno para mitigar y controlar la erosión.

En términos generales, los problemas de erosión y movimientos en masa son controlados tradicionalmente mediante obras mecánicas de ingeniería convencional demasiado costosas, que en ocasiones pueden superar el costo del terreno a intervenir, lo que lleva a preferir su abandono antes que realizar cualquier práctica que contrarreste el proceso de degradación. Por lo anterior se hace necesario que surjan alternativas que no desestimen su ejecución por los altos costos que acarrearán y se adopten técnicas de bioingeniería como una solución viable a los problemas presentes. Dado que los elementos presentes en el entorno natural constituyen el sustrato material para llevar a cabo los procesos de restauración ecológica y la rehabilitación del suelo, resulta viable definir estrategias de intervención, diseño, evolución y tratamiento aplicadas a suelos y agua con base en la bioingeniería. En la Tabla 2 se presentan las principales particularidades de la bioingeniería de suelo y agua.

**Tabla 2.** Particularidades de la bioingeniería de suelos y agua.

Característica	Transformación	Tiempo
<b>Elemento de refuerzo</b>	Plan raíces	Mediano y largo plazo
<b>Materiales biodegradables</b>	Deterioro: cambian sus propiedades mecánicas con el tiempo.	Largo plazo
<b>Rol estabilizador</b>	Material inerte	Inicial
	Plantas	Final
<b>Soluciones de bioingeniería de suelos y aguas</b>	Los sistemas generados son complejos y autoorganizados.	Permanente
<b>El proceso de diseño no es al inicio de la intervención.</b>	Necesita retroalimentación.	Monitoreo y mantenimiento

Fuente: [16]

El diseño de soluciones efectivas con técnicas de bioingeniería hace necesario tener en cuenta la evolución de los materiales. Esto se debe a que las plantas crecen, mientras que los elementos inertes se deterioran, alternando el rol estabilizador entre ambos materiales. La Tabla 3 ilustra las técnicas definidas para el manejo de taludes y su utilidad según problemáticas o situación.

**Tabla 3.** Técnicas definidas para el manejo de taludes.

Técnica	Característica	Uso
<b>Estaquillado</b>	Pequeños deslizamientos y asentamientos	Exceso de humedad
<b>Faginas</b>	Manojos de ramas y tallos atados en forma de huso	Zanjas poco profundas
<b>Esteras de matorral</b>	Recubrimiento de la superficie del talud con una capa gruesa de ramas atadas y entrelazadas a modo de colchón o estera, o extendidas sobre el terreno y ancladas	Orillas de ríos y arroyos
<b>Escalones de matorral</b>	Ramas en dirección perpendicular al perfil del talud en zanjas o entre capas sucesivas de tierra, de manera que formen una especie de terrazas	Disminuye la longitud efectiva de la pendiente y la capacidad erosiva de la escorrentía.
<b>Estructuras de tierra reforzada</b>	Es igual a escalones de matorral, alternando capas de tierras y ramas de poco espesor con capas mucho más gruesas de tierras de relleno envueltas en un geotextil	Capas de tierras actúan como un muro de contención, sujetando el talud. Cuando las ramas arraigan, forman masa sólida y penetran el talud anclando firmemente toda la estructura.

Fuente: [4]

Con base en el análisis del caso ecuatoriano, en el marco del proyecto Estimación de Vulnerabilidades y Reducción del Riesgo de Desastres a Nivel Municipal en el Ecuador [17], la Secretaría Nacional de Gestión del Riesgo publica el *Manual de Ingeniería Naturalística*, en el cual se establecen los ámbitos de análisis para un diseño

de una obra de ingeniería naturalística, dando la pendiente y tipo de intervención que se puede realizar. En la Tabla 4 se presentan los tipos de intervención relacionados con la inclinación del terreno (pendiente).

**Tabla 4.** Pendiente y tipo de intervención.

Pendiente	Tipo de intervención
0°-20°	Nada Siembras Hidrosiembras Plantación de estacas o arbustos
20°-37° / 40° M	Mantas orgánicas con siembra (o hidrosiembra) y, eventualmente, plantación de estacas o arbustos
27°-40° / 45° F	Fajas vivas, lechos de ramaje vivos, peldaños de leña, empalizadas
45°-50° / 55°	Emparrillados vivos Entramado de madera
50° / 55°-60°	Tierras reforzadas

Fuente: [17]

### Descripción analítica de la bioingeniería de suelos en Colombia y Medellín

El suelo constituye el elemento esencial que se encuentra presente en todos los espacios y ecosistemas, en los cuales se conjugan diferentes factores como la flora, la fauna, el clima, grupos sociales y procesos económicos que determinan su disposición como medio y recurso. En esta medida, la conjugación de todos estos factores lo expone a la degradación. Esta degradación se presenta tanto en su estructura y características ecosistémicas como en su capacidad para la recepción y regulación de aguas, debido al grado de precipitación y a las diversas prácticas de ocupación, uso y explotación económica. Con base en la mecánica de suelos, se hace posible identificar y determinar variables como la deformación del suelo, los cambios de las presiones totales, la presión de poro o la respuesta frente a perturbaciones dinámicas. Los fenómenos o deformaciones del suelo se producen, entonces, cuando se altera la dinámica del agua y el aire, así como otros elementos sólidos como fragmentos de roca y arena, identificados como material

parental, sobre los cuales el tiempo, el relieve y el clima alteran su estructura.

Resulta preocupante que, debido a las prácticas inadecuadas en el aprovechamiento de los suelos, en la mayor parte de los territorios se ha venido produciendo una pérdida paulatina del soporte natural, cuya recuperación exige de una intervención planeada que esté orientada a la recuperación sistemática de las condiciones orgánicas del suelo, aplicando técnicas que tengan en cuenta las particularidades o la geología, el clima, las actividades antropogénicas, la fauna y la flora presentes en los diferentes territorios. En los últimos años se ha producido en el país una serie de políticas orientadas a la gestión sostenible del suelo, entre las que se encuentran la del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [18], [19], y el IDEAM [20].

Para esta investigación se tienen en cuenta los estudios sobre los procesos erosivos, taludes y movimientos en masa que tienen lugar en diferentes escenarios donde se llevan a cabo actividades extractivas, agropecuarias o procesos de urbanización. En el análisis de los procesos de desarrollo económico y la dinámica de poblamiento en la ciudad de Medellín, los estudios han revelado que estos han estado ligados con el río Medellín, convirtiéndolo en el eje estructurante de la organización y disposición del territorio en función del recurso hídrico. Esto ha tenido repercusiones sobre el paisaje de la ciudad y, especialmente, sobre el suelo presente en las cuencas de este cuerpo de agua. Esto ha suscitado el interés por parte de Administraciones municipales y de los organismos de control por llevar a cabo acciones para mitigar y prevenir el impacto sobre las condiciones del suelo que han desencadenado en movimientos en masa en terrenos aledaños a los retiros de quebradas, causando perjuicios sobre la población que allí habita e impidiendo la disponibilidad y el aprovechamiento de los recursos ecosistémicos presentes en el espacio urbano. Para el caso de la ciudad de Medellín, se tiene como referente el trabajo de González y Ortiz [21], en el que se describe el proceso de intervención de la cuenca de la quebrada La Mansión, así como el trabajo de Betancur [2], en el que se examina el papel de

la Administración municipal en la intervención y gestión del espacio y los recursos naturales ligados con del río Medellín.

De acuerdo con el propósito de esta investigación, se contemplan los estudios en los cuales se analiza la bioingeniería aplicada a los fenómenos relacionados con la degradación del suelo, considerando sus bondades, procedimientos y aplicabilidad en la mitigación y regeneración eficiente del suelo, partiendo de la consideración del suelo como el recurso térreo por excelencia y constituye la base fundamental de las obras de ingeniería. Su clasificación depende de sus propiedades y características, tales como granulosis, plasticidad y humedad, las cuales se determinan a partir de la aplicación de estudios técnicos que permiten determinar el estado y la viabilidad de la obra que se pretende llevar a cabo, teniendo en cuenta que la estabilidad del suelo está directamente relacionada con la conservación de los elementos naturales presentes en el terreno, ya que en las áreas donde los suelos están desprovistos de vegetación se presentan ciclos de secado y humectación severos que hacen perder algunas propiedades del suelo, así como su funcionalidad y estabilidad como estructura dentro de la ingeniería [22].

#### IV. Metodología

Con base en una exploración analítica de la producción teórica y de estudios aplicados, se obtuvieron los elementos clave para reconocer las técnicas de ingeniería no convencional que podrían ser aplicables sobre los retiros de fuentes hídricas. Igualmente, se examinaron los criterios que actualmente se utilizan para realizar la priorización de intervenciones en quebradas y, con base en ellos, se construyó una propuesta con los criterios a evaluar para determinar en la priorización si la intervención a realizar puede ser de bioingeniería. Por último, se procede a replicar los criterios sobre un caso de priorización de la Secretaría de Medio Ambiente que actualmente se aplica, con el fin de validar su aplicabilidad.

#### V. Resultados y discusión

##### **Proceso de atención a petición, queja, reclamo, sugerencia o denuncia (PQRSD) asociado a quebradas en la Subsecretaría de Recursos Naturales**

Actualmente la Subsecretaría de Recursos Naturales Renovables, mediante el Equipo de Soluciones Hidráulicas, atiende las diferentes solicitudes que allega la comunidad relacionada con las quebradas de Medellín, con el fin dar cumplimiento a lo anteriormente expuesto.

Con la atención a esas solicitudes se realiza la identificación y priorización de intervenciones en quebradas, donde se determina si lo que se requiere es un mantenimiento o una obra nueva para el adecuado manejo hidráulico de los cauces y retiros de las fuentes ubicadas en el municipio de Medellín.

El proceso que se lleva a cabo comienza con la recepción de la petición, queja, reclamo, sugerencia o denuncia (PQRSD) de la comunidad, dependencia administrativa o institución que llega a la Secretaría de Medio Ambiente a través de los medios oficiales dispuestos por la Alcaldía de Medellín ([www.medellin.gov.co](http://www.medellin.gov.co)) en la opción de PQRSD, la línea única atención a la ciudadanía 4444144 y las sedes externas, entre estas el Sótano A. de la Alcaldía de Medellín. Las solicitudes que se tienen en cuenta pueden ser verbales, electrónicas o físicas y son registradas en el denominado Sistema de Gestión Documental (SGD) Mercurio, el cual genera un consecutivo denominado radicado, que, según su origen, es externo —por parte de la comunidad— o bien puede originarse desde las mismas dependencias administrativas de la Alcaldía de Medellín [5].

Con la recepción de la PQRSD, se continúa la cadena del proceso con la tarea de delegación, en la cual el enlace designado por la Secretaría de Medio Ambiente transfiere al Equipo Técnico de Soluciones Hidráulicas los radicados externos que son de competencia de cada servidor y

están distribuidos por comunas asignadas a cada uno por el líder del equipo. Para los radicados externos ya no opera el enlace, sino que son recibidos directamente por el líder de la Unidad de Ordenamiento del Recurso Hídrico, quien delega a cada servidor según la asignación de cada comuna [23].

Esto hace parte de uno de los objetivos: ingresar con numeración principal.

Una vez se tiene la recepción y delegación de la PQRDS, la tarea que prosigue es la realización de la visita y la elaboración del Informe Técnico, que está a cargo de cada profesional al que le fue asignada la PQRSD.

Para esta tarea, se tiene que se realiza una visita de inspección ocular y, con la información recolectada en campo, se diligencia el formato denominado FICHA TÉCNICA DE VALORACIÓN PARA INTERVENCIÓN EN QUEBRADAS [3], que puede consultarse en el Sistema Integral de Gestión de la Alcaldía de Medellín (plataforma Isolución) y consta de cinco partes e identificadas con un consecutivo de cuatro dígitos:

### Parte 1. Información general

En esta parte de la ficha, se referencian datos generales de la visita y de la solicitud como fecha, número de radicado, informe del Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres de Medellín (DAGR), coordenadas X y Y del tramo, clase de la solicitud, datos del solicitante (nombre, dirección, teléfono, correo electrónico), datos del lugar visitado (dirección, quebrada, código de la quebrada, tipo de cauce, cuenca, comuna y barrio) y descripción de la PQRSD.

De esta primera parte del formato, con el código de la quebrada se rellena automáticamente el nombre de la misma, el tipo cauce y la cuenca.

Asimismo, en esta parte se coloca un pantallazo de la cartografía tomada de MapGISV5 (mapas Medellín).

### Parte 2. Descripción de las problemáticas encontradas

En la segunda parte, el formato se diligencia con la problemática, la solución propuesta y el responsable. Esta información es acompañada de registro fotográfico que muestre o evidencie lo consignado y una casilla de observaciones para los detalles que se requieran especificar.

Es de resaltar que actualmente no se tienen las descripciones a que se refiere cada problemática, ni la solución propuesta. Desde la experiencia de campo en el diligenciamiento de esta ficha y según lo indagado con los profesionales, se presenta en este trabajo una breve descripción a lo que se refiere cada opción.

Esta parte del formato es de selección de una lista desplegable, así:

Problemática: el formato establece una lista desplegable con las problemáticas a identificar, donde se encuentra la relación que se presenta a continuación:

- Auditoría / Plan de mejora: es cuando la problemática fue detectada en un proceso de auditoría y debe ser incluida en un plan de mejoramiento para su cumplimiento.
- Afloramiento de aguas: presencia de aguas en algún lugar sin explicación aparente.
- Alineamiento: distancia de las viviendas o inmuebles a las fuentes de agua.
- Desbordamiento de la quebrada: problemáticas asociadas a inundaciones o desbordamiento de las fuentes hídricas.
- Deterioro del concreto del canal o cobertura: estructuras con deterioro, desgaste o daños que están presentando inconvenientes.
- Drenajes urbanos: estructuras por donde se conducen las aguas lluvias.
- Escorrentías: aguas lluvias sin estructuras de conducción.
- Estructura colapsada: estructuras deterioradas que se derrumbaron totalmente.
- Estructura hidráulica que no cumple requerimientos técnicos: canalización, cobertura

- o puente que presenta condición de riesgo o anormal funcionamiento.
- Humedades / Infiltraciones de agua: presencia de aguas en viviendas cercanas a fuentes hídricas que, en su mayoría, están conducidas por coberturas y se presume daño que pueda ocasionar humedades.
  - Hundimiento en vía/andén/pisos: problemática en vía, piso o andenes por desniveles en los mismos.
  - Información sobre intervención en quebradas: cuando la petición realizada busca conocer las actividades a desarrollar o ejecutadas en una quebrada.
  - Insuficiente capacidad hidráulica en canal o cobertura: estructuras hidráulicas que ya no satisfacen la necesidad.
  - Insuficiente capacidad hidráulica en el paso vial: puente que ya no satisface necesidad para transporte de agua de la quebrada.
  - Intervención en cauce o retiros (desvío, trinchos, costales, obras, etc.): intervenciones comunitarias sin permiso de la autoridad ambiental que afectan cauce o retiro de la fuente hídrica, trasladando el riesgo de un lugar a otro.
  - Movimientos en masa o erosión del talud: problemáticas asociadas a desprendimientos de suelo.
  - Obstrucción cárcamo/alcantarilla/sumidero: estructuras con dificultad para transporte del agua asociada a drenajes.
  - Obstrucción cauce/cobertura/canal: estructuras con dificultad para transporte del agua asociada a cauce (cobertura-canal).
  - Presencia de basuras o escombros por indisciplinas ciudadanas: disposición inadecuada de residuos sólidos sobre el cuerpo de agua o su zona de retiro.
  - Presencia de olores/vertimientos/contaminación: problemática asociada a olores ofensivos presuntamente por vertimientos de aguas residuales en las quebradas, ausencia de sistemas de alcantarillados.
  - Presencia de roedores y otros vectores: problemática asociada a animales transmisores de enfermedades de interés en salud pública, como roedores e insectos.
- Red Hidrográfica: inconsistencias con el trazado original de las quebradas, apareciendo en una dirección en los planos y estando, en la realidad, en otra ubicación.
  - Recomendaciones médicas en el puesto: problemáticas asociadas a los obreros de cobertura que desarrollan labores en las quebradas de Medellín y presentan restricciones médicas.
  - Roca sobre lecho: piedras de gran tamaño en el cauce de la fuente hídrica que dificultan el paso del agua.
  - Salud ocupacional: problemáticas asociadas a recomendaciones realizadas por la Unidad de Gestión del Riesgo Laboral. Situaciones de riesgo ocupacional.
  - Sedimentación del cauce: presencia de tierra en las quebradas que disminuye la capacidad hidráulica para el transporte de las aguas en un cauce.
  - Socavación de estructura o talud: pérdida de suelo en las márgenes de la quebrada (un tipo de erosión hídrica).
  - Temas administrativos obreros de coberturas: problemáticas asociadas a jornadas laborales, horas extra y compensatorios de obreros de cobertura.
  - Vegetación alta en retiros: falta de mantenimiento en zonas de retiro de quebradas.
  - Otro (descrita en observaciones): cualquier situación o problemática que no pertenezca a ninguna de las opciones anteriores.
- Solución propuesta: el formato establece una lista desplegable con las siguientes soluciones propuestas:
- Sensibilización manejo de residuos sólidos: instrucciones para el manejo adecuado de los residuos sólidos, a cargo de la Subsecretaría de Gestión Ambiental, Equipo de Residuos Sólidos.
  - Jornada de Aseo y Ornato: jornadas comunitarias, orientadas desde el Comité de Ornato y Aseo, donde la Subsecretaría de Recursos Naturales Renovables participa con la cuadrilla de obreros para realizar acciones en los lechos de la quebrada.
  - Anillado de tubería en atenor de concreto: procedimiento realizado por la cuadrilla de obreros de cobertura, que consiste en la

- reparación de tuberías, principalmente donde se unen unas con otras.
- Demolición estructura colapsada: consiste en la destrucción total de una estructura que presenta un daño parcial y representa un riesgo de obstrucción en un cauce o canal.
  - Desobstrucción de sumideros / coberturas / pasos viales: limpieza de quebradas que discurren en cobertura o de estructuras, como sumideros y puentes, que representan riesgo de obstrucción.
  - Enrocado con maquinaria: protección de margen con reacomodo de rocas.
  - Limpieza de cauce / Remoción sedimentos / Dragado / Extracción árboles con excavadora: procedimiento realizado con maquinaria, que consiste en el retiro de elementos, como residuos, sedimentos, árboles, que representan riesgo de obstrucción en los cauces de las quebradas; en este ítem, la maquinaria a usar es una retroexcavadora.
  - Limpieza de cauce / Remoción sedimentos / Dragado / Extracción árboles con vactor: procedimiento realizado con maquinaria, que consiste en el retiro de elementos, como residuos, sedimentos, árboles, que representan riesgo de obstrucción en los cauces de las quebradas; en este ítem, la maquinaria a usar es un vactor (inyección de agua a presión).
  - Limpieza de cauce / Remoción sedimentos / Dragado / Extracción árboles manual: procedimiento realizado por los obreros de cobertura, que consiste en el retiro de elementos, como residuos, sedimentos, árboles, que representan riesgo de obstrucción en los cauces de las quebradas donde no se puede usar maquinaria (retroexcavadora o vactor).
  - Muro en gaviones: construcción de estructura al margen de la quebrada para solucionar problemáticas de socavación y procesos erosivos en los retiros de quebrada. Es la única solución dada actualmente que puede acercarse a procesos de bioingeniería.
  - Reciente fundación de muros: reparación de muros aledaños a las fuentes hídricas que presentan deterioro.
  - Rehabilitación concretos en cobertura/canal: reparación de cobertura o canal de una fuente hídrica que presenta deterioro o desgaste.
  - Reposición de tubería concreto/PVC: cambio de tubería de concreto o PVC por la condición actual de la estructura, que presenta ruptura, desgaste o fuga.
  - Rocería de retiros: mantenimiento realizado a las zonas verdes de los retiros de quebradas que presentan maleza o condiciones desfavorables.
  - Voladura de rocas: procedimiento realizado en los cauces o retiros de quebrada con rocas de gran tamaño que representan riesgo de obstrucción, por lo que se hace necesario su fragmentación para retiro o reacomodo.
  - Priorizar para estudios y diseños: solución dada cuando se requiere realizar un estudio o un diseño que solucione la problemática descrita. En este punto entra la propuesta a realizar, para que se evalúe si ese estudio o diseño puede ser amigable con el ambiente.
  - Construcción ecoparque: es una solución dada cuando hay invasiones de retiro de quebradas.
  - Construcción puente peatonal.
  - Construcción sendero peatonal.
  - Instalación de pasamanos en retiro de quebradas.
  - Revegetalización/reforestación talud: es una solución poco usada en la dependencia, orientada más al paisajismo que a la propuesta de usar soluciones amigables con el ambiente.
  - Tala o poda árboles.
  - Atender problemática de descargas de aguas residuales / Lluvias al cauce: cuando se evidencian vertimientos que generan problemáticas y requieren atención de la empresa prestadora del servicio de alcantarillado.
  - Revisión de redes de servicios públicos: cuando se evidencian problemáticas de vertimientos, fugas o desgastes de tuberías que generan problemáticas y requieren atención de la empresa prestadora del servicio de acueducto o alcantarillado.
  - Traslado a otra dependencia o entidad: cuando la problemática evidenciada no puede ser intervenida por la Secretaría de Medio Ambiente o se desconoce su trámite.

Responsable: el formato establece una lista desplegable con los siguientes responsables:

- EPM: Empresas Pública de Medellín E.S.P.
- Área Metropolitana: Área Metropolitana del Valle de Aburrá
- DAGRD: Departamento Administrativo de Gestión de Riesgo de Desastres
- Corantioquia: Corporación Autónoma Regional de Antioquia
- Departamento Administrativo de Planeación
- Secretaría de Infraestructura
- Secretaría de Gobierno
- Secretaría de Seguridad
- Subsecretaría de Servicios Públicos
- Secretaría de Salud
- Silvicultura
- Equipo de Soluciones Hidráulicas
- Equipo de Estudios y Diseños
- Inspección
- Corregiduría

### Datos de intervenciones realizadas en quebradas

A continuación, se realiza una contextualización con algunos datos de interés relacionados con las intervenciones realizadas por la Secretaría de Medio Ambiente en cuanto al abordaje de las problemáticas presentadas en las quebradas de Medellín:

- En los últimos 5 años, se han atendido 3.369 solicitudes, del 2015 al 31 de diciembre de 2019, período en que se han priorizado 438, de las cuales 366 han sido calificadas con 80 puntos o más: 325 de mantenimiento y 60 para estudios y diseños (información suministrada por el líder del Equipo de Soluciones Hidráulicas de la Secretaría de Medio Ambiente).
- De las intervenciones realizadas, se tiene que para mantenimiento ninguna ha aplicado o usado técnicas de bioingeniería para estudios y diseños, según revisión de los Planes Anuales de Adquisiciones y los procesos de contratación asociados a estos entre 2015 y 2019.
- Año 2019: De 6 contratos consultados, se tienen 2 contratos para profesionales hidráulicos, 3 con no intervención de procesos de bioingeniería y uno de interventoría. Uno de los contratos

- contempló obras de paisajismo; mencionaba construcción de trinchos de pared simple, suministro y aplicación de tierra abonada en trinchos para plantas ornamentales y construcción de obras de urbanismo.
- Año 2018: De 10 contratos consultados, se tienen 2 contratos para profesionales hidráulicos, 9 con no intervención de procesos de bioingeniería y uno de interventoría. Uno de los contratos no corresponde a atención de PQRSD en quebradas, sino que es de la Unidad de Estructura Ecológica, Equipo de Silvicultura, y contempla intervenciones paisajísticas en retiro de quebrada.
- Año 2017: De 12 consultas realizadas, según Plan Anual de Adquisiciones, se tienen 9 contratos con no intervención de procesos de bioingeniería según estudios previos, 2 contratos no encontrados y uno de interventoría.
- Año 2016: De 9 procesos consultados, se tienen 4 contratos sin información y 5 con no intervención de procesos de bioingeniería según estudios previos.
- Año 2015: No hay información de PAA; por tanto, no hubo procesos de contratación a buscar.

### Propuesta de criterios a evaluar para determinar si la bioingeniería se puede aplicar en la solución a problemáticas en retiros de quebrada

Una vez identificada la falencia de la inclusión de alternativas amigables con el ambiente en las soluciones dadas a las problemáticas detectadas en las quebradas de Medellín, se realizó el análisis detallado del procedimiento realizado por la Secretaría de Medio Ambiente, identificando un rasgo general y un impacto constante en los retiros de las fuentes hídricas de jurisdicción de Medellín. Proponiendo considerar las técnicas de bioingeniería basadas en estudios aplicados y realizando un rastreo analítico del resultado de la investigación, se propone incluir dentro del proceso de atención y priorización de las intervenciones realizadas en las quebradas de Medellín los siguientes criterios, que permitan incluir en los estudios y diseños soluciones diferentes a las convencionalmente usadas:

En la atención de PQRSD de quebradas, se propone evaluar los siguientes criterios para valoración de intervención con bioingeniería: cauce natural o canal, procesos erosivos, protección de infraestructura, características del suelo, manejo de aguas y pendiente (inclinación del terreno), características del suelo, grado de longitud o pendiente, vegetación, infraestructura y diagnóstico de la problemática, para lo cual se deberá adicionar a la FICHA TÉCNICA DE VALORACIÓN PARA INTERVENCIÓN EN QUEBRADAS un ítem de calificación de pertinencia de bioingeniería de suelos.

Este nuevo ítem de calificación de pertinencia de bioingeniería de suelos pretende valorar si la intervención a realizar es susceptible para la aplicación de técnicas con bioingeniería de suelos. Solo se calificará en caso de que la fuente hídrica esté discurriendo en terreno natural o canal; no se califica en fuentes cuyo trayecto es por cobertura.

El mecanismo de valoración que se propone establece una valoración por puntos, donde se asignan 5 puntos a cada criterio, en caso de ser seleccionado, y 0 puntos en caso de no ser seleccionado, y 0 puntos en caso de seleccionar la columna "no" (condicionante al seleccionar con "X" en la columna de "sí" o "no"), con excepción del criterio de protección de infraestructura, que, en caso de ser "sí" en la respuesta, automáticamente califica como "No aplica para intervención con bioingeniería de suelos", debido a que existe una estructura a comprometer, situación que más adelante, cuando se tenga más experiencia con el uso de las alternativas propuestas, podrá considerarse.

Para aplicar a bioingeniería de suelos, se deberá tener todos los criterios calificados con el condicionante "X" en la columna "sí", en cuyo caso el formato establecería "Aplica para intervención con bioingeniería de suelos", que comprendería los siguientes criterios:

### **¿La intervención a realizar debe proteger alguna infraestructura (vías, andenes, puentes, muros de contención, estructura hidráulica)?**

Este criterio podría ser descartable para definir si se puede o no aplicar técnicas de bioingeniería de suelos en la problemática detectada como solución propuesta en atención a la PQRSD de quebradas. Principalmente busca detectar si hay vías, andenes, muros de contención o estructuras hidráulicas construidas con anterioridad que generan mayor compromiso e involucran responsabilidad. Según lo consultado, las técnicas de bioingeniería de suelos son confiables; sin embargo, teniendo en cuenta que la Secretaría de Medio Ambiente no las ha usado, lo recomendable es que, en un inicio, sean utilizadas en lugares que no comprometan otras estructuras para así ir documentando y adquiriendo experiencia de dónde pueden o no aplicarse y garantizando siempre la integridad de las obras ya construidas.

### **¿Se observa ausencia de cobertura vegetal, árboles o arbustos en los retiros de la quebrada?**

Este criterio pretende determinar si la problemática está asociada a ausencia de sistemas de amarre naturales. Es de recordar que la bioingeniería de suelos involucra técnicas de ingeniería civil con plantas para buscar estabilidad de taludes. En el control de los procesos erosivos y las remociones en masa, es fundamental evitar la destrucción del suelo; para ello, se debe conservar la vegetación existente, toda vez que es parte de la solución.

### **¿Se observa deslizamiento, movimientos en masa del talud, procesos erosivos en los márgenes de la quebrada? [Erosión ligera (surcos), moderada (surquillos) severa (laminar) muy severa (terraceroparte vacía)].**

Este criterio define al detalle que la solución planteada deberá estar orientada a la solución de procesos erosivos en el terreno o talud observado y evaluado. Para llegar a este criterio se tuvo en cuenta lo planteado en las Tablas 5 y 8.

### **¿Se observa baja capacidad de infiltración, textura fina, problemas de drenaje?**

Este criterio está relacionado con el origen del criterio anterior (procesos erosivos). No bastará solo con hacer una estructura civil y sembrar plantas, sino que se deberá contemplar el diseño de obras de drenaje que ayuden a mitigar el proceso erosivo por escorrentía.

El control de la erosión de taludes de alta pendiente puede realizarse con técnicas cuya finalidad consiste en generar una capa de protección de los suelos contra los efectos mecánicos del agua y evitar, con el tiempo, el arrastre de sedimentos. Algunas de estas técnicas son: hidrosiembra, estructuras vegetalizadas (también conocidas como cribas vivas), geomallas, biomantos, mateado con hileras de bambú, capas de enramados con o sin refuerzo, cubiertas vivas.

### **¿El suelo es de textura arcillosa, estructura migajosa y su color oscuro?**

Estas características del suelo son tomadas como propiedades de los suelos.

Por otra parte, teniendo en cuenta los criterios establecidos por Gallego y Villada [24] y Angarita y Reyes[5], es necesario tener en cuenta las características específicas del suelo y las propiedades vegetales que permitan evaluar si el suelo es apto para plantas y si estas podrían desarrollarse rápidamente en este y ofrecer los servicios ecosistémicos de agarre en el terreno. Es posible que este criterio no se cumpla, lo que requeriría una observación a la recomendación de solución propuesta que incluya adecuación de terrenos. De acuerdo con Díaz [8], las efectividades de los procesos de solución biomecánica dependen del manejo de los elementos de la naturaleza y de los criterios científicos con los que se cuente, de manera que las variedades de materiales usados en las aplicaciones para el control de erosión han tenido como principios la paja y el material orgánico y muchos de los diseños utilizados buscan retener el suelo en el sitio y facilitar el restablecimiento de la vegetación

### **¿La pendiente del retiro de quebrada es menor a 60°?**

Este criterio garantiza que la técnica de bioingeniería de suelos que se use sea apropiada, toda vez que, según la teoría, estas técnicas tienen mejores resultados en pendientes menores a 60°, pudiendo así garantizar que la valoración realizada para determinar si pueden o no aplicarse estas técnicas en la problemática identificada sea apropiada.

## **VI. Conclusiones**

- El control de la erosión y los procesos de socavación en quebradas no necesariamente deben enfocarse en la intervención de obras civiles convencionales, sino que pueden plantearse alternativas más amigables con el ambiente, como lo son las técnicas de bioingeniería de suelos, cuyas características y uso son aplicables a los retiros de quebradas, entre las cuales están las faginas, escalones de matorral, muro de criba vegetado, sistemas de drenaje, zanjas de drenaje, sellamiento de grietas, trinchos vivos escalonados, filtros vivos y terrazas vivas.
- Se plantea como una alternativa viable y eficiente a la Secretaría de Medio Ambiente de Medellín diseñar una estrategia que permita la concordancia entre Plan de Desarrollo y los instrumentos de planeación, como el POMCA, que están relacionados con protección, conservación y manejo de las quebradas y con el objetivo de ejecutar acciones para mitigación del riesgo del manejo hidráulico de las quebradas, minimizando el impacto que se pueda generar por avenidas torrenciales de las quebradas, toda vez que la bioingeniería de suelos, como ya se ha mencionado, es una solución aplicable a los retiros de quebradas que busca la protección y conservación de los recursos y, asimismo, aporta a la mitigación de riesgos ocasionados por procesos erosivos.

## VII. Referencias

- [1] D. R. Gámez Estrada, B. A. Pertuz Méndez, J. F. Daza Carrasca, L. C. Tapia Vela y E. E. Rojas Martínez, "Caracterización geotécnica y vulnerabilidad por movimientos en masas entre la vereda de Puente Quemao y el corregimiento de San Francisco de Asís, en El Copey, Cesar", *Ingeniare*, no. 22, pp. 37-57, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.22.1341>
- [2] J. Betancur Hernández, "El agua en Medellín. Una historia local y ambiental de los usos e intervenciones del río Medellín y algunos de sus afluentes: Iguañá, Santa Elena y Piedras Blancas (1880-1961)", Tesis de maestría. Medellín, 2015. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57052>
- [3] D. M. Montoya Velilla, secretaria de Medio Ambiente, "Acta de informe de gestión (Ley 951 de marzo 31 de 2005)", Alcaldía de Medellín, 12 de abril de 2021.
- [4] A. López Clavijo, "Estado del conocimiento sobre el uso de la bioingeniería en procesos erosivos en Colombia", Trabajo de grado. Manizales, 2020. Repositorio Institucional Universidad Militar Nueva Granada [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/35742>
- [5] M. T. Angarita Socadagui y M. A. Reyes Calderón, "Diseño e implementación de obras de bioingeniería en la vereda Las Lajas del municipio Supatá - Cundinamarca como una alternativa para el manejo de aguas de escorrentía y recuperación de suelos degradados", Trabajo de grado. Bogotá, D.C., 2018. Repositorio Universidad de La Salle [En línea]. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/749/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/749/)
- [6] Viceministerio de Ambiente, *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010 [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico/>
- [7] L. F. Hernández Bernal y E. B. Suescún Castellanos, "Manual de obras de bioingeniería en zonas de laderas con procesos de remoción de masas para altitudes superiores a 3000 m.s.n.m. El caso de la localidad de Sumapaz-Bogotá D.C", Trabajo de grado, Bogotá, 2016. Repositorio Universidad Católica de Colombia [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/8459>
- [8] C. Díaz Mendoza, "Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización", *Ingeniería e Investigación*, vol. 31, no. 3, pp. 80-90, 2011 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingenv/article/view/26390>
- [9] F. A. Centeno Pulido, "Nuevas tendencias de la geotecnia para las obras de tierra, la estabilización de taludes y el control de la erosión", en XVII Seminario Venezolano de Geotecnia. Del Estado del Arte a la Práctica [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/25427388-Xvii-seminario-venezolano-de-geotecnia-del-estado-del-arte-a-la-practica.html>
- [10] L. E. Quezada, "Estabilización de taludes con métodos de bioingeniería", en Cuarto Coloquio de jóvenes neologistas, Primer Encuentro de Profesores, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, octubre de 2015 [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/27450653/Estabilizaci%C3%B3n\\_de\\_taludes\\_con\\_m%C3%A9todos\\_de\\_bioingenier%C3%ADa\\_Slope\\_stability\\_with\\_bioengineering\\_methods](https://www.academia.edu/27450653/Estabilizaci%C3%B3n_de_taludes_con_m%C3%A9todos_de_bioingenier%C3%ADa_Slope_stability_with_bioengineering_methods)
- [11] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, "Estabilización de taludes", en *Manual de Aspectos Constructivos de Caminos Naturales*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2020, pp. 117-153 [En línea]. Disponible en: <https://cpage.mpr.gob.es/producto/manual-de-aspectos-constructivos-de-caminos-naturales/>
- [12] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, *Atlas Metropolitano*. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2010 [En línea]. Disponible en: [https://www.metropol.gov.co/planeacion/Documents/Atlas\\_Metropolitano.pdf](https://www.metropol.gov.co/planeacion/Documents/Atlas_Metropolitano.pdf)

- [13] Congreso de la República de Colombia (28 de junio de 2011). Ley 1454 de 2011, Por la cual se dictan normas orgánicas sobre ordenamiento territorial y se modifican otras disposiciones. D.O. No. 48115.
- [14] Constitución Política de Colombia. Gaceta Constitucional No. 116, 20 de julio de 1991.
- [15] Concejo de Medellín (17 de diciembre de 2014). Acuerdo 48 de 2014, Por medio del cual se adopta la revisión y ajuste de largo plazo del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín y se dictan otras disposiciones complementarias. G.O. No. 4267.
- [16] J. I. Vélez, C. C. Rave, H. Caballero, L. F. Montes, D. Escobar, A. Arango A., A. Cuadrado A. y R. A. Smith, "Definición de retiros en cuencas urbanas". Preparado para presentación en el XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Armenia, Quindío, 29-31 de octubre de 2004 [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8601/DA\\_3815.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8601/DA_3815.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [17] C. Crocetti, R. Ferrari y A. Petrone, *Proyecto "Estimación de Vulnerabilidades y Reducción del Riesgo de Desastres a Nivel Municipal en el Ecuador". Manual de Ingeniería Naturalística*. Quito: PNUD, CRIC y Plan Internacional Ecuador, 2012.
- [18] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Política para la gestión sostenible del suelo*. Bogotá, D.C.: MinAmbiente, 2016.
- [19] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (GIAS)*. MinAmbiente, 2013 [En línea]. Disponible en: <https://observatorio.epacartagena.gov.co/politica-nacional-para-la-gestion-integral-ambiental-del-suelo-gias/>
- [20] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. Bogotá, D.C.: IDEAM, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://observatorio.epacartagena.gov.co/estudio-nacional-de-la-degradacion-de-suelos-por-erosion-en-colombia/>
- [21] L. F. González Martínez y L. C. Ortiz Tobón, "Directrices de intervención sobre el espacio público: quebrada La Mansión, Comuna 8 de Medellín", *Revista Soluciones de Postgrado*, vol. 1, no. 2, pp. 105-118, 2008 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.eia.edu.co/index.php/SDP/article/view/291>
- [22] G. Duque Escobar y C. E. Escobar Potes, *Geomecánica*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57121>
- [23] Alcaldía de Medellín (19 de junio de 2016). Acuerdo 003 de 2016, Por el cual se adopta el plan de desarrollo municipal 2016-2019 "Medellín cuenta con vos". G.O. No. 4383.
- [24] A. L. Gallego Torres y M. L. Villada Gallego, "Evaluación de las especies vegetales utilizadas en la implementación de cinco obras piloto para la reducción del riesgo por deslizamiento en la cuenca alta del río Cauca", Trabajo de grado. Popayán, 2012. Repositorio Universidad del Cauca [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/443>



# Comprensiones del territorio de la comunidad de la Institución Educativa El Bosque: Comuna Aranjuez, ciudad de Medellín

*Understandings of the territory of the community of the El Bosque Educational Institution: Aranjuez Commune, city of Medellín*

Juliana Márquez Jaramillo<sup>1</sup>, Diego Hernández García<sup>2</sup>

**Tipo de Artículo:** Investigación revisión.

**Recibido:** 14/07/21 **Aprobado:** 20/09/21 **Publicado:** 18/12/2022

**Resumen:** La presente investigación tiene como finalidad interpretar las comprensiones del territorio que tiene la comunidad de la Institución Educativa El Bosque de la ciudad de Medellín, Antioquia, como una respuesta a la educación ambiental dentro de los procesos de formación como medio desarrollador de conciencia y conocimiento de territorio concebido de una manera integral, que permita a los ciudadanos asumir compromiso para participar en la mejora de la calidad ambiental. Desde los PRAES, las instituciones educativas generan oportunidades para la vinculación de las comunidades en los procesos que apuntan a coadyudar desde la comprensión de asuntos ambientales desde su dimensión natural, fisicoquímica, biológica y, principalmente, humana, para dar respuesta a la solución de problemáticas ambientales, incluidas

sus implicaciones demográficas. Partiendo de la descripción socioambiental del territorio, la participación comunitaria, la apropiación ética y responsable mediante la proyección de educación ambiental en una institución que se ubica espacialmente a pocos metros de un botadero a cielo abierto clausurado, fuentes hídricas importantes y comunidades con altos niveles de pobreza, se busca interpretar la comprensión del territorio de docentes, alumnos y padres de familia como respuesta a este trabajo investigativo.

**Palabras clave:** Conciencia, educación ambiental, medio ambiente, participación comunitaria, territorio.

**Abstract:** The purpose of this research is to interpret the understanding of the territory of the

1 Ingeniera ambiental, Universidad de Manizales. Colombia, Manizales. jmarquez86429@umanizales.edu.co

2 Universidad de Manizales. Colombia, Manizales. diego@umanizales.edu.co

community of the Institución Educativa El Bosque in the city of Medellín, Antioquia; as a response to environmental education within the training processes as a means of developing awareness and knowledge of the territory conceived in a comprehensive manner, which allows citizens to assume a commitment to participate in the improvement of environmental quality. From the PRAES, the educational institutions generate opportunities for the linking of the communities in the processes that aim to help from the understanding of environmental issues from their natural, physicochemical, biological, and mainly human dimension to respond to the solution of environmental problems including their implications demographic. Starting from the socio-environmental description of the territory, community participation, ethical and responsible appropriation through the projection of environmental education in an institution that is spatially located a few meters from a closed open-air dump, important water sources and communities with high levels of poverty seeks to interpret the understanding of the territory of teachers, students, and parents as a response to this research.

**Keywords:** Awareness, environmental education, environment, community participation, territory.

## I. Introducción

En Colombia, las instituciones gubernamentales encargadas de las iniciativas de educación ambiental son el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MinAmbiente), que trabajan en conjunto para promover y orientar, desde los dos entes, estrategias de formación ciudadana en el aspecto ambiental. La educación ambiental se define en este país como “el proceso que le permite al individuo comprender las relaciones de interdependencia con su entorno, a partir del conocimiento reflexivo y crítico de su realidad” desde diferentes aspectos generando apropiación con acciones de valoración y respeto por el ambiente [1].

De acuerdo con lo anterior y bajo la política nacional, son importantes los Proyectos Ambientales Escolares (PRAE) como la estrategia que se orienta desde las instituciones educativas hacia

la educación ambiental desde un enfoque formal. Sin embargo, la evaluación de la efectividad de la educación ambiental en las escuelas [2] no es tenida en cuenta para la formulación de estos proyectos y el mejoramiento de los proyectos futuros. Esto puede estar relacionado con el desconocimiento de los indicadores de evaluación que proponen algunos autores o con que los docentes encargados del proceso no cuentan con una formación al respecto, teniendo en cuenta que la educación ambiental debe ir más allá de la información teórica, impulsando un cambio de actitud que coopere con la concientización de las dinámicas en el entorno y la codependencia con la naturaleza [3].

Para formular acciones que promuevan el desarrollo sostenible de las comunidades, es necesario tener un conocimiento previo de las dinámicas y la comprensión del territorio en todos sus aspectos. Es por esto que surge la necesidad de indagar a fondo desde las instituciones educativas, como entes formuladores de proyectos ambientales que apunten al desarrollo de capacidades y a la formación de individuos con capacidad de apropiación de conceptos socioambientales que lleven a la participación comunitaria la construcción de un entorno saludable y de calidad para las comunidades.

Desde la Institución Educativa El Bosque, ubicada en el barrio Moravia, se formula un PRAE que va más allá del manejo de residuos y de campañas de sensibilización, pues se propone, desde este proyecto, un reconocimiento de la historia, del presente y de la proyección del futuro desde la educación ambiental, generando en la comunidad educativa conciencia del tiempo y del espacio que se ocupa. Este ha sido un intento significativo por llevar a la comunidad educativa a sentirse parte del barrio y no ser un núcleo aislado a la realidad que le rodea. Esta investigación pretende, desde un análisis amplio, interpretar las comprensiones del territorio que tienen los diferentes actores: docentes que habitan el territorio en jornadas laborales, alumnos que llevan diferentes tiempos de asentamiento en el barrio y algunos padres de familia, esperando que estos últimos tengan una visión más amplia desde los eventos ocurridos a lo largo de la historia que se pudieron haber

prevenido desde la educación ambiental y el conocimiento del territorio.

## II. Marco teórico

### 1. Territorio

El concepto de *territorio* nace de diversas corrientes del pensamiento geográfico, como la geografía física, el análisis regional o la geografía crítica, entre otras. Asimismo, el concepto de *territorio* ayuda en la interpretación y comprensión de las relaciones sociales vinculadas a la dimensión espacial, evaluando las relaciones sociales que tienen los seres humanos y su relación íntima con la naturaleza. Estas relaciones van cambiando con el tiempo y el espacio y adquieren un sentido de complejidad: pueden verse afectadas por la economía, la producción, la cultura, la política o el desarrollo del conocimiento [4].

Además, el concepto de territorio no solo comprende las identidades sociales como los grupos étnicos, sino que también da a conocer el sentido de pertenencia socioterritorial y el apego emocional por el espacio, entendiéndose así como el espacio apropiado por un grupo social para asegurar su reproducción y la satisfacción de sus necesidades vitales [5].

Por otra parte, junto con el concepto de *territorio*, nace el de *apropiación*, el cual está marcado por conflictos, lo que explicaría que el territorio esté producido, regulado y protegido por intereses de los grupos de poder; es decir, la territorialidad está ligada a las relaciones de poder [5].

#### 1.1. Participación comunitaria

La participación es un término complejo y abarca distintos enfoques; sin embargo, en los procesos sociales hace referencia al cumplimiento de objetivos o metas comunes. Como consecuencia, se supone que existe una identidad colectiva entre las personas que participan en este proceso, presentando valores, intereses y motivaciones, lo que da sustento a la existencia de un "nosotros" [6].

De este modo, la participación se inicia como un proceso individual en el cual la persona reconoce las potencialidades y valores que tiene como individuo para aportar o participar en un grupo; al mismo tiempo, el individuo reconoce lo que es el grupo. Así, todo proceso participativo busca la transformación de una realidad por medio de la toma de decisiones, asumiendo así el cambio [6].

#### 1.2. Problemática ambiental

"Un problema social que refleja un tipo de organización particular de la sociedad y una relación específica de esta organización con su entorno natural", es decir los problemas ambientales son el resultado del desarrollo, para la solución de estos es necesaria la articulación de diversas disciplinas: física, química, biológica, social, tecnológica, económica, cultural y política, mediante un espíritu crítico y reflexivo para la acción que incida en la relación ser humano- sociedad-naturaleza" [7].

### 2. Educación

La educación ambiental puede definirse como el proceso interdisciplinario para desarrollar ciudadanos conscientes e informados acerca del ambiente en su totalidad, en su aspecto natural y modificado; con capacidad para asumir el compromiso de participar en la solución de problemas, tomar decisiones y actuar para asegurar la calidad ambiental de acuerdo con el autor Rick Mrazec [8].

Fomentar desde las instituciones educativas, como escenarios de formación ciudadana, la conciencia y la sensibilización del entorno vivo y no vivo permite generar la capacidad de analizar y reflexionar frente a las acciones cotidianas; se logra para la comunidad académica y familiar un espacio de diálogo que los incentive como especie humana a tomar decisiones frente a las diferentes formas de vida, decisiones que apuntan a la motivación y sensibilización de las diferentes problemáticas ambientales en cada contexto para plantear soluciones.

La educación ambiental se propone, a través del desarrollo de diversas estrategias pedagógicas, contribuir a la formación de una conciencia sobre la responsabilidad del género humano en la continuidad de las distintas formas de vida en el planeta, así como la formación de sujetos críticos y participativos ante los problemas ambientales [8].

Finalmente, de acuerdo con la Política Nacional de Educación Ambiental, es importante mencionar la relación entre la escuela y la comunidad como agentes determinantes en el territorio, porque desde esta relación se pueden generar procesos de transformación que incidan en el desarrollo individual y comunitario. Este desarrollo debe partir del conocimiento del medio y el manejo de este dentro de unos criterios que permitan una interacción dinámica acorde con las necesidades actuales, como medio de construir proyectos de vida orientados al mejoramiento de la calidad de esta. Estos proyectos no pueden construirse por fuera de un proceso formativo íntimamente relacionado con la familia, la escuela y todos aquellos que de una u otra manera hacen parte de la comunidad educativa. La formación en la escuela debe servir para preparar al individuo para la vida [9].

Teniendo en cuenta que la educación ambiental exige un trabajo desde el conocimiento y el saber, es necesario que los docentes se formen, desde sus diversas áreas, para el conocimiento y reconocimiento del territorio y las diferentes problemáticas ambientales en las cuales se puede impactar desde las aulas y los espacios de diálogo de la comunidad educativa en general, lo que implica un trabajo interdisciplinario derivado del carácter sistémico del ambiente y de la necesidad de aportar los instrumentos de razonamiento, de contenido y de acción desde las diversas disciplinas, las diversas áreas del conocimiento y las diversas perspectivas. La formación de educadores ambientales debe responder a esta concepción; así, los procesos de formación, actualización y perfeccionamiento de educadores ambientales

deben hacer especial énfasis en el desarrollo del sentido de pertenencia a una nación, a una región, a una localidad y a una comunidad que tienen características específicas. El educador ambiental debe entrar en contacto con los organismos o instituciones que están encargados de la gestión ambiental. Esto implica que construya criterios de relación, de acción y de proyección. Para desarrollar esta estrategia, es necesario darle prioridad a la formación, la actualización y el perfeccionamiento de docentes e, igualmente, a la formación de otros agentes educativos ambientales.

### 2.1. Educación formal

“Se entiende por educación formal aquella que se imparte en establecimientos educativos aprobados, en una secuencia regular de ciclos lectivos, con sujeción a pautas curriculares progresivas, y conducente a grados y títulos” [10].

### 2.2. Educación ambiental

La educación ambiental puede definirse como el proceso interdisciplinario para desarrollar ciudadanos conscientes e informados acerca del ambiente en su totalidad, en su aspecto natural y modificado, con capacidad para asumir el compromiso de participar en la solución de problemas, tomar decisiones y actuar para asegurar la calidad ambiental, de acuerdo con el autor Rick Mrazec [8].

Fomentar desde las instituciones educativas, como escenarios de formación ciudadana, la conciencia y la sensibilización del entorno vivo y no vivo, permite generar la capacidad de analizar y reflexionar frente a las acciones cotidianas; se logra para la comunidad académica y familiar un espacio de diálogo que los incentive como especie humana a tomar decisiones frente a las diferentes formas de vida, decisiones que apuntan a la motivación y sensibilización de las diferentes problemáticas ambientales en cada contexto para plantear soluciones.

La educación ambiental se propone, a través del desarrollo de diversas estrategias pedagógicas, contribuir a la formación de una conciencia sobre la responsabilidad del género humano en la continuidad de las distintas formas de vida en el planeta, así como la formación de sujetos críticos y participativos ante los problemas ambientales [8].

Finalmente, de acuerdo con la Política Nacional de Educación Ambiental, es importante mencionar la relación entre la escuela y la comunidad como agentes determinantes en el territorio, porque, desde esta relación, se pueden generar procesos de transformación que incidan en el desarrollo individual y comunitario. Este desarrollo debe partir del conocimiento del medio y el manejo de este dentro de unos criterios que permitan una interacción dinámica acorde con las necesidades actuales, como medio de construir proyectos de vida orientados al mejoramiento de la calidad de esta. Estos proyectos no pueden construirse por fuera de un proceso formativo íntimamente relacionado con la familia, la escuela y todos aquellos que, de una u otra manera, hacen parte de la comunidad educativa. La formación en la escuela debe servir para preparar al individuo para la vida [9].

Teniendo en cuenta que la educación ambiental exige un trabajo desde el conocimiento y el saber, es necesario que los docentes se formen, desde sus diversas áreas, para el conocimiento y reconocimiento del territorio y las diferentes problemáticas ambientales en las cuales se puede impactar desde las aulas y los espacios de diálogo de la comunidad educativa en general, lo que implica un trabajo interdisciplinario derivado del carácter sistémico del ambiente y de la necesidad de aportar los instrumentos de razonamiento, de contenido y de acción desde las diversas disciplinas, las diversas áreas del conocimiento y las diversas perspectivas. La formación de educadores ambientales debe responder a esta concepción; así, los procesos de formación, actualización y perfeccionamiento de educadores ambientales deben hacer especial énfasis en el desarrollo del sentido de pertenencia a una nación, a una región, a una localidad y a una comunidad que tienen características específicas. El educador ambiental

debe entrar en contacto con los organismos o instituciones que están encargados de la gestión ambiental. Esto implica que construya criterios de relación, de acción y de proyección. Para desarrollar esta estrategia es necesario darle prioridad a la formación, la actualización y el perfeccionamiento de docentes e, igualmente, a la formación de otros agentes educativos ambientales [11].

### 2.2.1. Proyectos Ambientales Escolares (PRAES)

“Todos los establecimientos de educación formal del país, tanto oficiales como privados, en sus distintos niveles de preescolar, básica y media, incluirán dentro de sus proyectos educativos institucionales, proyectos ambientales, escolares en el marco de diagnósticos ambientales, locales, regionales y/o nacionales, con miras a coadyuvar a la resolución de problemas ambientales” [12].

El PRAE es considerado, dentro de la Política Nacional de Educación Ambiental, como una de las estrategias para la inclusión de la dimensión ambiental en los currículos de la educación preescolar, básica y media, dimensión que debe incluirse a partir de proyectos y actividades y no por medio de una cátedra, de modo que permita integrar las diversas áreas del conocimiento para el manejo de un universo conceptual aplicado a la solución de problemas. Asimismo, permite explorar cuál es la participación de cada una de las disciplinas en un trabajo inter o transdisciplinario, posibilitando la formación en la ciencia, la técnica y la tecnología desde un marco social que sirva como referente de identidad del individuo y genere un compromiso con él mismo y con la comunidad. Adicional a lo anterior, los proyectos escolares en educación ambiental deben estar inscritos en la problemática ambiental local, regional o nacional y concertarse con las entidades que, de una u otra manera, estén comprometidas en la búsqueda de soluciones [13].

Los PRAE buscan comprender los asuntos ambientales desde su dimensión natural, fisicoquímica y biológica, pero también humana, con sus implicaciones demográficas, sociales, económicas, técnicas, tecnológicas, políticas y culturales [14].

En este proceso, la escuela debe posibilitar la práctica de la interdisciplinariedad, entendida como la integración de las diversas disciplinas en torno de un propósito común, como la interpretación de un problema concreto, buscando explicaciones y alternativas de solución: se plantean y responden preguntas, se interpreta y argumenta y se escribe la síntesis, con lo que se fortalece el pensamiento sistémico y se hacen más significativos los conocimientos. Lo anteriormente descrito no se halla distante de las denominadas competencias para el pensamiento científico, pues las ciencias naturales y las ciencias sociales desempeñan un papel muy importante al momento de profundizar en el conocimiento con el objetivo de dar respuesta a las preguntas que se hacen muchos escolares en torno al desarrollo de sus habilidades dentro de los procesos de interpretación y comprensión de los hechos y los fenómenos de aula. Es de esta manera como la transversalidad en la educación propicia y la gestión del conocimiento, desde una perspectiva dinámica analítica, genera conceptualizaciones, métodos y los contenidos enfocados al desarrollo de actitudes científicas [15].

### 3. Ética ambiental

Teniendo en cuenta las condiciones actuales de desarrollo y crecimiento económico en el ámbito de la producción, la vida social y el consumo, los cuales han dejado una serie de inconformidades en todos los aspectos de la vida, como el ético, el humano y el ambiental, a finales del siglo XX se generan nuevas formas de pensar lo moral, la educación y el desarrollo. De esta manera, nace la ética ambiental [16].

En primer lugar, debe entenderse la ética como un aporte de la filosofía que trata del bien y del mal y se desarrolla a la par con la acción moral; a su vez, tiene un valor normativo y esto posibilita que se mantengan esas orientaciones. De este modo, la ética tiene que ver con las emociones y los

sentimientos, pero soportados en la base racional de la moral [16].

Empieza a hablarse de ética ambiental cuando Raquel Carson, en 1968, genera una revolución en el pensamiento plasmando en su libro *La primavera silenciosa* los daños ambientales generados por el exceso de poder del hombre [16].

Finalmente, la ética ambiental enfoca una perspectiva racional de los problemas morales que engloban al medio ambiente y cada vez están tomando más relevancia. A medida que los problemas ambientales van creciendo, los seres humanos nos vemos impedidos para reaccionar y disminuir los impactos generados sobre el ambiente; además, en esta ética ambiental lo que importa son los intereses de los seres humanos, es decir, el uso adecuado de los recursos naturales para asegurar una calidad de vida y asegurar el sostenimiento de los recursos para las generaciones futuras [16].

### III. Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto de investigación y teniendo en cuenta que esta es una investigación cualitativa de tipo hermenéutico, donde la recolección de datos es fundamental, según [17], para las investigaciones de este tipo es importante tener en cuenta las "formas de expresión" y, tratándose de personas, tener en cuenta también la emotividad y las percepciones más allá de los conceptos. Igualmente, proponen los autores que la recolección debería darse en un ambiente que resulte natural y cotidiano para los participantes.

En la figura 1, se visualiza las técnicas propuestas para la recolección de la información: (a) observación/reconocimiento, (b) entrevistas y grupos focales, y (c) un análisis por triangulación de la información como medio para documentar resultados, sacar conclusiones y considerar recomendaciones.

**Figura 1:** Metodología.



### Comprensiones del territorio de la comunidad de la Institución Educativa El Bosque

Fuente: elaboración propia, 2021.

## TÉCNICAS O INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

### Observación/reconocimiento

Sin limitar la observación al sentido de la vista, se hace necesaria una mirada profunda que contemple situaciones cotidianas en la comunidad educativa de la institución que permitan analizar y comprender las interacciones de las personas con el espacio natural y no natural. Esta será plasmada en un formato de observación de elaboración propia basado en experiencias que permite un acercamiento con la institución educativa en el año 2016.

Este y los demás instrumentos fueron modificados en el transcurso de la investigación, teniendo en cuenta la disponibilidad de las herramientas, al no poder contar con espacios presenciales

debido a la contingencia a nivel mundial por el COVID-19. En el caso de este instrumento, solo se pudo documentar el reconocimiento en experiencias pasadas.

### Recolección de información secundaria

Como segunda técnica se propone la revisión y análisis de información secundaria que permita generar un contexto dentro de la problemática, donde sea posible evidenciar cómo ha evolucionado el reconocimiento del territorio dentro de la comunidad educativa y cuál es la situación actual. Para el objeto de estudio de esta investigación, se tienen en cuenta un listado amplio de documentos; sin embargo, se prioriza el conocimiento de los siguientes documentos como pilares fundamentales para el desarrollo de esta investigación:

- Política Nacional de Educación Ambiental
- Política Pública de Educación Ambiental de Antioquia (PPEAA)
- Estrategias de Gestión de Cultura y Educación Ambiental - Área Metropolitana del Valle de Aburrá
- Proyecto Ambiental Escolar (PRAES) IE El Bosque
- Documentos históricos (Centro Cultural Moravia)
- Recolección de información primaria

Esta investigación se realiza en una población académica carente de recursos tecnológicos, por lo que se dificulta la recolección de la información teniendo en cuenta la problemática por el COVID-19. Por esta razón, los instrumentos descritos a continuación fueron utilizados de manera virtual, limitando su uso a las personas que se pudo contactar debido a la realidad de la comunidad educativa en general en temas de conectividad y herramientas para su desarrollo.

### Entrevistas

Las entrevistas permiten un acercamiento mayor a la población de la comunidad educativa, buscando explicar cuál es el aporte o influencia de los entrevistados en el desarrollo del contexto y el territorio. Es por eso que se proponen 12 preguntas para realizar a estudiantes, docentes, administrativos y padres de familia, como actores que forman parte la institución y que permiten

dar a la investigación mayores herramientas para el análisis y la generación de recomendaciones. Teniendo en cuenta la particularidad de los tiempos en que se desarrolla la investigación, esta entrevista será ejecutada a una parte del personal docente por medio de la aplicación WhatsApp.

### Grupo focal

Por medio de esta técnica se busca evidenciar y analizar la interacción entre algunos de los miembros de la comunidad educativa que permita conocer la participación de estudiantes, docentes, padres de familia y administradores frente a la educación ambiental dentro de la IE.

Este instrumento se desarrolla por medio de la aplicación Google Meet y con la ayuda de la herramienta Google Forms a través de un encuentro virtual del cual la IE dispone.

### TRIANGULACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la compilación de la información, se propone la Tabla 1, la cual da cuenta de la relación entre los objetivos específicos propuestos a partir de las variables de estudio mediadas por los instrumentos y las herramientas anteriormente descritos, y así dar respuesta a la problemática inicial de esta investigación; además, permite el análisis de los resultados.

**Tabla 1:** Triangulación de la información

Variable	Objetivo específico	Instrumento	Herramienta
<b>Territorio</b> <i>Participación comunitaria</i> <i>Problemática ambiental</i>	Describir el estado actual socioambiental del territorio de la comuna Aranjuez	Observación	Reconocimiento previo
		Recolección secundaria	Fuentes de información
		Recolección primaria	Entrevistas docentes Grupo focal con estudiantes
<b>Educación</b> <i>Educación formal</i> <i>Educación ambiental</i> <i>Proyectos ambientales escolares</i>	Explicar los procesos de participación comunitaria y de proyección de educación ambiental	Recolección secundaria	Fuentes de información
		Recolección primaria	Entrevistas docentes
			Grupo focal con estudiantes
<b>Ética ambiental</b>	Analizar la apropiación ética ambiental y responsable de la comunidad en el manejo sostenible del medio ambiente	Recolección primaria	Entrevistas docentes
			Grupo focal con estudiantes

## ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para describir el estado actual socioambiental, puede realizarse una comparación frente a lo que, en el 2016, los alumnos manifestaron en un primer acercamiento con el reconocimiento del “Morro” y su historia. Para ese entonces, la mayoría de los estudiantes que participaron de la actividad de sensibilización no conocían y tampoco reconocían la historia del barrio y su transformación. El proceso municipal, en el que participaron diferentes entes gubernamentales e instituciones, denominado “Moravia florece para la vida”, permitió la creación de memorias históricas plasmadas en el Centro Cultural y en archivos audiovisuales, así como visibilizar las problemáticas, pero también las oportunidades de construcción de este territorio. Así la comunidad ha podido enterarse y tener disponible la información.

Es importante aclarar que los docentes no residen en el barrio y, sin embargo, han hecho un trabajo conjunto con los alumnos y la comunidad para interpretar el territorio y acercarse a las problemáticas socioambientales del sector. Esto puede evidenciarse en el proyecto ambiental escolar de la institución, denominado “Entre lo ambiental, lo educativo y lo social, Moravia reconoce su pasado, consolida su presente y construye su futuro”. Los docentes reconocen y definen un territorio como un espacio que es habitado y permite definir una comunidad, en concordancia con los estudiantes, quienes manifiestan que el territorio es el entorno en el que viven, donde se evidencian problemáticas que se han ido tratando y que han permitido una transformación que mejora las condiciones y las relaciones de la comunidad con el medio natural.

Así, es posible explicar, soportado en bases legítimas de índole nacional, gubernamental, municipal y de construcción local, los diferentes procesos de vinculación de la comunidad con los procesos que, por medio de la educación ambiental, logran un impacto en la comunidad educativa de la institución. Dentro de las actividades planteadas en el proyecto ambiental escolar, se encentra la visita del Morro por parte de toda la comunidad educativa, donde los mismos

participantes reconstituyen la historia generando conciencia y proyectando ejercicios de construcción de estrategias que permanezcan en la memoria de la comunidad y logren incentivar la cultura ambiental como parte del desarrollo territorial. Es importante resaltar que, a la fecha de este ejercicio investigativo, la mayoría de los estudiantes ya reconocen su barrio como un territorio de cambio, transformación y trabajo comunitario que les ha permitido establecer precedentes en la historia y que motiva a una construcción permanente. Ya no ven simplemente un espacio bonito con flores, sino que reconocen el proceso que tuvieron que pasar, como comunidad, para llegar ahí.

Desde la política nacional propuesta en el año 2002, se reconocen los proyectos ambientales escolares como la herramienta que potencia la educación desde el conocimiento de una dimensión ambiental que permita al individuo reconocerse como parte de una problemática, pero, lo más importante, como agente constructor de oportunidades y garante del sostenimiento de un territorio para generaciones futuras. En línea con lo anterior, el departamento de Antioquia propone, en su política departamental de educación ambiental, como uno de sus objetivos posicionar la educación ambiental para fomentar el reconocimiento y la apropiación del territorio, mejorando los procesos educativos. Más específicamente, la Corporación Autónoma, con jurisdicción en la zona de estudio (el Área Metropolitana del Valle de Aburrá), quien propone como disposición vinculada la calidad ambiental y el desarrollo sostenible y el Plan Municipal Ambiental de Medellín, propone, desde su Plan de Desarrollo, procesos socioculturales y de gestión ambiental que permitan generar procesos investigativos desde la educación ambiental que permitan la evaluación de procesos socioculturales en los que se evidencie la resignificación de espacios pedagógicos de interés territorial y ambiental.

Sin embargo, y teniendo en cuenta la intensidad del proyecto ambiental, es importante dar a conocer a la comunidad educativa los diferentes programas y logros, socializar los resultados y los avances del proyecto, que permitan dar más visibilidad

a la institución como parte de la construcción en el territorio, y realizar proyectos ambientales escolares futuros que potencien la memoria y la expectativa del territorio en el que se busca vivir, estudiar y socializar.

Finalmente, y analizando la apropiación ética ambiental y de responsabilidad con el manejo sostenible del ambiente, cabe mencionar que es necesario que los procesos puedan ser mostrados en las diferentes plataformas de la institución, carteleras y de conocimiento curricular, para que estudiantes y docentes generen mayor empatía por la calidad del proyecto, conozcan y difundan. Esto debido a que en las entrevistas a docentes y preguntas a estudiantes aún se evidencia, en algunos casos, la falta de conocimiento del entorno, diferenciación y definición de sustentabilidad y sostenibilidad. Lo anterior permitirá que la comunidad educativa se empodere del proyecto y aporte, en mayor escala, al territorio.

#### IV. Conclusiones

Es importante vincular a la comunidad educativa con su realidad, teniendo en cuenta aspectos particulares enfocados en determinar la relación del individuo, la escuela y el entorno desde la educación ambiental, reconociendo la vinculación permanente de la institucionalidad con la comunidad, lo que permita procesos de transformación acordes con las problemáticas actuales, que establezcan proyectos en pro del mejoramiento de la calidad de vida, proporcionando al individuo la generación de valores e intereses, la adquisición de responsabilidades que promuevan el autorreconocimiento dentro la problemática particular y de todo lo que lo rodea; así es posible generar procesos de conciencia de la realidad que lleven a la búsqueda permanente de soluciones enfocadas en el equilibrio del entorno y la sostenibilidad.

#### V. Referencias

- [1] Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Educación Nacional, *Política Nacional de Educación Ambiental SINA*. Bogotá, D.C., julio de 2002 [En línea]. Disponible en: [http://cmap.upb.edu.co/rid=1195259861703\\_152904399\\_919/politi-ca\\_educacion\\_amb.pdf](http://cmap.upb.edu.co/rid=1195259861703_152904399_919/politi-ca_educacion_amb.pdf)
- [2] A. N. Muñoz Montilla y P. Páramo Bernal, "Monitoreo de los procesos de educación ambiental: propuesta de estructuración de un sistema de indicadores de educación ambiental", *Revista Colombiana de Educación*, no. 74, pp. 81-106, enero-junio de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.17227/rce.num74-6899>
- [3] C. Vargas y M. R. Estupiñán A., "Estrategias para la educación ambiental con escolares pobladores del páramo Rabanal (Boyacá)", *Luna Azul*, no. 34, pp. 10-25, enero-junio de 2012 [En línea]. Disponible en: <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/lunazul/article/view/1132>
- [4] L. Llanos Hernández, "El concepto del territorio y la investigación en las ciencias sociales", *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, vol. 7, no. 3, pp. 207-220, marzo de 2010 [En línea]. Disponible en: <https://www.revista-asyd.org/index.php/asyd/article/view/1119>
- [5] G. Giménez, "Territorio e identidad. Breve introducción a la geografía cultural", *Trayectorias*, vol. 7, no. 17, 2005 [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60722197004>
- [6] Alcaldía de Ibagué, "Unidad 1. Concepto de organización y planeación comunitaria", *Participación comunitaria* [En línea]. Disponible en: <https://ibague.gov.co/portal/admin/archivos/formacionVirtual/participacioncomunitaria/contenido/pdf/Unidad1Leccion1.pdf>
- [7] F.A. Vahos Arias, *Guía de diseño e implementación de proyectos ambientales escolares PRAE desde la cultura del agua: brota, fluye, crea, recrea... cambia. Elemento vital para transformar la cultura ambiental*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012.

- [8] R. C. Flores, "Investigación en educación ambiental", *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, vol. 17, no. 55, pp. 1019-1033, 2012 [En línea]. Disponible en: <https://comie.org.mx/revista/v2018/rmie/index.php/nrmie/article/view/341>
- [9] Ministerio de Educación, *Plan Nacional de Educación Ambiental 2017-2022*, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://siteal.iiiep.unesco.org/bdnp/514/plan-nacional-educacion-ambiental-2017-2022>
- [10] Congreso de la República de Colombia (8 de febrero de 1994). Ley 115 de 1994, Por la cual se expide la Ley General de Educación. D.O. No. 41214.
- [11] M. E. Badillo Mendoza, "Política de educación ambiental en Colombia, 2002-2010". *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 3, no. 1, pp. 89-96, 2012 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/21456453.948>
- [12] Ministerio de Educación Nacional (3 de agosto de 1994). Decreto 1743 de 1994, Por el cual se instituye el Proyecto de Educación Ambiental para todos los niveles de educación formal, se fijan criterios para la promoción de la educación ambiental no formal e informal y se establecen los mecanismos de coordinación entre el Ministerio de Educación Nacional y el Ministerio del Medio Ambiente. D.O. No. 41476.
- [13] CIDEAM La Estrella, *Marco legal del PRAE* [En línea]. Disponible en: <https://cideamlaestrella.files.wordpress.com/2013/03/marco-legal-del-prae.pdf>
- [14] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Los proyectos ambientales escolares -PRAE en Colombia. Viveros de la nueva ciudadanía ambiental de un país que se construye en el escenario del posconflicto y la paz*. Bogotá, D.C.: MinAmbiente, 2016 [En línea]. Disponible en: [https://archivo.minambiente.gov.co/images/rdenamientoAmbientaITerritorialyCoordinaciondelSIN/pdf/VII\\_Encuentro\\_Nacional\\_de\\_Educación\\_Ambiental/PRAE.pdf](https://archivo.minambiente.gov.co/images/rdenamientoAmbientaITerritorialyCoordinaciondelSIN/pdf/VII_Encuentro_Nacional_de_Educación_Ambiental/PRAE.pdf)
- [15] Y. A. Velásquez Cantor, "La educación ambiental, una reflexión en torno a la relación entre comunidad educativa y medio ambiente, desde los imaginarios colectivos y espacios de la Institución Educativa Playa Rica, en el municipio el Tambo-Cauca", Tesis de maestría. Manizales, 2017. Repositorio Institucional Universidad de Manizales [En línea]. Disponible en: <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3149>
- [16] O. M. Pabón Serrano, Y. F. Pabón Serrano y M. A. Tarazona Méndez, "La ética ambiental: evolución, acuerdos y desacuerdos entre ecología, ambientalismo y sostenibilidad", *Revista Temas*, vol. 3, no. 9, pp. 139-148, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15332/rt.v3i9.1367>
- [17] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, 6ª ed. México, D.F.: McGraw Hill, 2014.



# Procesamiento del lenguaje natural y aprendizaje de lenguas extranjeras: Abordaje metodológico desde la realización de una tarea lingüística

*Natural language processing and foreign language learning:  
Methodological approach from the performance of a linguistic task*

Alejandro Ramírez Cañas<sup>1</sup>

**Tipo de Artículo:** Revisión.

**Recibido:** 2/11/21 **Aprobado:** 26/09/22 **Publicado:** 18/12/2022

**Resumen:** A medida que la tecnología se difunde en los contextos educativos, es posible mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Gracias a la inteligencia artificial (AI), el aprendizaje de máquinas (ML) y, en concreto, al procesamiento del lenguaje natural (PLN, o NLP por sus siglas en inglés), una serie de posibilidades permite a las personas mejorar su proceso de aprendizaje de idiomas, que el Marco Común Europeo de Referencia (MCER) parametriza en favor de actividades orientadas a la acción en las que los usuarios del lenguaje realizan tareas comunicativas.

Por lo tanto, en este artículo se explora el desarrollo de una metodología que posibilite la creación de juegos serios en el enfoque de aprendizaje de idiomas *Task-Based Learning* a través de la expresión lingüística orientada a eventos y del procesamiento del lenguaje natural. Esta posibilidad fomentaría el proceso de *input*

en la enseñanza de idiomas y mejoraría la curva de aprendizaje en este enfoque a través de una técnica de expresión lingüística orientada a eventos, enmarcada en una actividad lingüística específica: la narración de un partido de fútbol.

**Palabras clave:** Procesamiento del lenguaje natural, aprendizaje de lenguas extranjeras, juegos serios, aprendizaje basado en tareas.

**Abstract:** As technology spreads in educational contexts, it is possible to enhance teaching and learning processes. Thanks to artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and specifically Natural Language Processing (NLP), a series of possibilities allow people to improve their language learning process - which the Common European Framework of Reference (CEFR) parameterizes in favor of action-oriented activities in which the language users perform communicative tasks.

<sup>1</sup> Licenciado en Lenguas Extranjeras, magíster en Gestión de Tecnología de la Información. Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia. Colombia, Medellín. [alejandrormv@gmail.com](mailto:alejandrormv@gmail.com)

Therefore, this article explores the development of a methodology that enables the creation of serious games in the Task-Based Learning approach to language learning through event-oriented linguistic expression and Natural Language Processing. This possibility would encourage the entry process in language teaching and improve the learning curve in this approach through an event-oriented linguistic expression technique framed in a specific linguistic activity: The narration of a football match.

**Keywords:** Natural Language Processing, foreign language learning, serious games, Task-Based Learning.

## I. Introducción

En el campo de la inteligencia artificial, se han visto grandes progresos en el área del aprendizaje de las máquinas o *Machine Learning*. Sin embargo, según algunos autores como Qianli Liao y Tomaso Poggio [1], este éxito se ha debido, en gran parte, a unos paradigmas de aprendizaje concretos que funcionan como “herramientas” con una función claramente delimitada para cumplir una tarea específica. Dentro de estos paradigmas, se destacan el “aprendizaje supervisado” y el “aprendizaje no supervisado”, los cuales basan su funcionalidad en el análisis de conjuntos de datos (*datasets*); además notablemente, el “aprendizaje por refuerzo” dentro del aprendizaje de máquinas, que ha logrado que algunos agentes virtuales parecieran ser incluso más eficientes que los humanos al desempeñar determinadas tareas. No obstante, estos autores notan una extrema delimitación o especialización en estos algoritmos. De este modo, un algoritmo con la función de traducir no necesariamente podría leer un tutorial y seguirlo para presentar un producto o sostener una conversación.

Teniendo esto en cuenta, al delimitar el campo de inteligencia artificial y el *Machine Learning* al procesamiento del lenguaje natural, surge una enorme cantidad de aproximaciones y enfoques para enfrentar dicha delimitación. El lenguaje natural suele separarse en sus componentes elementales, los cuales se abordan particularmente con herramientas *ad hoc*. De este modo, Le y Mikolov [2] proponen los “vectores de párrafos”

como una alternativa a la “bolsa de palabras” (*bag of words*). Por otro lado, Ali, Chali y Hasan [3] presentan un generador automático de preguntas que funciona según el paradigma de aprendizaje “no supervisado” mediante un *dataset* previamente construido y una serie de módulos de análisis semántico y sintáctico. Sin embargo, este enfoque de estado del arte ha sido abordado igualmente por desarrollos más recientes; tal es el caso del NLU o comprensión del lenguaje natural, propuesto, entre otros, por Mazidi y Tarau [4], según ellos, obteniendo un 71% de preguntas aceptables en comparación con otros modelos de NLP en este campo. No obstante, es necesario resaltar que estos enfoques no son necesariamente similares o conexos, sino que cada uno resuelve un problema delimitado dentro de su ambiente de acción. Esto es lo que Qianli Liao y Tomaso Poggio denominan “*non-human-like learning*” [1].

## Planteamiento del problema

Según lo anterior, sería útil analizar los procesos cognitivos humanos y, en particular, aquellos referentes al lenguaje. Es probable que lo más parecido al NLP informático, en el campo de los seres humanos, sea el aprendizaje de lenguas extranjeras, puesto que, en cierta forma, el lenguaje natural es a un agente artificial lo que una lengua extranjera es a un ser humano, como se expondrá más adelante en este artículo de forma contrastiva. Igualmente, en el campo de los seres humanos también existen paradigmas para enfrentar estos desafíos, solo que en pedagogía se les llama metodologías o enfoques.

Actualmente, el enfoque más aceptado en el contexto occidental para el aprendizaje, enseñanza y evaluación de lenguas extranjeras es el Marco Común Europeo de Referencia para las Lenguas, creado en el 2001 por el Consejo Europeo y sometido a una actualización de descriptores en el 2018 [5], [6]. El enfoque planteado por el Consejo de Europa propende por una aproximación orientada a la acción en las lenguas que hace que los estudiantes se conviertan en usuarios de la lengua objetivo dentro de una acción lingüística concreta, basándose ampliamente en el *Task-Based Learning* o aprendizaje basado en tareas.

Es de resaltar, entonces, el paralelismo entre el NLP y el aprendizaje de lenguas extranjeras en cuanto a que en ambos se intenta responder de la manera más eficiente posible a la culminación adecuada de una tarea, en este caso, una tarea comunicativa.

Sin embargo, las tareas comunicativas son muy diversas y sería muy dispendioso hacer un comparativo general del aprendizaje humano y el procesamiento del lenguaje natural en cada una de ellas. Por este motivo, se ha decidido delimitar el análisis correlacional de este estudio a un caso concreto: la narración de un partido de fútbol en un juego de video. Esta tarea, que en principio parece compleja, puede desglosarse en paquetes lexicales orientados a eventos desencadenados por un módulo analizador de interacciones, como lo describen Tankaa, Noda y Frank [7]. Este esquema no es propiamente aprendizaje de máquinas, pero corresponde a una aproximación temprana del *Natural Language Generation* utilizado actualmente, el cual busca convertir secuencias de conjuntos de datos en lenguaje natural comprensible [8].

No obstante, lo anterior se limita a la expresión, pero las lenguas también contienen habilidades de comprensión. Por lo tanto, utilizando el mismo escenario de la narración de un partido de fútbol mediante un juego de video, se puede analizar la asimilación del mismo mediante la comparación entre la capacidad de las máquinas y la de las personas para identificar la información lingüística producida por los métodos descritos en el párrafo anterior. A medida que se realiza este acercamiento, pueden analizarse contrastivamente las posibilidades educativas de dichas tecnologías en relación con trabajos realizados anteriormente en la materia, como, por ejemplo, lo expuesto por Shadieff Wu, Sun y Huang [9], quienes no solo demuestran la utilidad del *Speech to Text Recognition* (STR) en ámbitos educativos interculturales, sino que, además, notan cómo estos sistemas tienden a tener una mayor eficiencia en la transcripción de lenguas de la familia indoeuropea.

## Oportunidad

Teniendo en cuenta lo anterior, podría plantearse el aprendizaje humano de lenguas extranjeras mediante una técnica basada en fraseología (expresiones preestablecidas) y eventos que potencien la metodología de aprendizaje por tareas y acciones comunicativas, promovida por el Marco Común Europeo. Para poder realizar el contraste, en este trabajo se propone como tarea comunicativa la narración de un partido de fútbol. Una de las maneras de realizar esto sería una aplicación que familiarice a los usuarios con una serie de expresiones en la lengua objetivo desencadenadas por una acción concreta, construyendo así su capacidad discursiva dentro de esta tarea delimitada mediante la interacción.

El lenguaje basado en fraseología, que es esencial para la técnica propuesta, se compone, en el caso del inglés, de colocaciones, verbos preposicionales, frases idiomáticas y expresiones prefabricadas. Esto constituye un porcentaje relevante del lenguaje natural y, por lo tanto, debe ser tenido en cuenta en el aprendizaje de lenguas extranjeras.

Dicha aplicación consiste en un juego serio [10], es decir, un juego con fines educativos mediante el cual un determinado usuario interactúa con una aplicación informática que le presenta, de modo aleatorio, diversos eventos en un partido de fútbol simulado mediante un juego de video. Progresivamente, los usuarios asimilarían este lenguaje, relacionándolo con eventos concretos en el partido de fútbol. Finalmente, luego de cierto periodo de interacción con la aplicación, los usuarios del programa podrían, en teoría, desarrollar la capacidad para narrar un partido de fútbol de forma fluida en una lengua extranjera, pues habrían desarrollado la capacidad para relacionar el corpus de expresiones prefabricadas con los eventos del juego, de forma similar a como lo hace un programa informático. A esta técnica de aprendizaje podría llamarse aprendizaje de lenguas orientado a eventos.

## Objetivo general

Desarrollar una metodología que posibilite la creación de juegos serios en el enfoque de aprendizaje de idiomas *Task-Based Learning* a través de la expresión lingüística orientada a eventos y el procesamiento del lenguaje natural.

## Objetivos específicos

- Analizar la relación entre el Procesamiento del Lenguaje Natural y el aprendizaje de lenguas extranjeras. (OE1)
- Comparar diferentes servicios cognitivos de procesamiento del lenguaje natural y sus posibilidades educativas en el campo de las lenguas extranjeras. (OE2)
- Definir una serie determinada de etapas que permitan el desarrollo de juegos serios para el enfoque educativo TBL. (OE3)
- Desarrollar un software demostrativo que permita implementar las etapas de la metodología propuesta. (OE4)
- Evaluar el alcance de la metodología propuesta según las capacidades de los servicios cognitivos analizando su factibilidad en el enfoque TBL. (OE5)

## II. Marco teórico

### Revisión de la literatura

El marco teórico de este trabajo gira en torno a tres ejes temáticos: la inteligencia artificial y, específicamente, el aprendizaje de máquinas, el aprendizaje de lenguas extranjeras y la interacción entre los seres humanos y las máquinas con propósitos educativos.

Estos tres ejes descritos presentan algunas subcategorías de interés. En primer lugar, se ha decidido delimitar el aspecto de la inteligencia artificial y el aprendizaje de máquinas al campo del procesamiento del lenguaje natural o NLP. Dentro del procesamiento del lenguaje natural se destacan categorías como la comprensión del lenguaje, la generación del lenguaje y la traducción automática. En segundo lugar,

respecto al aprendizaje de lenguas extranjeras, se han identificado dos categorías. La primera de ellas es el aprendizaje de lenguas para propósitos generales, para lo cual este trabajo se apoya ampliamente en el Marco Europeo de Referencia (CEFR) [5] y su actualización de descriptores [6]. Pero, además, se ha identificado como categoría relevante el lenguaje prefabricado [11] y sus posibles usos en el aprendizaje de idiomas. En tercer lugar, se ha subdividido la interacción humano-máquina en dos categorías: la interacción *per se* [12] y la interacción en entornos de "juegos serios" [10], es decir, juegos creados con fines que no son meramente de entretenimiento, sino que tienen, además, propósitos educativos. Estos tres aspectos comprenden los ejes temáticos y sus subdivisiones en este trabajo.

Adicionalmente, para una búsqueda más eficiente, se emplearon combinaciones con términos relacionados o derivados como "*Natural Language*", "*Paragraph Vectors*", "*State of the Art*", entre otros (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Reglas de búsqueda Booleana por bases de datos bibliográficas.

Base de datos	Regla de búsqueda	Resultado (Los respectivos autores se encuentran en las referencias de este trabajo)
ACM Digital Library	Title: Improving NLP AND Paragraph Vectors	Improving Language Estimation with the Paragraph Vector Model for Ad-hoc Retrieval [13]
	(Google Scholar) NLP in Google AND "Distributed Representations of Sentences"	Distributed Representations of Sentences and Documents [2]
	"Distributed Representations of Sentences"	Frozen Sentences of Portuguese: Formal Descriptions for NLP [11]
	"Distributed Representations of Sentences"	Wiktionary and NLP: Improving synonymy networks [14]
		Language Models as Representations for Weakly-Supervised NLP Tasks [15]

Base de datos	Regla de búsqueda	Resultado (Los respectivos autores se encuentran en las referencias de este trabajo)	Base de datos	Regla de búsqueda	Resultado (Los respectivos autores se encuentran en las referencias de este trabajo)				
ACM Digital Library	"Distributed Representations of Sentences"	T8: Predicting Structures in NLP: Constrained Conditional Models and Integer Linear Programming NLP [16]	Arxiv.org	abstract=Natural language; AND abstract=Speech Understanding	Off-the-shelf deep learning is not enough: parsimony, Bayes and causality [26]				
		IR meets NLP: On the Semantic Similarity between Subject-Verb-Object Phrases [17]			Speech to Text Adaptation: Towards an Efficient Cross-Modal Distillation [27]				
	"Neural Machine Translation" (Title) AND "Open Source Toolkit" (Title)	OpenNMT:Open-Source Toolkit for Neural Machine Translation [18]		abstract=Natural language; AND abstract=Speech Understanding	History-Aware Question Answering in a Blocks World Dialogue System [28]				
		Just ASK: Building an Architecture for Extensible Self-Service Spoken Language Understanding [19]			Noise-robust Named Entity Understanding for Virtual Assistants [29]				
Arxiv.org	"Spoken Language Understanding" (Title) AND Machine Learning (Abstract)	Snips Voice Platform: an embedded Spoken Language Understanding system for private-by-design voice interfaces [20]	IEEE Xplore	"Natural Language Processing" (All Metadata) AND "NLP Curves" (All Metadata)	Jumping NLP Curves: A Review of Natural Language Processing Research [30]				
		An analysis of observation length requirements for machine understanding of human behaviors from spoken language [21]			NLP (All Metadata) AND "Data Model" (All Metadata)	Implementing a portable clinical NLP system with a common data model: a Lisp perspective [31]			
		Fast Intent Classification for Spoken Language Understanding. [22]			Automatic Commentary (All Metadata) AND Soccer (All Metadata)	MIKE: An Automatic Commentary System for Soccer [7]			
	"Neural Question Generation" (Title) AND "Machine" (Title) AND Natural Language (Abstract)	Machine Comprehension by Text-to-Text Neural Question Generation [23]		MIT	Concepts for Natural Language AND Interactions AND Platforms	Efficient Grounding of Abstract Spatial Concepts for Natural Language Interaction with Robot Manipulators [32]			
						abstract=Cognitive Services; AND abstract=Speech Understanding	IBM Deep Learning Service [24]	Semantics and Syntax AND state-of-the-art AND Algorithms	Bridging semantics and syntax with graph algorithms — state-of-the-art of extracting biomedical relations [33]
						"State of the Art" (Title) AND "Natural Language" (Title) AND Evaluation (Title)	Survey of the State of the Art in Natural Language Generation: Core tasks, applications and evaluation [8]	MIT Open Access "Machine Learning AND Human-Like Learning"	Human-like Learning: A Research Proposal [1]
	abstract=Natural language; AND abstract=Speech Understanding	CONVO: What does conversational programming need? An exploration of machine learning interface design [25]		Research Gate	"Vocabulary" AND "Learning Curve"	Vocabulary and the Learning Curve [34]			
						"Formulaic Language" AND "Lexical Bundles"	Formulaic language is not all the same: comparing the frequency of idiomatic phrases, collocations, lexical bundles, and phrasal verbs [35]		
Scopus/ Science Direct				"Language Learning" AND "Halliday" (Author)	Towards a language-based theory of learning [36]				

Base de datos	Regla de búsqueda	Resultado (Los respectivos autores se encuentran en las referencias de este trabajo)
Scopus/ Science Direct	"Analysis of the learning curve" AND "foreign language"	Analysis of the learning curve in a foreign language study: The methods development [37]
Springer Link	With all of the words "Translation" AND Title contains "Speech to text recognition"	Applications of speech-to-text recognition and computer aided translation for facilitating cross-cultural learning through a learning activity: issues and their solutions [9]
	With all of the words "Task Based" AND Title contains "New Learning"	Task-Based Team Learning with ICT, Design and Development of New Learning [38]
Springer Link	With all of the words "Speech recognition Natural Language Processing"	Note from the Guest Editors: Special issue on Arabic Natural Language Processing and Speech Recognition: A study of algorithms, resources, tools, techniques, and commercial applications [39]
		Automatic hate speech detection using killer natural language processing optimizing ensemble deep learning approach [40]
		Current trends in multilingual speech processing [41]
		Argument mining based on a structured database and its usage in an intelligent tutoring environment [42]
With all of the words "TBL AND foreign AND language AND learning"	A mobile instructional pervasive game method for language learning [43]	
	The effects of collaborative models in second life on French learning [44]	

Fuente: Elaboración propia (2020)

Para localizar las fuentes se emplearon diversas bases de datos bibliográficas, que, al ser consultadas mediante determinadas reglas, arrojaron los resultados que se indican en la Tabla 1. Sin embargo, es necesario aclarar que

no todas las bases de datos fueron consultadas directamente, puesto que, en algunos casos, se utilizó la herramienta Google Scholar para localizar los artículos. Además, en la Tabla 1 no se relacionan las bases de datos en las cuales se obtuvo un solo resultado, pues estas se especifican en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Artículos recuperados por temática de interés.

Base de datos bibliográfica	Artículo recuperado (Los autores se encuentran en las referencias)	Temática de interés	Ref.
AAAI Publications	SHRDLU: A Game Prototype Inspired by Winograd's Natural Language Understanding Work	Servicios Cognitivos & NLP	[12]
ACM Digital Library	Distributed Representations of Sentences and Documents	Machine Learning	[2]
ACM Digital Library	Frozen Sentences of Portuguese: Formal Descriptions for NLP	Servicios Cognitivos & NLP	[11]
ACM Digital Library	Improving Language Estimation with the Paragraph Vector Model for Ad-hoc Retrieval	Servicios Cognitivos & NLP	[13]
ACM Digital Library	IR meets NLP: On the Semantic Similarity between Subject-Verb-Object Phrases	Servicios Cognitivos & NLP	[17]
ACM Digital Library	Language Models as Representations for Weakly-Supervised NLP Tasks	Servicios Cognitivos & NLP	[15]
ACM Digital Library	T8: Predicting Structures in NLP: Constrained Conditional Models and Integer Linear Programming NLP	Servicios Cognitivos & NLP	[16]
ACM Digital Library	Wiktionary and NLP: Improving Synonymy Networks	Servicios Cognitivos & NLP	[14]
arXiv.org	An analysis of observation length requirements for machine understanding of human behaviors from spoken language	Machine Learning	[21]

Base de datos bibliográfica	Artículo recuperado (Los autores se encuentran en las referencias)	Temática de interés	Ref.
arXiv.org	CONVO: What does conversational programming need? An exploration of machine learning interface design	Machine Learning	[25]
arXiv.org	Fast Intent Classification for Spoken Language Understanding	Servicios Cognitivos & NLP	[22]
arXiv.org	History-Aware Question Answering in a Blocks World Dialogue System	IA	[28]
arXiv.org	IBM Deep Learning Service	Machine Learning	[24]
arXiv.org	Just ASK: Building an Architecture for Extensible Self-Service Spoken Language Understanding	Servicios Cognitivos & NLP	[19]
arXiv.org	Machine Comprehension by Text-to-Text Neural Question Generation	Machine Learning	[23]
arXiv.org	Noise-robust Named Entity Understanding for Virtual Assistants	Servicios Cognitivos & NLP	[29]
arXiv.org	Off-the-shelf deep learning is not enough: parsimony, Bayes and causality	Machine Learning	[26]
arXiv.org	OpenNMT: Open-Source Toolkit for Neural Machine Translation	IA	[18]
arXiv.org	Snips Voice Platform: An Embedded Spoken Language Understanding System for Private-by-Design Voice Interfaces	Servicios Cognitivos & NLP	[20]
arXiv.org	Speech to Text Adaptation: Towards an Efficient Cross-Modal Distillation	Servicios Cognitivos & NLP	[27]
arXiv.org	Survey of the State of the Art in Natural Language Generation: Core tasks, applications and evaluation	IA	[8]

Base de datos bibliográfica	Artículo recuperado (Los autores se encuentran en las referencias)	Temática de interés	Ref.
Brill	French-Speaking Protestants in Canada : Historical Essays	Aprendizaje de Idiomas	[45]
Cuaderno Activa	Aceptación del M-learning: Un Análisis de Sentimientos basado en Minería de Texto	Interacción-Gamificación	[46]
EF	EF English Proficiency Index - A Comprehensive Ranking Of Countries By English Skills.	Aprendizaje de Idiomas	[47]
Eric	E-Task-Based Learning Approach to Enhancing 21st-Century Learning.	TBL	[48]
IEEE Xplore	A Framework for 3D Virtual Game Using MOODLE, SLOODLE and Open Simulator	Metodologías de Desarrollo	[49]
IEEE Xplore	Adaptive Experience Engine for Serious Games	Juegos Serios	[50]
IEEE Xplore	An Innovative Teaching with Serious Games through Virtual Reality Assisted Language Learning	Juegos Serios	[51]
IEEE Xplore	Creative Agents and Triggers (CAT) game design method:	Metodologías de Desarrollo	[52]
IEEE Xplore	Designing an IoT-focused, Multiplayer Serious Game for Industry 4.0 Innovation	Juegos Serios	[53]
IEEE Xplore	Designing educational games: key elements and methodological approach	Metodologías de Desarrollo	[54]
IEEE Xplore	Digital BINGO Game as a Dynamic Assessment in a Reading Instruction for Learning Indonesian as a Foreign Language	Juegos Serios	[55]
IEEE Xplore	Digital Game-Based Learning for Improving Students' Academic Achievement, Learning Motivation, and Willingness to Communicate in an English Course	Juegos Serios	[56]

Base de datos bibliográfica	Artículo recuperado (Los autores se encuentran en las referencias)	Temática de interés	Ref.
IEEE Xplore	Fusing Games Technology and Pedagogy for GamesBased Learning Through a Model Driven Approach	Juegos Serios	[57]
IEEE Xplore	Implementing a portable clinical NLP system with a common data model: a Lisp perspective	Servicios Cognitivos & NLP	[31]
IEEE Xplore	Jumping NLP Curves: A Review of Natural Language Processing Research	Servicios Cognitivos & NLP	[30]
IEEE Xplore	Methodology to construct educational video games in software engineering	Metodologías de Desarrollo	[58]
IEEE Xplore	MIKE: An Automatic Commentary System for Soccer	Servicios Cognitivos & NLP	[7]
IEEE Xplore	SCRUM!: A Board Serious Virtual Game for Teaching the SCRUM Framework	Juegos Serios	[59]
IEEE Xplore	Serious Games Discover Game Refinement Measure	Juegos Serios	[60]
IEEE Xplore	Serious Games in Computer Science Learning Goals	Juegos Serios	[61]
IEEE Xplore	Towards Model-driven Game Engineering for Serious Educational Games: Tailored Use Cases for Game Requirements	Metodologías de Desarrollo	[62]
IJCSE	Natural Language Processing	Servicios Cognitivos & NLP	[63]
Indonesian Journal of Applied Linguistics	Responding to the critics: Implementation of TBLT in Japan	TBL	[64]
MIT Libraries	Efficient Grounding of Abstract Spatial Concepts for Natural Language Interaction with Robot Manipulators	Machine Learning	[32]

Base de datos bibliográfica	Artículo recuperado (Los autores se encuentran en las referencias)	Temática de interés	Ref.
MIT Open Access Articles	Bridging semantics and syntax with graph algorithms —state-of-the-art of extracting biomedical relations	IA	[33]
MIT.edu	Human-like Learning: A Research Proposal	IA	[1]
Council of Europe	Automatic Question Generation from Sentences	Servicios Cognitivos & NLP	[3]
Council of Europe	Common European Framework of Reference for Languages: Companion Volume with New Descriptors	Aprendizaje de Idiomas	[6]
Council of Europe	Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching and Assesment	Aprendizaje de Idiomas	[5]
NIPS Proceedings	Learned in Translation: Contextualized Word Vectors	Servicios Cognitivos & NLP	[65]
Oxford Academic	Legislation by Hypothesis: The Case of Task-Based Instruction	Aprendizaje de Idiomas	[66]
Pearson - Longman	The Practice of English Language Learning	Aprendizaje de Idiomas	[67]
PLoS ONE	An exploration of automated narrative analysis via machine learning	Machine Learning	[68]
Proceedings of the Sixth CLS International Conference clasic 2014	Taking the Critics to Task: The case for Task-Based Teaching	TBL	[69]
Redalyc.org	El programa nacional de bilingüismo: Un estudio exploratorio en el departamento de Antioquia, Colombia.	Aprendizaje de Idiomas	[70]
Research Gate	Design methodology for educational games based on interactive screenplays	Metodologías de Desarrollo	[71]

Base de datos bibliográfica	Artículo recuperado (Los autores se encuentran en las referencias)	Temática de interés	Ref.
Research Gate	Formulaic language is not all the same: comparing the frequency of idiomatic phrases, collocations, lexical bundles, and phrasal verbs	Aprendizaje de Idiomas	[35]
Research Gate	Serious Games for Language Learning: How Much Game, How Much AI?	Juegos Serios	[72]
Research Gate	Serious Games: Review of Methodologies and Games Engines for their Development	Juegos Serios	[73]
Research Gate	Vocabulary and the Learning Curve	Aprendizaje de Idiomas	[34]
Research Square	Embedded Internet of Things Applications of SQLite Based on WinCE Mobile Terminal.	IA	[74]
Scielo.org	Task-Based Language Learning: Old Approach, New Style. A New Lesson to Learn.	TBL	[75]
Science Direct	Towards a language-based theory of learning	Aprendizaje de Idiomas	[36]
Science Direct	An activity theory-based model for serious games analysis	Juegos Serios	[76]
Science without Borders (OA)	Natural Language Processing	Servicios Cognitivos & NLP	[77]
Scopus	Analysis of the learning curve in a foreign language study: The methods development	Aprendizaje de Idiomas	[37]
SERVAL - serveur académique lausannois	Natural Language Processing in Serious Games: A state of the art.	Juegos Serios	[10]
Sinteza	Gamification in Foreign Language Teaching: Do You Kahoot?	Interacción-Gamificación	[78]

Base de datos bibliográfica	Artículo recuperado (Los autores se encuentran en las referencias)	Temática de interés	Ref.
Springer Link	A mobile instructional pervasive game method for language learning	Juegos Serios	[43]
Springer Link	Applications of speech-to-text recognition and computeraided translation for facilitating cross-cultural learning through a learning activity: issues and their solutions	Servicios Cognitivos & NLP	[9]
Springer Link	Argument mining based on a structured database and its usage in an intelligent tutoring environment	IA	[42]
Springer Link	Automatic hate speech detection using killer natural language processing optimizing ensemble deep learning approach	Servicios Cognitivos & NLP	[40]
Springer Link	Chatbot & Cognitive Services – Ein Schritt Richtung Automatisierung im User Help Desk der Schweizerischen Post.	Servicios Cognitivos & NLP	[79]
Springer Link	Current trends in multilingual speech processing	Servicios Cognitivos & NLP	[41]
Springer Link	Note from the Guest Editors: Special issue on Arabic Natural Language Processing and Speech Recognition: A study of algorithms, resources, tools, techniques, and commercial applications	Servicios Cognitivos & NLP	[39]
Springer Link	Reproducing or Recreating Pedagogies? The Journey of Three CSL Teachers' Learning of the Communicative Approach.	Aprendizaje de Idiomas	[80]

Base de datos bibliográfica	Artículo recuperado (Los autores se encuentran en las referencias)	Temática de interés	Ref.
Springer Link	Task-Based Team Learning with ICT, Design and Development of New Learning	TBL	[38]
Springer Link	The effects of collaborative models in second life on French learning	Interacción-Gamificación	[44]
University of North Texas	Infusing NLU into Automatic Question Generation	Servicios Cognitivos & NLP	[4]
VGChartz.com	VGChartz.com	Interacción-Gamificación	[81]

Fuente: Elaboración propia (2021)

En algunos casos, un documento puede aportar contenido relevante para cierta cantidad de variables. Sin embargo, en otros casos determinados documentos se limitan a una sola variable del análisis exploratorio. No obstante, en el caso de la Tabla 2 se han seleccionado las variables más representativas. Por lo tanto, mediante ella es posible determinar de forma cuantitativa y precisa el aporte que cada fuente bibliográfica realiza al cubrir determinado aspecto de las subdivisiones planteadas en este documento de análisis.

## Marco teórico

Se mencionaba anteriormente cómo, en el proceso para que una máquina o agente virtual lograra procesar diferentes aspectos del lenguaje natural, se requería una secuencia de desarrollo que es comparable, en algunos aspectos, al proceso que debe seguir una persona para adquirir y convertirse en "usuario" de una lengua extranjera.

A continuación se profundizará un poco en este aspecto mediante un análisis correlacional de diferentes trabajos académicos, comprendiendo diferentes elementos del aprendizaje de lenguas como la adquisición, el uso y la evaluación, con el objetivo de resaltar las necesidades y los intereses tanto en el campo del procesamiento del lenguaje natural como en el aprendizaje de lenguas

extranjeras, generando un diálogo que permita establecer puentes entre dos áreas que, si bien están vinculadas desde la lingüística, tradicionalmente han seguido caminos divergentes.

## Adquisición de lenguas vs. procesamiento del lenguaje natural

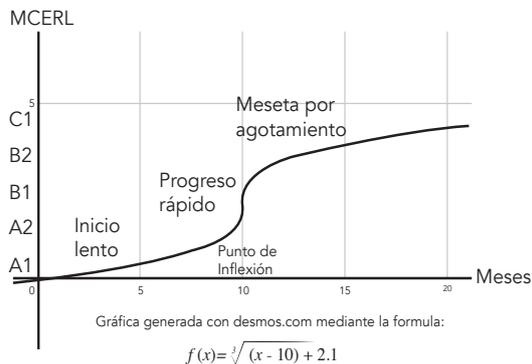
Adquirir una lengua es un proceso largo y dispendioso. Para representar este proceso se utiliza una herramienta denominada curva de aprendizaje. Las curvas de aprendizaje "permiten realizar un acercamiento a la manera como el aprendizaje ocurre" [34], además de una mejor comprensión del orden en el que los conceptos son asimilados. Esta herramienta posibilita realizar esto no solo en el campo del aprendizaje de lenguas, sino en cualquier ámbito del aprendizaje en general.

En cierto momento, autores como Daller, Turlik y Weir [34] y, más recientemente, otros como Mukanova, Berg, Kit, Berg, y Medvedev [37] han realizado trabajos en los que intentaron representar el proceso del aprendizaje de lenguas en una curva de aprendizaje. Es necesario aclarar, en este punto, que no existe un método único para crear las curvas de aprendizaje y "no hay un acuerdo general sobre cómo estas curvas deben ser modeladas" [34].

Según estos autores, la curva de aprendizaje de lenguas extranjeras sigue un patrón de función de raíz cúbica. Se llega a esta premisa teniendo en cuenta que el aprendizaje, en general, comienza con la asimilación de pequeños fragmentos de información que luego se vuelven más complejos. Esta etapa inicial suele ser frustrante para muchas personas y varias de ellas desertan del proceso de aprendizaje. No obstante, aquellos que persisten eventualmente encuentran un cambio que impulsa el desarrollo de las habilidades. Posterior a este cambio, prosigue una etapa de rápido desarrollo que permite llegar a determinado nivel de suficiencia. Una vez se llega a este nivel, ocurre lo que Daller, Turlik y Weir [34] denominan el agotamiento de la función exponencial: Se establece que en el aprendizaje, en general, las mejoras son más difíciles de encontrar a medida que avanza el proceso más

allá de la etapa de rápido desarrollo y estas pueden ser menos evidentes en el aprendizaje posterior que en el anterior, porque las mejoras posteriores son más específicas y de mayor exigencia. Este proceso se ilustra en la Figura 1.

**Figura 1.** Curva de aprendizaje Meses x Niveles MCERL (CEFR en inglés).

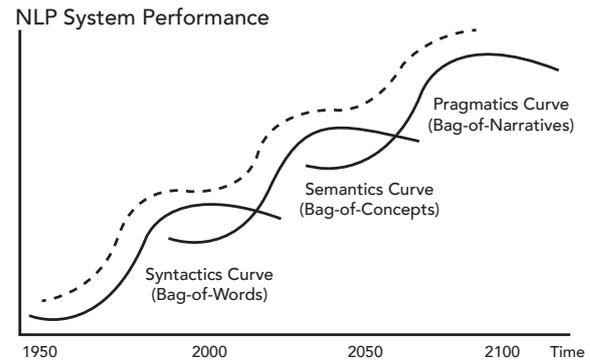


Fuente: Elaboración propia (2020), extrapolar datos de Daller, Turlik y Weir [34].

Por otro lado, en el campo del procesamiento del lenguaje natural no es tan adecuado hablar de una curva de aprendizaje. Es más pertinente hablar de una curva de desarrollo, pues los progresos no son realizados por las máquinas *per se* sino por los avances en la inteligencia artificial que son logrados por sus respectivos desarrolladores.

En este orden de ideas, Cambria y White [30] sugieren una curva de desarrollo semejante a la curva de aprendizaje de lenguas extranjeras, pero discontinua. Cada etapa de esta curva corresponde al progreso de tres técnicas empleadas en el procesamiento del lenguaje natural: la “bolsa de palabras”, “la bolsa de conceptos” y la “bolsa de narrativas”. Cada una de estas corresponde a la capacidad generada en los sistemas informáticos para dar respuesta a diferentes aspectos requeridos para el procesamiento del lenguaje natural. La bolsa de palabras permite dar respuesta a requerimientos sintácticos, la bolsa de conceptos a requerimientos semánticos y la bolsa de narrativas a requerimientos pragmáticos (ver Figura 2).

**Figura 2.** Curvas de desarrollo en NLP.



Fuente: Tomado de [30]

Hoy en día, la mayoría de los sistemas de procesamiento del lenguaje natural y, en particular, los de búsqueda de información funcionan a través de la bolsa de palabras. Una prueba de esto son las palabras clave en los trabajos de investigación de las bases de datos bibliográficas. Sin embargo, progresivamente se han visto avances en la bolsa de conceptos, gracias a desarrollos como los vectores de párrafos [2].

Según Cambria y White [30], la bolsa de narrativas aún no es ampliamente utilizada, pero existen diversos trabajos pioneros que emplean este enfoque. Estos dos autores realizan en su artículo una detallada reseña de algunos de estos trabajos.

En este punto, es conveniente resaltar el paralelismo entre la curva de aprendizaje de lenguas extranjeras y la curva de desarrollo del procesamiento del lenguaje natural (NLP). Basta observar los nuevos descriptores del CEFR [6] en contraste con el trabajo de Cambria y White [30] para subrayar algunas similitudes, entre otras posibles:

- Cambria y White [30] identifican como elementos clave los aspectos sintáctico, semántico y pragmático. El CEFR [5] y su respectiva actualización de descriptores [6] identifican como competencias del usuario de la lengua las competencias lingüística, sociolingüística y pragmática, aclarando que la sintaxis hace parte de la competencia lingüística.

- En ambos trabajos se menciona la importancia del *General Knowledge* o cultura general para el correcto uso de la lengua.
- Así como los sistemas de procesamiento del lenguaje natural comienzan con una “bolsa de palabras” en sus niveles incipientes, el CEFR, en su actualización del 2018, considera un nivel pre-A1 en el que el usuario se caracteriza por poseer, entre otras características, “un repertorio de palabras y expresiones fijas” [6].

### Uso y evaluación de las lenguas extranjeras vs. uso y evaluación del procesamiento del lenguaje natural por parte de las máquinas

El uso y evaluación de las lenguas extranjeras tradicionalmente ha comprendido cuatro habilidades: comprensión oral o escucha, expresión oral o habla, comprensión escrita o lectura y expresión escrita o escritura. Dos de estas habilidades son receptivas (la escucha y la lectura) y dos implican producción (el habla y la escritura). El CEFR retoma estas cuatro habilidades, pero las transversaliza a las competencias lingüística, sociolingüística y pragmática [5]. En la actualización de descriptores del 2018, esta estructura permanece básicamente invariable [6].

Teniendo esto en cuenta, es necesario remarcar que en muchos casos concretos, en el habla, estas actividades no se encuentran separadas sino que se utilizan de manera combinada, es decir, uno puede hablar, escuchar, leer y escribir en una misma tarea comunicativa. Esto ha ocasionado el surgimiento de marcos teóricos alternos. Autores como Michael Halliday, entre otros, han realizado propuestas en este sentido. Por ejemplo, según Halliday [36] es más natural considerar que primero se aprende el lenguaje, luego se aprende a través del lenguaje y, posteriormente, se aprende sobre el lenguaje. Pero estas teorías, aunque aún utilizadas, no han tenido una amplia difusión. Además, su uso en la enseñanza de lenguas presenta poca divulgación en comparación con el enfoque de las cuatro habilidades.

También, para el procesamiento del lenguaje natural, se emplea el enfoque de las cuatro habilidades, pero, al igual que ocurre con la

curva de desarrollo presentada anteriormente, los desarrollos se realizan de forma discontinua, según los requerimientos específicos de cada aplicación. De este modo, según Jain, Kulkarni y Shah [63], para el procesamiento de textos (el equivalente en las máquinas de la comprensión escrita), se usa el LSTM o *Long-Short Term Memory*, un enfoque de redes neuronales que almacena entradas previas del usuario para mejorar el desempeño del procesamiento. Otros acercamientos a este problema son las redes neuronales de secuencia a secuencia y los esquemas de preferencia del usuario, entre otros. En cuanto al procesamiento de la voz (el equivalente de la escucha), se emplean técnicas como el modelado acústico y la clasificación temporal conexionista, entre otras. En cuanto a la expresión, se utilizan técnicas como la gestión de diálogos, resúmenes basados en plantillas, etc.

Todos estos procedimientos permiten a los sistemas afrontar diferentes desafíos que implican procesar el lenguaje natural, pero es necesario subrayar que cada uno de estos modelos opera de forma independiente y especializada en las funciones respectivas para los que son creados, restando un poco de versatilidad en comparación con la forma como las personas utilizan el lenguaje.

### Necesidades e intereses

Inicialmente, los sistemas de procesamiento del lenguaje natural se creaban con el propósito de facilitar la interacción entre los humanos y los computadores. Una muestra de ello es el sistema SHRDLU [12]. Sin embargo, pronto aparecieron otras necesidades más concretas, como el análisis de textos, la traducción automática y asistida, el procesamiento de la voz y la comunicación en los juegos de video.

En cuanto a estos últimos, si bien fueron precursores en la incorporación de diálogos y lenguaje natural en la interacción humano-máquina, muchos de ellos aún emplean diálogos pregrabados. Una excepción notable ocurre, particularmente, con la aparición del concepto “juego serio”. Un juego serio es un juego de video diseñado con un propósito diferente al del entretenimiento puro. Picca,

Jaccard y Eberlé [10] realizan un análisis de algunos juegos serios, las técnicas de inteligencia artificial que emplean y las posibilidades del procesamiento del lenguaje natural en ellos. Se destaca, entre estos, *Eveil-3D (Environnement Virtuel pour l'Enseignement Immersif des Langues)*, un juego de video diseñado para aprender alemán o francés interactuando en un ambiente tridimensional en la catedral de Strasbourg. El juego utiliza un algoritmo denominado MAP (*Maximization A posteriori*) y EM (*Expectation Maximization*) para interpretar el habla de los participantes. Sin embargo, emplea un enfoque pedagógico e interfaz de usuario diferentes al programa que se propone en este trabajo.

En vista de los ejemplos presentados por Picca, Jaccard y Eberlé [10], es necesario considerar que estos juegos serios aún no están ampliamente difundidos en la enseñanza de lenguas extranjeras. Además, teniendo en cuenta las posibilidades que estos juegos representan en cuanto a la interacción, podrían posibilitar que la curva de aprendizaje de las lenguas extranjeras sea más empinada, es decir, presente un desarrollo más eficiente.

### Task-Based Learning

El *Task-Based Learning* (TBL), también conocido como *Task-Based Instruction* (TBI) o *Task-Based Language Teaching* (TBLT), que en español podría traducirse como 'aprendizaje basado en tareas', es un enfoque (no un método) que ha marcado un hito en la enseñanza de lenguas extranjeras. Su éxito ha sido tal que, al crear el Marco Común Europeo de Referencia para las Lenguas (MCERL o CEFR en inglés), se optó por tomarlo como base para el enfoque orientado a la acción. Según el CEFR, "la comunicación y el aprendizaje suponen la realización de tareas que no son sólo de carácter lingüístico, aunque conlleven actividades de lengua y requieran de la competencia comunicativa del individuo" [5].

Sin embargo, este enfoque no ha estado exento de polémica. Según Ellis [69], el TBL ha sido "sujeto de críticas considerables". En el 2018, Justin Harris realizó una recolección de opiniones

de docentes de inglés del Japón que habían sido capacitados en el TBL y se obtuvieron varios cuestionamientos, algunos de los cuales giraban en torno a la información suministrada en la lengua objeto. A este elemento se le conoce en el campo de la pedagogía de lenguas extranjeras y, concretamente, en el TBL como "input". En una crítica al TBL, Swan [66] cuestiona la eficiencia de este enfoque en torno al "input" que se brinda a los estudiantes. Según Swan, entre otros aspectos, "el TBI tiene menos tiempo por hora de clase para nuevo 'input' lingüístico que un curso convencional con una batería de material de lectura y escucha" [66].

El TBL requiere que el material utilizado durante la fase de "input" sea material auténtico, es decir, creado con propósitos comunicativos reales. Frecuentemente se utiliza en este enfoque música, videos o películas; pero pocas veces se utilizan videojuegos, de los cuales muchas veces suele desestimarse su potencial formativo, tanto de los "juegos serios" como de los de entretenimiento. Una prueba de esto puede obtenerse al analizar la base de datos de ventas de juegos de video del sitio VGChartz.com. Según esta base de datos, dentro del mercado de los juegos de video, el género educativo es uno de los menos vendidos, pero, por otro lado, los juegos de video de deportes figuran entre los más vendidos [81].

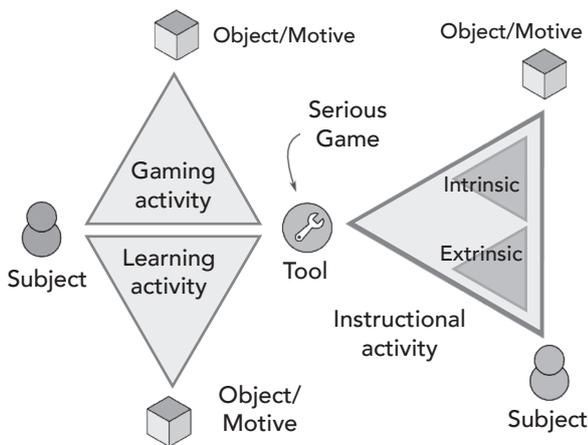
Podría decirse que ignorar el potencial de los videojuegos en el campo educativo en general y, en particular, en el de las lenguas extranjeras es altamente cuestionable. Sin embargo, esto ocurre en muchas ocasiones por el desconocimiento de los avances en este campo del desarrollo informático. Gracias a la inteligencia artificial, el aprendizaje de máquinas y, concretamente, al *Natural Language Processing*, los videojuegos podrían convertirse en una herramienta que proporcione técnicas más eficientes de aprendizaje. Aun así, para lograr esto es necesario desdibujar las fronteras que enmarcan al **software** educativo como "juego serio" y relacionarlo con géneros más vendidos en el sector del entretenimiento, como el de los deportes electrónicos.

### III. Metodología

Es posible adaptar la metodología de desarrollo de juegos serios, *Activity Theory-based Model of Serious Games (ATMSG)*, al enfoque TBL. La metodología ATMSG permite el desarrollo de juegos serios desde un enfoque que tiene en cuenta las interrelaciones entre lo didáctico y lo técnico. La teoría de las actividades es un campo de la psicología en la que se indaga respecto a las prácticas humanas y al desarrollo que se obtiene a partir de estas.

La figura 3 ilustra los elementos que componen un proyecto de la metodología ATMSG.

**Figura 3.** Metodología ATMSG.



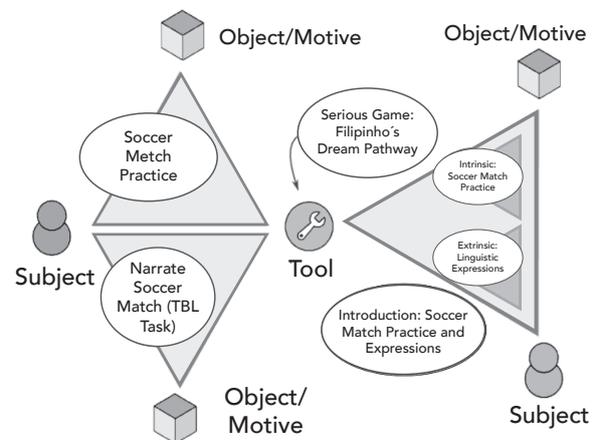
Fuente: Tomado y adaptado de [76]

Si bien la representación anterior parece sencilla, desarrollar juegos serios mediante esta metodología implica una serie de etapas, las cuales se exponen más adelante. Antes de esto, es necesario adaptar el diagrama anterior según las características del proyecto que se quiere realizar;

por lo tanto, a continuación se presenta el mismo gráfico con las respectivas adaptaciones, siendo la tarea comunicativa narrar un partido de fútbol en inglés (ver Figura 4). En esta figura es posible evidenciar los diferentes elementos propuestos por la metodología ATMSG en el marco de la propuesta de este artículo, comprendiendo aspectos como la actividad de juego, la actividad de aprendizaje y el juego serio per se. En la figura puede visualizarse el juego en concreto (Felipinho's Dream Pathway) y sus componentes ATMSG.

Este es el prototipo de juego que se propone desarrollar en este artículo.

**Figura 4.** Metodología ATMSG adaptada.



Fuente: Elaboración propia a partir de [68]

Al desarrollar juegos serios mediante la metodología ATMSG adaptada, debe seguirse una serie de pasos, los cuales pueden adaptarse dependiendo de las características del proyecto. Para este caso concreto, se toma como referencia el artículo [76]. En este modelo se proponen 4 pasos, descritos en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Etapas para el desarrollo del juego serio Felipinho's Dream Pathway. Metodología ATMSG Adaptada.

Paso	Actividad	Descripción
<b>Paso 1</b>	Descripción de las actividades	En el primer paso, el desarrollador describe las principales actividades involucradas en el sistema de actividades. Esto se realiza mediante tablas de tres columnas. La primera columna corresponde al nombre de la actividad, la segunda columna relaciona el sujeto que desarrolla la actividad y, finalmente, la tercera columna contiene una descripción breve de la actividad. En este caso, la actividad debe ser una tarea comunicativa auténtica, es decir, basada en una actividad de la vida real. El lenguaje debe ser igualmente tomado o adaptado de una fuente real y, preferiblemente, crear un corpus lingüístico <i>ad hoc</i> con las respectivas expresiones.
<b>Paso 2</b>	Secuencia lógica del juego	Mediante un diagrama de actividades UML, se realiza una interrelación de los elementos lógicos del juego.  Para este diagrama, es conveniente un análisis desde la perspectiva de lo que realizaría secuencialmente la persona que utiliza el juego o los elementos que el juego presenta progresivamente al usuario. Uno de estos elementos sería, indiscutiblemente, el reconocimiento de voz, el cual haría posible la potencialización del TBL mediante el procesamiento del lenguaje natural (NLP).

Paso	Actividad	Descripción
<b>Paso 3</b>	Elementos del juego serio	En esta etapa, deben identificarse las acciones, las herramientas y los objetivos.  Para esto, se define una matriz en la que se presentan relacionadamente los siguientes componentes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El juego</li> <li>• El aprendizaje esperado</li> <li>• La actividad instruccional intrínseca y extrínseca</li> </ul> Para cada uno de estos elementos, es necesario especificar las acciones, las herramientas y los objetivos.
<b>Paso 4</b>	Detalles de la implementación	En este paso, es necesario tomar cada uno de los bloques del diagrama de actividades UML del paso 2 y explicarlo teniendo en cuenta cada uno de los elementos que se mencionan a continuación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relación de la actividad respecto al juego</li> <li>• Relación de la actividad frente al aprendizaje</li> <li>• Relación de la actividad frente a la instrucción intrínseca y extrínseca</li> </ul> Observación: En algunos casos, algunas actividades del diagrama no tienen necesariamente que completar cada uno de estos elementos, pero sí deben relacionarse por lo menos con uno de ellos.

Fuente: *Elaboración propia teniendo en cuenta [76]*

Al implementar esta secuencia de pasos, es posible estructurar un juego serio mediante la metodología ATMSG compatible con el enfoque de enseñanza de idiomas TBL.

## IV. Conclusiones

Como se evidenció a partir de diversos autores, uno de los elementos que requiere mayor atención en el *Task-Based Learning* es la información que se le entrega al estudiante como "input". Esta información, necesariamente, debe cumplir determinadas características para permanecer compatible con dicho enfoque. Una de las más importantes es que debe ser material auténtico, con pocas adaptaciones.

Por este motivo, en este artículo se propone una aplicación a modo de juego serio que brinde "input auténtico" de una manera más estructurada, permitiendo a los estudiantes la asimilación del contenido fraseológico que posibilita, en este caso, narrar un partido de fútbol, logrando trascender la delimitación entre los juegos serios, que no son muy difundidos, y los juegos de entretenimiento, que son ampliamente difundidos pero que no suelen incluirse en los programas de contextos formativos como, por ejemplo, ciertos espacios formales de aprendizaje de idiomas.

A partir del desarrollo de una aplicación de *software* con este enfoque metodológico, podrían establecerse interrelaciones entre el *Natural Language Processing* y el aprendizaje de lenguas extranjeras, con el fin de plantear una técnica de expresión lingüística orientada a eventos, que brinde una aproximación al *Task-Based Learning* más accesible para aquellos estudiantes que carecen de los conocimientos lingüísticos previos.

## V. Trabajo futuro

El enfoque metodológico presentado en este trabajo abre una amplia gama de posibilidades para el desarrollo de juegos serios compatibles con el *Task-Based Learning*. Si bien, en este caso, se ha optado por elegir la narración de un partido de fútbol como *Task* y como metáfora para el juego serio, hay muchas otras tareas comunicativas que pueden llevarse a cabo mediante frases preestablecidas desencadenadas por eventos, las cuales van desde interactuar en un taxi hasta presentar un evento con una agenda preestablecida.

## VI. Referencias

- [1] Q. Liao y T. Poggio, "Human-like Learning: A Research Proposal". Center for Brains, Minds and Machines, 22 de septiembre de 2017 [En línea]. Disponible en: [https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/111654/humanlikelearning\\_ver08.pdf?sequence=1](https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/111654/humanlikelearning_ver08.pdf?sequence=1)
- [2] Q. Le y T. Mikolov, "Distributed Representations of Sentences and Documents", en Proceedings of the 31st International Conference on International Conference on Machine Learning, Beijing, CH, pp. 1188-1196, junio de 2014 [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3044805.3045025>
- [3] H. Ali, Y. Chali y S. A. Hasan, "Automatic Question Generation from Sentences" en 17th Conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN), Montreal, CA, julio de 2010 [En línea]. Disponible en: <https://aclanthology.org/2010.jeptalnrecital-court.36.pdf>
- [4] K. Mazidi y P. Tarau, "Infusing NLU into Automatic Question Generation", en Proceedings of The 9th International Natural Language Generation conference, Edinburgh, UK, pp. 51-60, septiembre de 2016 [En línea]. Disponible en: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc993372/>
- [5] Council of Europe, *Common European framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001 [En línea]. Disponible en: <https://rm.coe.int/16802fc1bf>
- [6] Council of Europe, *Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment. Companion Volume with New Descriptors*. Strasbourg.: Council of Europe, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://rm.coe.int/cefr-companion-volume-with-new-descriptors-2018/1680787989>
- [7] K. Tanaka, H. Nakashima, I. Noda, K. Hasida, I. Frank y H. Matsubara, "MIKE: an automatic commentary system for soccer", en Proceedings International Conference on Multi Agent Systems, Paris, FR, pp. 285-292, julio de 1998 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ICMAS.1998.699067>
- [8] A. Gatt y E. Krahmer, "Survey of the State of the Art in Natural Language Generation: Core tasks, applications and evaluation", 1703.09902v1, 29 de marzo de 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.09902>

- [9] R. Shadiev, T. T. Wu, A. Sun y Y. M. Huang, "Applications of speech-to-text recognition and computer-aided translation for facilitating cross-cultural learning through a learning activity: issues and their solutions", *Education Tech Research Dev*, vol. 66, pp. 191-214, diciembre de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11423-017-9556-8>
- [10] D. Picca, D. Jaccard y G. Eberlé, "Natural Language Processing in Serious Games: A state of the art", *International Journal of Serious Games*, vol. 2, no. 3, pp. 77-97, octubre de 2015 [En línea]. Disponible en: [https://serval.unil.ch/notice/serval:BIB\\_E98818CE3DFD](https://serval.unil.ch/notice/serval:BIB_E98818CE3DFD)
- [11] J. Baptista, A. Correia y G. Fernandes, "Frozen Sentences of Portuguese: formal descriptions for NLP", en Proceedings of the Workshop on Multiword Expressions: Integrating Processing, Barcelona, SP, pp. 72-79, julio de 2004 [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/1613186.1613196>
- [12] S. Ontañón, "SHRDLU: A Game Prototype Inspired by Winograd's Natural Language Understanding Work", en Proceedings of the Fourteenth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference, Edmonton, CA, pp. 268-270, noviembre de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://www.aaai.org/ocs/index.php/AIIDE/AIIDE18/paper/viewPaper/18081>
- [13] Q. Ai, L. Yang, J. Guo y W. B. Croft, "Improving Language Estimation with the Paragraph Vector Model for Ad-hoc Retrieval", en Proceedings of the 39th International ACM SIGIR conference on Research and Development in Information Retrieval, Pisa, IT, pp. 869-872, julio de 2016 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/2911451.2914688>
- [14] E. Navarro, F. Sajous, B. Gaume, L. Prévot, H. ShuKai, K. Tzu-Yi, P. Magistry y H. Chu-Ren, "Wiktionary and NLP: Improving synonymy networks" en Proceedings of the 2009 Workshop on The People's Web Meets NLP: Collaboratively Constructed Semantic Resources, Suntec, SN, agosto de 2009 [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/1699765.1699768>
- [15] F. Huang, A. Yates, A. Ahuja y D. Downey, "Language Models as Representations for Weakly-Supervised NLP Tasks", en Proceedings of the Fifteenth Conference on Computational Natural Language Learning, Portland, USA, pp. 125-134, junio de 2011 [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/2018936.2018951>
- [16] D. Goldwasser, V. Srikumar y D. Roth, "T8: Predicting Structures in NLP: Constrained Conditional Models and Integer Linear Programming NLP", en Proceedings of the 2012 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies: Tutorials, Montreal, CA, pp. 1-4, junio de 2012 [En línea]. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/2386936.2386944>
- [17] D. Milajevs, M. Sadrzadeh y T. Roelleke, "IR meets NLP: On the Semantic Similarity between Subject-Verb-Object Phrases", en Proceedings of the 2015 International Conference on The Theory of Information Retrieval, Northampton, USA, pp. 231-240, septiembre de 2015 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/2808194.2809448>
- [18] G. Klein, Y. Kim, Y. Deng, J. Senellart y A. M. Rush, "OpenNMT: Open-Source Toolkit for Neural Machine Translation", 1701.02810v2, 6 de marzo de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1701.02810>
- [19] A. Kumar, A. Gupta, J. Chan, S. Tucker, B. Hoffmeister, M. Dreyer, S. Peshterliev, A. Gandhe, D. Filiminov, A. Rastrow, C. Monson y A. Kumar, "Just ASK: Building an Architecture for Extensible Self-Service Spoken Language Understanding", 1711.00549v4, 2 de marzo de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1711.00549>
- [20] A. Coucke, A. Saade, A. Ball, T. Bluche, A. Caulier, D. Leroy, C. Doumouro, T. Gisselbrecht, F. Caltagirone, T. Lavril, M. Primet y J. Dureau, "Snips Voice Platform: An Embedded Spoken Language Understanding System for Private-by-Design Voice Interfaces", 1805.10190v3, 6 de diciembre de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1805.10190>
- [21] S. N. Chakravarthula, B. Baucom, S. Narayanan y P. Georgiou, "An analysis of observation length requirements for machine understanding of human behaviors from spoken language", 1911.09515v3, 26 de agosto de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1911.09515>
- [22] A. Tyagi, V. Sharma, R. Gupta, L. Samson, N. Zhuang, Z. Wang y B. Campbell, "Fast Intent Classification for Spoken Language Understanding", 1912.01728v2, 14 de febrero de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.01728>

- [23] X. Yuan, T. Wang, C. Gulcehre, A. Sordoni, P. Bachman, S. Subramanian, S. Zhang y A. Trischler, "Machine Comprehension by Text-to-Text Neural Question Generation", 1705.02012v2, 15 de mayo de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.02012>
- [24] B. Bhattacharjee, S. Boag, C. Doshi, P. Dube, B. Herta, V. Ishakian, K. R. Jayaram, R. Khalaf, A. Krishna, Y. B. Li, V. Muthusamy, R. Puri, Y. Ren, F. Rosenberg, S. R. Seelam, Y. Wang, J. M. Zhang y L. Zhang, "IBM Deep Learning Service", 1709.05871v1, 18 de septiembre de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1709.05871>
- [25] J. Van Brummelen, K. Weng, P. Lin y C. Yeo, "Convo: What does conversational programming need? An exploration of machine learning interface design", 2003.01318v1, 3 de marzo de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.01318>
- [26] R. K. Vasudevan, M. Ziatdinov, L. Vlcek y S. V. Kalinin, "Off-the-shelf deep learning is not enough: parsimony, Bayes and causality", 2005.01557v1, 4 de mayo de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.01557>
- [27] W. I. Cho, D. Kwak, J. W. Yoon y N. S. Kim, "Speech to Text Adaptation: Towards an Efficient Cross-Modal Distillation", 2005.08213v2, 8 de agosto de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.08213>
- [28] B. Kane, G. Platonov y L. K. Schubert, "History-Aware Question Answering in a Blocks World Dialogue System", 2005.12501v1, 26 de mayo de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.12501>
- [29] D. Muralidharan, J. R. A. Moniz, S. Gao, X. Yang, J. Kao, S. Pulman, A. Kothari, R. Shen, Y. Pan, V. Kaul, M. S. Ibrahim, G. Xiang, N. Dun, Y. Zhou, A. O, Y. Zhang, P. Chitkara, X. Wang, A. Patel, K. Tayal, R. Zheng, P. Grasch, J. D. Williams y L. Li, "Noise Robust Named Entity Understanding for Voice Assistants", 2005.14408v3, 10 de agosto de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14408>
- [30] E. Cambria y B. White, "Jumping NLP Curves: A Review of Natural Language Processing Research", *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 9, no. 2, pp. 48-57, mayo de 2014 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/MCI.2014.2307227>
- [31] Y. Luo y P. Szolovits, "Implementing a Portable Clinical NLP System with a Common Data Model: a Lisp Perspective", en 2018 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), pp. 461-466, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/BIBM.2018.8621521>
- [32] R. Paul, J. Arkin, N. Roy y T. M. Howard, "Efficient Grounding of Abstract Spatial Concepts for Natural Language Interaction with Robot Manipulators". Michigan: Robotics: Science and Systems Foundation, 2016 [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1721.1/116438>
- [33] Y. Luo, O. Uzuner y P. Szolovits, "Bridging semantics and syntax with graph algorithms-state-of-the-art of extracting biomedical relations", *Briefings in Bioinformatics*, vol. 18, no. 1, pp. 160-178, enero de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/bib/bbw001>
- [34] M. Daller, J. Turlík y I. Weir, "Vocabulary acquisition and the learning curve". Enero de 2013 [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/270883671>
- [35] L. Vilkaitė, "Formulaic language is not all the same: comparing the frequency of idiomatic phrases, collocations, lexical bundles, and phrasal verbs", *Taikomoji Kalbotyra*, no. 8, pp. 28-54, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15388/TK.2016.17505>
- [36] M. A. K. Halliday, "Towards a language-based theory of learning" *Linguistics and Education*, vol. 5, no. 2, pp. 93-116, 1993 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0898-5898\(93\)90026-7](https://doi.org/10.1016/0898-5898(93)90026-7)
- [37] Z. A. Mukanova, D. B. Berg, M. Kit, E. B. Berg y A. N. Medvedev, "Analysis of the learning curve in a foreign language study: The methods development", en AIP Conference Proceedings 2186, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/1.5137952>
- [38] T. J. van Weert y A. Pilot, "Task-Based Team Learning with ICT, Design and Development of New Learning", *Education and Information Technologies*, no. 8, pp. 195-214, 2003 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1024562515675>
- [39] M. A. M. Abushariah, A. Neustein y B. H. Hammo, "Note from the Guest Editors: Special issue on Arabic Natural Language Processing and Speech Recognition: A study of algorithms, resources, tools, techniques, and commercial applications", *International Journal of Speech Technology*, no. 19, pp. 175-176, 2016 [En línea]. <https://doi.org/10.1007/s10772-016-9344-6>

- [40] Z. Al-Makhadmeh y A. Tolba, "Automatic hate speech detection using killer natural language processing optimizing ensemble deep learning approach", *Computing*, no. 102, pp. 501-522, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00607-019-00745-0>
- [41] H. Bourlard, J. Dines, M. Magimai-Doss, P. N. Garner, D. Imseng, P. Motlicek, H. Liang, L. Saheer y F. Valente, "Current trends in multilingual speech processing", *Sadhana*, no. 36, pp. 885-915, 2011 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12046-011-0050-4>
- [42] S. Abbas y H. Sawamura, "Argument mining based on a structured database and its usage in an intelligent tutoring environment", *Knowledge and Information Systems*, no. 30, pp. 213-246, 2012 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10115-010-0371-3>
- [43] C. Chang, J.-L. Shih y C.-K. Chang, "A mobile instructional pervasive game method for language learning", *Universal Access in the Information Society*, no. 16, pp. 653-665, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10209-016-0496-6>
- [44] I. Y. T. Hsiao, S. J. H. Yang y C. Chia-Jui, "The effects of collaborative models in second life on French learning", *Educational Technology Research and Development*, no. 63, pp. 645-670, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9379-4>
- [45] J. Zuidema, *French-Speaking Protestants in Canada: Historical Essays*. Leiden, Netherlands: Brill NV, 2011.
- [46] V.D. Gil Vera y C. Quintero López, "Aceptación del M-learning: Un Análisis de Sentimientos basado en Minería de Texto" *Cuaderno Activa*, vol. 11, no. 1, pp. 45-50, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.53995/20278101.577>
- [47] "EF English Proficiency Index - A Comprehensive Ranking Of Countries By English Skills", Education First, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://www.ef.com/wwen/epi/>
- [48] A. M. Al Kandari y M. M. Al Qattan, "E-Task-Based Learning Approach to Enhancing 21st-Century Learning Outcomes", *International Journal of Instruction*, vol. 13, no. 1, pp. 551-566, enero de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13136a>
- [49] M. Achiruzaman y Y. Rosmansyah, "A framework for 3D virtual game using MOODLE, SLOODLE and Open Simulator: Case Study: Training of house building data collecting by National Statistical Office (NSO), Government Agency, BPS — Statistics Indonesia", *2016 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, 2016, pp. 1-6 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ICITSI.2016.7858231>
- [50] F. Bellotti, R. Berta, A. de Gloria y L. Primavera, "Adaptive Experience Engine for Serious Games", *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 1, no. 4, pp. 264-280, diciembre de 2009 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2009.2035923>
- [51] S. Khatoony, "An Innovative Teaching with Serious Games through Virtual Reality Assisted Language Learning", en 2019 International Serious Games Symposium (ISGS), pp. 100-108, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ISGS49501.2019.9047018>
- [52] C. Dowd, "Creative Agents and Triggers (CAT) Game Design Method: For Crisis Communication", en 2009 Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications, pp. 215-216, 2009 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/VIS-GAMES.2009.30>
- [53] M. Oliveri, J. B. Hauge, F. Bellotti, R. Berta y A. de Gloria, "Designing an IoT-focused, Multiplayer Serious Game for Industry 4.0 Innovation", en 2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), pp. 1-9, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ICE.2019.8792680>
- [54] R. P. de Lope, N. Medina-Medina, R. Montes Soldado, A. Mora García y F. L. Gutiérrez-Vela, "Designing educational games: Key elements and methodological approach", en 2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games), pp. 63-70, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/VIS-GAMES.2017.8055812>
- [55] M. Mustika, M. L. Sari, C.-T. Kao y J.-S. Heh, "Digital BINGO Game as a Dynamic Assessment in a Reading Instruction for Learning Indonesian as a Foreign Language: A System Architecture", en 2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies, pp. 219-221, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ICALT.2014.233>

- [56] Y.-T. Yeh, H.-T. Hung y Y.-J. Hsu, "Digital Game-Based Learning for Improving Students' Academic Achievement, Learning Motivation, and Willingness to Communicate in an English Course", en 2017 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI), pp. 560-563, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2017.40>
- [57] S. Tang y M. Hanneghan, "Fusing games technology and pedagogy for games-based learning through a model driven approach", en 2011 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering, pp. 380-385, 2011 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/CHUSER.2011.6163756>
- [58] E. M. Jiménez-Hernández, H. Oktaba, M. Piattini, F. F. Díaz-Barriga, A. M. Revillagigedo-Tulais y S. V. Flores-Zarco, "Methodology to Construct Educational Video Games in Software Engineering", en 2016 4th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT), pp. 110-114, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/CONISOFT.2016.25>
- [59] A. D. de Souza, R. Duarte Seabra, J. Marinho Ribeiro y L. E. da S. Rodrigues, "SCRUMI: A Board Serious Virtual Game for Teaching the SCRUM Framework", 2017 IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering Companion (ICSE-C), pp. 319-321, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ICSE-C.2017.124>
- [60] H. Iida, "Serious Games Discover Game Refinement Measure", en 2017 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS), pp. 1-6, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ICECOS.2017.8167112>
- [61] K. Borna y H. M. Rad, "Serious Games in Computer Science Learning Goals", en 2018 2nd National and 1st International Digital Games Research Conference: Trends, Technologies, and Applications (DGRC), pp. 161-166, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/DGRC.2018.8712030>
- [62] K. M. L. Cooper y C. S. Longstreet, "Towards Model-driven Game Engineering for Serious Educational Games: Tailored Use Cases for Game Requirements", en 2012 17th International Conference on Computer Games (CGAMES), pp. 208-212, 2012 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/CGames.2012.6314577>
- [63] A. Jain, G. Kulkarni y V. Shah, "Natural Language Processing", *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 161-167, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i1.161167>
- [64] J. Harris, "Responding to the critics: Implementation of TBLT in Japan" *Indonesian Journal of Applied Linguistics*, vol. 8, no. 1, pp. 139-148, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.17509/ijal.v8i1.11473>
- [65] B. McCann, J. Bradbury, C. Xiong y R. Socher, "Learned in Translation: Contextualized Word Vectors", en 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS), Long Beach, CA, USA, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://papers.nips.cc/paper/7209-learned-in-translation-contextualized-word-vectors>
- [66] M. Swan, "Legislation by Hypothesis: The Case of Task-Based Instruction", *Applied Linguistics*, vol. 26, no. 3, pp. 376-401, septiembre de 2005 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/applin/ami013>
- [67] J. Harmer, *The Practice of English Language Teaching*. New York, USA: Longman, 2001.
- [68] S. Jones, C. Fox, S. Gillam y R. B. Gillam, "An exploration of automated narrative analysis via machine learning", *PLoS ONE*, vol. 14, no. 10, e0224634, octubre de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224634>
- [69] R. Ellis, "Taking the Critics to Task: The Case for Task-Based Teaching", en Proceedings of the Sixth CLS International Conference CLaSIC 2014, pp. 103-117, 2014 [En línea]. Disponible en: [https://fass.nus.edu.sg/cls/wp-content/uploads/sites/32/2020/10/ellis\\_rod.pdf](https://fass.nus.edu.sg/cls/wp-content/uploads/sites/32/2020/10/ellis_rod.pdf)
- [70] D. Correa, J. Usma y J. C. Montoya, "El Programa Nacional de Bilingüismo: Un Estudio Exploratorio en el Departamento de Antioquia, Colombia", *Ikala: Revista de Lenguaje y Cultura*, vol. 19, no. 1, pp. 101-116, enero de 2014 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ikala/article/view/21146>
- [71] R. Prieto de Lope, N. Medina-Medina, P. Paderewski y F. L. Gutiérrez-Vela, "Design methodology for educational games based on interactive screenplays", en Cosecivi, Barcelona, junio de 2015 [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/279763791\\_Design\\_methodology\\_for\\_educational\\_games\\_based\\_on\\_interactive\\_screenplays](https://www.researchgate.net/publication/279763791_Design_methodology_for_educational_games_based_on_interactive_screenplays)

- [72] W. L. Johnson, H. Vilhjalmsón y S. Marsella, "Serious Games for Language Learning: How Much Game, How Much AI?", en Proceedings of the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED 2005, Amsterdam, The Netherlands, 18-22 de julio de 2005 [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/221297686\\_Serious\\_Games\\_for\\_Language\\_Learning\\_How\\_Much\\_Game\\_How\\_Much\\_AI](https://www.researchgate.net/publication/221297686_Serious_Games_for_Language_Learning_How_Much_Game_How_Much_AI)
- [73] J. Tomalá-González, J. Guamán-Quinche, E. Guamán-Quinche, W. Chamba-Zaragocin y S. Mendoza-Betancourt, "Serious Games: Review of methodologies and Games engines for their development", en 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), pp. 1-6, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.23919/CISTI49556.2020.9140827>
- [74] Y. Yu, "Embedded Internet of Things Applications of SQLite Based on WinCE Mobile Terminal", 2 de julio de 2020 [En prensa]. Disponible en: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-37411/v1>
- [75] M. Rodríguez-Bonces y J. Rodríguez-Bonces, "Task-Based Language Learning: Old Approach, New Style. A New Lesson to Learn", *Profile: Issues in Teachers' Professional Development*, vol. 12, no. 2, pp. 165-178, julio de 2010 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/profile/article/view/17691>
- [76] M. B. Carvalho, F. Bellotti, R. Berta, A. de Gloria, C. Islas Sedano, J. Baalsrud Hauge, J. Hu y M. Rauterberg, "An activity theory-based model for serious games analysis and conceptual design", *Computers & Education*, vol. 87, pp. 166-181, septiembre de 2015 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.023>
- [77] E. R. Murzina y A. R. Baranova, "Natural Language Processing", *Science without Borders*, vol. 7, pp. 75-80, 2017.
- [78] M. Veljković Michos, "Gamification in Foreign Language Teaching: Do You Kahoot?", en Sinteza 2017 - International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research, Belgrade, Singidunum University, Serbia, pp. 511-516, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15308/Sinteza-2017-511-516>
- [79] J. Mackmood, D. Bammert Marty y S. D'Onofrio, "Chatbot & Cognitive Services – Ein Schritt Richtung Automatisierung im User Help Desk der Schweizerischen Post", en *Cognitive Computing. Edition Informatik Spektrum*, E. Portmann y S. D'Onofrio, Eds. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-658-27941-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-658-27941-7_6)
- [80] Y. Peng y T. Xiong, "Reproducing or Recreating Pedagogies? The Journey of Three CSL Teachers' Learning of the Communicative Approach", *The Asia-Pacific Education Researcher*, vol. 30, pp. 131-140, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40299-020-00520-2>
- [81] "About VGChartz". VGChartz Ltd. (n.d.) [En línea]. Disponible en: <https://www.vgchartz.com/about.php>



Vargas, Laura. González, Lina. Molina, Sebastián y Ávila, Julián (2022). Implementación de la agricultura de precisión a través del desarrollo de sistemas productivos en áreas protegidas o de conservación para optimizar la producción de cultivos. Una revisión sistemática de literatura. Cuaderno Activa, 14, 65-77.



# Implementación de la agricultura de precisión a través del desarrollo de sistemas productivos en áreas protegidas o de conservación para optimizar la producción de cultivos. Una revisión sistemática de literatura

*Implementation of precision agriculture through the development of production systems in protected or conservation areas to optimize crop production. A systematic literature review*

Laura Rocío Vargas Martínez<sup>1</sup>, Lina Teresa González Álvarez<sup>2</sup>, Sebastián Molina Bayona<sup>3</sup>, Julián David Ávila Cubides<sup>4</sup>

Recibido: 2/12/21 Aprobado: 2/11/22 Publicado: 18/12/2022

**Resumen:** Hacer una búsqueda literaria en la cual se plantea la visión satelital con la implementación de drones en función de herramientas complementarias utilizadas en zonas de conservación es de significativa importancia en el adelanto de la tecnología en zonas de difícil acceso y, también, de especial importancia ecosistémica y funcional en general, donde la participación de drones como sistema de supervisión constante apoyado por sistemas satelitales ha permitido una integración de diagnósticos más rápidos. En las revisiones bibliográficas se ha establecido la aplicación de la fotogrametría en sistemas de diagnóstico de cultivos, así como en la formación

de mapas, los cuales sirven en la estimación de usos de suelos, y de tipos de cultivos y sistemas de mejoramiento ambiental en función de sistemas sostenibles. Por otro lado, tras la declaratoria que se ha llevado a cabo en la Serranía de las Quinchas (SIRAP), se reconoce como una zona no solo de conservación sino también de protección, donde se practican sistemas agrícolas tradicionales para consumo y generación económica. La revisión sistemática de literatura (RSL) en esta investigación busca proporcionar respuesta a cada uno de los asuntos de investigación formulados, por medio de la recolección de publicaciones de las plataformas de datos de Scopus y Science Direct.

1 Autor correspondiente: Universidad Santo Tomás. Colombia, sede Tunja. [laura.vargasm@usantoto.edu.co](mailto:laura.vargasm@usantoto.edu.co).

2 Autor correspondiente: Universidad Santo Tomás. Colombia, sede Tunja. [lina.gonzaleza@usantoto.edu.co](mailto:lina.gonzaleza@usantoto.edu.co).

3 Autor correspondiente: Universidad Santo Tomás. Colombia, sede Tunja. [sebastian.molina@usantoto.edu.co](mailto:sebastian.molina@usantoto.edu.co).

4 Autor correspondiente: Universidad Santo Tomás. Colombia, sede Tunja. [julian.avilac@usantoto.edu.co](mailto:julian.avilac@usantoto.edu.co).

**Palabras clave:** Agricultura de precisión, Serranía de las Quinchas, revisión bibliográfica, conservación, cultivos.

**Abstract:** Do a literary search, in which the satellite vision with the implementation of drones based on complementary tools used in conservation areas is proposed. It generates a significant importance in the advancement of technology in areas of difficult access and of special ecosystem and functional importance in general; where the participation of drones as the constant supervision system supported by satellite systems, has allowed an integration of faster diagnoses. In bibliographic reviews, the application of photogrammetry in crop diagnostic systems has been established, as well as in the formation of maps which serve in the estimation of land uses, as well as types of crops and environmental improvement systems in role of sustainable systems. On the other hand, after the declaration made by the Serranía de las Quinchas (SIRAP), it is known as an area not only for conservation but also for protection, where traditional agricultural systems are practiced for consumption and economic generation. The systematic literature review (RSL) in this research seeks to provide an answer to each of the research questions formulated, through the collection of publications from the Scopus and Science Direct data platforms.

**Keywords:** Precision agriculture, Serranía de las Quinchas, literature review, conservation, crops.

## I. Introducción

Durante los últimos años, el suelo ha estado altamente expuesto debido a la intensificación de prácticas como la agricultura, la silvicultura, el pastoreo y, de una u otra manera, la urbanización [1]. En el caso de la agricultura, este ha sido uno de los sectores más destacados con respecto a la economía; de esta manera, se estima que la demanda de una población que está en crecimiento ascendente con respecto al suelo se intensificará en un 60% para el año 2050 [2].

No es una mentira que estas acciones o actividades económicas, combinadas con usos y prácticas de

gestión no sostenibles, conllevan a la insuficiencia de una educación ambiental [1]. Estas presiones, de una u otra manera, repercuten en una serie de consecuencias como es la importante degradación del suelo, que, para el caso de Colombia, afecta aproximadamente el 40% de territorio [3].

Dicho lo anterior, las medidas preventivas para este tipo de actividades son necesarias, como es el caso de la implementación de conocimientos ambientales y de buenas prácticas de manejo sostenible del suelo [1]. Es un hecho que el uso y práctica de estas medidas es fundamental para disminuir en gran medida la tendencia de la degradación, para así poder garantizar la seguridad alimentaria y proteger la prestación de los demás servicios ecosistémicos asociados al suelo [1].

Una gestión adecuada del suelo constituye una vitalidad significativa en la agricultura sostenible, como es el caso de la agricultura de precisión (AP); además implica, de una u otra manera, equilibrar el clima y defender y sostener los servicios ecosistémicos, los ciclos biogeoquímicos y los recursos naturales [2]. El concepto o las bases en las que se apoya la agricultura de precisión (AP) son aplicar o disminuir la cantidad correcta o precisa de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto. Una de las más conocidas es el uso de la tecnología de la información para optimizar de la mejor manera el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad actual de la sociedad [4].

Actualmente, la teledetección se ha convertido en un factor primordial para el desarrollo de la agricultura de precisión (AP), ya que las técnicas que emplea permiten, de una u otra manera, diferenciar las características y las propiedades o factores ambientales de las áreas de cultivo [5] a través del registro, de la localización y del análisis del comportamiento de la energía radiante reflejada o emitida por la superficie del suelo, de masas de agua o de la vegetación que se encuentra en las áreas de protección o de conservación [6].

La agricultura de precisión (AP) se conoce también por ser una tecnología de información sostenible y por tener principios y métodos agrícolas de gestión de uso del suelo [5]. De igual manera,

se caracteriza por el geoposicionamiento de las actividades sostenibles en favor del uso del suelo y de la implementación de herramientas, los cuales se concluyen por medio de cada una de las condiciones edafológicas y ambientales de la zona que se limita en la región de las zonas protegidas o de conservación. Es por esto que se hace necesario tener en cuenta la importancia de la aplicación de la teledetección, siempre y cuando esté bajo el enfoque del uso del suelo y de las actividades agrícolas de manejo en las zonas de conservación o de protección [5].

A nivel de conocimiento, se considera que el empleo de los sistemas tecnológicos contempla cuatro pasos: el seguimiento espacial, el estudio y observación de decisiones de las prácticas agrícolas a favor de la inestabilidad social, las operaciones de campo que elaboren una planificación agrícola de la región y, por último, la valoración o estimación de los resultados cuantitativos y cualitativos [5].

En este contexto, la implementación de drones es una opción innovadora para el desarrollo óptimo de la agricultura de precisión (AP), en la que la herramienta de tecnología y los sistemas de teledetección, guiados bajo los procedimientos de las plataformas aéreas, se establecen como variables importantes para guiar el seguimiento adecuado del uso del suelo y de los cultivos [5].

Es decir que al emplear cada uno de los conocimientos y estándares precisos en las variables productivas en el sector rural, gracias a estas herramientas se ayuda a que el productor identifique ciertas decisiones que favorezcan el desarrollo oportuno de las actividades agrícolas, para así mejorar, de una u otra manera, la economía de la zona [7].

Cabe mencionar que los sistemas rurales han pasado por una serie de procesos que conllevan una conversión creciente de cambios estructurales en los agroecosistemas de las áreas rurales [8]. Sin embargo, debe sostenerse qué nivel internacional se considera para las áreas de protección, infraestructuras ecológicas y redes ecológicas, como particularidades principales del suelo [9].

En Colombia se han regulado los estándares generales afines a la conservación en áreas de importancia ambiental con respecto al uso del suelo, ya que los objetivos de la conservación buscan restaurar, preservar y, en general, influir en un uso sostenible de estos bajo los preceptos de la educación ambiental (EA) [9]. Las áreas de conservación son divididas o caracterizadas según las categorías de áreas naturales o seminaturales, ya que estas áreas son de origen natural y durante los últimos años han pasado por diversos cambios o alteraciones. Con respecto a las áreas manejadas o artificiales, se conocen por su vegetación natural, pero esta ha sido removida y su mantenimiento óptimo depende de la mano del hombre [9].

Según la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) del Ministerio de Agricultura, a diferencia de los demás países, Colombia cuenta con un gran potencial de suelos en cuanto a la productividad, ya que tiene aproximadamente 12 millones de hectáreas para actividades agrícolas, de las cuales la mitad está sembrada [10]. No obstante, va en aumento el uso inadecuado de suelos, generado inmensos costos ambientales, debido a la falta de conocimientos o comportamientos ambientales sostenibles [10].

Dentro de todo, se menciona que el país ha perdido aproximadamente el 34% de la cobertura vegetal original, siendo los bosques, las selvas andinas, los bosques secos del Caribe y las selvas húmedas los más afectados [11].

Con respecto a la Serranía de las Quinchas, esta se identifica o define como un área de importancia de conservación y de protección [11].

Al tener ecosistemas importantes y representativos de la ecorregión en lo referente al suelo, debe de encontrarse en estado vulnerable o de peligro o en procesos de degradación debido a condiciones socioeconómicas inestables y a caracterizarse por albergar una fauna y una flora en peligro de extinción [11].

En consideración a lo anterior, para la investigación se establecieron las siguientes preguntas de investigación, con el fin de obtener una respuesta aceptable para manejar, de manera sostenible y por medio de la agricultura de precisión (AP), las áreas de conservación y de protección:

1. ¿La implementación de sensores crea la evaluación necesaria de los tipos de cultivos que se presentan en áreas protegidas o de conservación?
2. ¿Por medio de teledetección se permite la eficacia de la identificación de cualquier signo de plagas y enfermedades?
3. ¿La precisión satelital es viable para el manejo de la agricultura en áreas de conservación?

## II. Metodología

Considerando las preguntas de investigación, se procedió con el desarrollo de la revisión sistemática de literatura orientada a la optimización de la agricultura de precisión (AP) a través de los sistemas de teledetección con el fin de incrementar los índices de conservación para optimizar la producción de cultivos. Cabe mencionar que el análisis y la interpretación del banco de datos o los artículos de las bases de datos son posibles gracias al soporte de las bases satelitales y de las estadísticas de las imágenes capturadas. En esta fase, se destaca la lectura de archivos, análisis y clasificación [4].

El protocolo fue desarrollado bajo los estándares de la declaración PRISMA y del Método metaanálisis, con el fin de responder de manera detallada a las preguntas de investigación, dando un enfoque de un ciclo de realimentación semanal, mensual o anual para la obtención de los resultados con la aplicación de insumos sostenibles y la agricultura específica en función del terreno de las áreas de protección o de conservación [12].

Para la búsqueda de las investigaciones, se tomó el año 2012 como punto de partida, cuando los sistemas de información geográfica empezaron

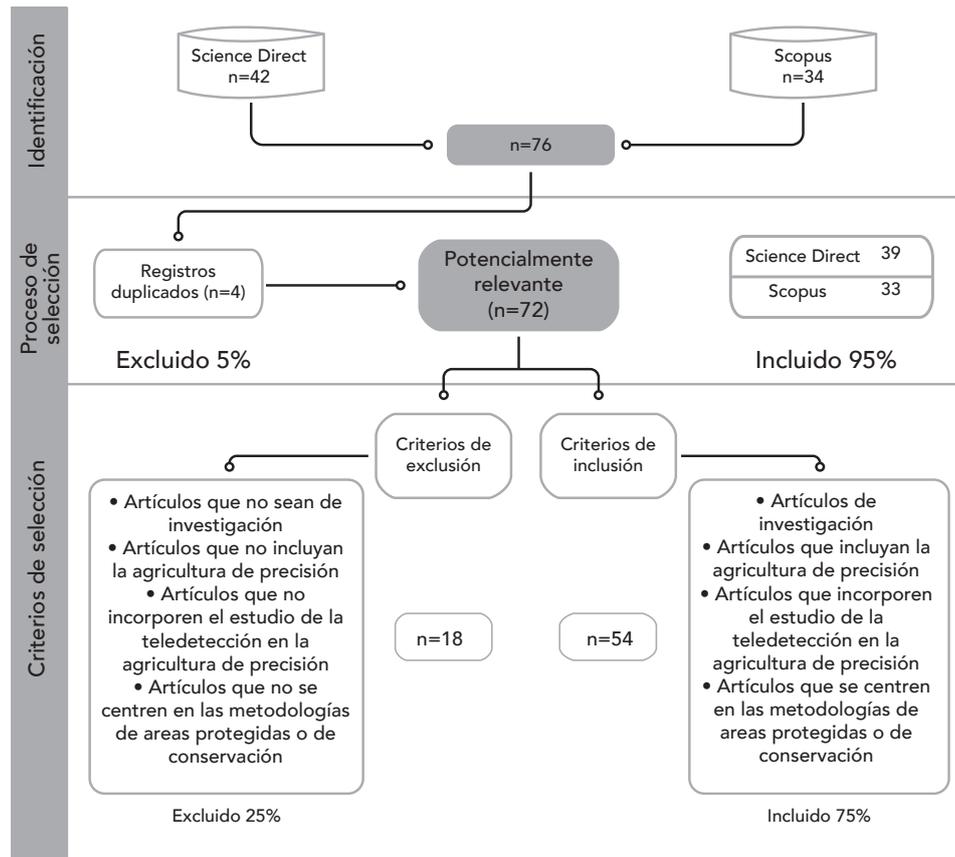
a ser tendencia global en tecnología, como es el caso de la agricultura de precisión (AP), que, por lo general, se enfoca en los cultivos extensivos, y como punto final el año 2021 [13]. Las bases de datos utilizadas fueron Science Direct, por su enfoque en la ingeniería [14], y Scopus, por ser reconocido como el navegante científico de mayor calidad [15]. Se utilizaron las palabras clave "agricultura de precisión", "Serranía de las Quinchas (SIRAP)", "revisión bibliográfica", "conservación", "cultivos", "imágenes satelitales", así como sus siglas y sinónimos. Se determinó la búsqueda solo para incluir estudios o investigaciones de revistas y capítulos de libros, en los idiomas inglés o español.

### Fase de investigación de la fuente y criterios de búsqueda

Science se destaca por tener, en su mayoría, publicaciones enfocadas en la ingeniería científico-académica [14]. Scopus, por su parte, se reconoce por ser el mayor navegador científico de calidad con referencias sobre ciencia y tecnología [15]. Al disponer de las bases de datos mencionadas anteriormente, se pretende obtener las posibles publicaciones admitidas por cada una, siendo posible indagar sobre la disposición y la utilización que tiene la agricultura de precisión en áreas de conservación o de protección en el mundo.

Es de precisar que se seleccionaron los mismos criterios de entrada para cada una de las bases de datos, es decir, publicaciones con el término clave "agricultura de precisión" o "sistemas de teledetección", tomando como punto de referencia estudios o investigaciones de revistas y capítulos de libros, limitados a los idiomas inglés y español, sin dejar de lado el acrónimo SIG. Con respecto a la agricultura de precisión, en la búsqueda en inglés se usaron las ecuaciones de búsqueda "precision farming AND remote sensing systems" y en Scopus "TITLE- ABS-KEY" ("precision farming") AND ("remote sensing systems") AND LIMIT-TO (LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Spanish"). El resumen de identificación y selección de los criterios para la revisión sistemática se presenta en la Ilustración 1.

**Ilustración 1.** Flujo metodológico



Fuente: Elaborado a partir de Prisma [12]

### Fase de análisis de datos extraídos

De las dos bases de datos se obtuvo un total de 72 artículos, luego de haber sido cada uno estimado pertinentemente por los criterios de inclusión y exclusión (parámetros de calidad) con el fin de ser analizados y descritos para la extracción de la información, para responder a cada una de las preguntas de investigación detalladamente, justificando la revisión sistemática de literatura.

En la fase de planificación se encuentra también la lista de verificación de evaluación de calidad, que permite visualizar los resultados que guardaban mayor relación con los términos de búsqueda. Allí se asignó una calificación de peso por cada una, así: cumple satisfactoriamente: 4; cumple en alto

grado: 3; cumple aceptablemente: 2; cumple: 1, y no cumple: 0, conociendo que ciertos artículos cumplen con los criterios generalizados en mayor grado que otros, siendo estos evaluados en rangos de menor importancia.

### III. Resultados

#### Implementación de drones para áreas protegidas o de conservación

En la agricultura de precisión para la implementación de drones en áreas protegidas o de conservación se presenta un sistema de helicópteros, en los cuales puede obtenerse una toma remota, en cuanto al tiempo real, de las imágenes que genera cada uno de los drones [16].

Los tipos de sensores utilizados en la agricultura de precisión son eléctricos y pueden medir factores como la vegetación, la inundación y las malezas que puedan tener los cultivos a diagnosticar [17].

En cuanto al monitoreo o fumigación de cultivos a través de diferentes tipos de aeronaves, se identifica que ha mejorado en su alternancia a la hora proyectar los cultivos, dando así un mapa fotográfico para determinar los terrenos a través de la fumigación [18].

Un caso de poco rendimiento agrícola es el de la Serranía de las Quinchas, ubicada entre Puerto Boyacá y Otanche, ya que parte de este terreno se utilizaba para negocios o cultivos ilícitos. Por esta razón, allí solo se ven tres tipos de cultivos (plátano, yuca y pasto), los cuales se quieren proteger y conservar en un ambiente sano, sin ningún tipo de perjuicio en su proceso productivo, lo que requiere la utilización de drones con inteligencia fotográfica para determinar todo tipo de enfermedad o plaga que pueda interrumpir el proceso del cultivo, dando así una mejor calidad y protección al cultivo en cuanto a la conservación. Este equipo ayuda a percibir todo tipo de daño que pueda estarse dando, desde el suelo del cultivo hasta su crecimiento y desarrollo.

Partiendo del análisis sistemático de los artículos, pudo identificarse que varios hacen una interpretación relativa de la implementación de los drones para áreas protegidas; además, que varios autores promueven la implementación de drones en la agricultura, ya que es importante conocer el proceso de producción de los cultivos y cómo estos se están desarrollando, en buena parte, por una estrategia de calidad [19].

Por otra parte, se realizó un análisis de las dos bases de datos investigadas y se concluyó que cada uno de sus artículos detalla diferentes técnicas o tipos de drones para el fomento de la agricultura sostenible, documentando así una buena conservación de las zonas cultivadas en los diferentes países. Así pues,

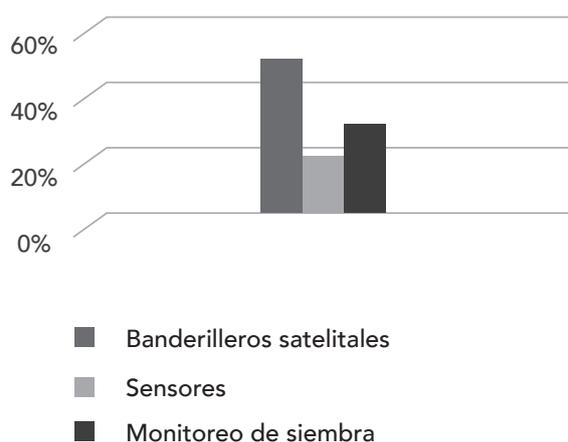
se identificó cuáles eran los tipos de drones que cada una mencionaba. En Science Direct se citaba el monitoreo de siembra, con un porcentaje de menciones del 50%; los sensores, con un 30%, y los banderilleros satelitales, con un 20%. Puede decirse que el tipo de drones más mencionado en ambas bases de datos es el de monitoreo de siembra, ya que es el principal dron que se ocupa del sistema de desarrollo de los cultivos.

**Tabla 1.** Tipos de drones más citados en Science Direct

Tipo	Porcentaje
<b>Monitoreo de siembra</b>	50%
<b>Banderilleros satelitales</b>	20%
<b>Sensores</b>	30%
<b>Total</b>	100%

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 1.** Tipos de drones más citados en Science Direct



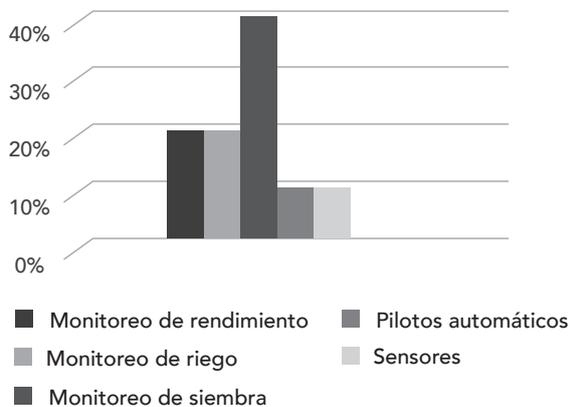
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.** Tipos de drones más citados en Scopus

Tipo	Porcentaje
Monitoreo de rendimiento	20%
Monitoreo de riego	20%
Monitoreo de siembra	40%
Sensores	10%
Pilotos automáticos	10%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 2.** Tipos de drones más citados en Scopus



Fuente: Elaboración propia

### Teledetección como medio de identificación de signos de plagas y enfermedades

La teledetección, como medio de identificación de signos de plagas y enfermedades, ha tenido un avance significativo, puesto que en los sobrevuelos los vehículos aéreos no tripulados (UAV por sus siglas en inglés) permiten establecer sistemas de teledetección y clasificación de cultivos, lo que permite establecer clasificaciones y el estado del uso de suelo de las zonas estudiadas, así como del ciclo de cosecha de los cultivos, lo cual ayuda a la

detección temprana de los posibles cambios que se generen en cada uno de los procesos, permitiendo tener una mejor visión de las amenazas y del tipo de riesgos que estos pueden sufrir [20].

En la verificación de la optimización de estos sistemas, puede deducirse que son herramientas complementarias que permiten visualizar de forma global, sin necesidad de llevar a cabo procesos complejos o extendidos de calibración o de ajustes, logrando, de esta manera, un sistema eficaz en la visualización de cada una de las zonas de interés y ampliando la seguridad y el buen manejo de los sistema tanto aéreos como terrestres en pro de los cultivos y de sus beneficios para la economía de la región, ya que estos sistemas representan una solución en prevención de daños [20].

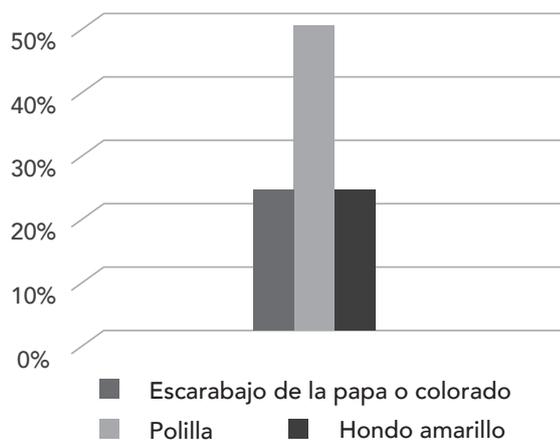
La implementación que se tiene de herramientas multispectrales consiste en sistemas de calibración asociados al buen manejo de la agricultura, en función de la reducción de costos en el mantenimiento de los cultivos y en los procesos de atención a las plagas y las afectaciones que estas provocan [20]. Por tal motivo, el uso de estos sistemas ha generado un sistema más confiable en la reducción de aditivos y herramientas de protección y administración frecuentes que deben usarse al momento de realizar el proceso de cosecha, con respecto a uno de producción masiva [20].

Además, realizando una investigación sistemática sobre las diferentes especies de plagas que pueden habitar en cultivos, se identificó en los artículos indexados cuáles son las plagas más comunes en América y, en particular, en Latinoamérica, viendo así que las plagas que más permanecen en los cultivos americanos son las polillas y los escarabajos colorados. En cuanto a las especies invasoras o plagas que más se detallan en cultivos de Latinoamérica como el plátano, la yuca y los pastos, se evidencia que estas son, en mayor número, con un 40% en el análisis sistemático.

**Tabla 3.** Tipos de plagas identificadas en cultivos en América, según revisión sistemática

Tipo	Porcentaje
Escarabajo de la papa o colorado	25%
Polilla	50%
Hongo amarillo	25%
Total	100%

Fuente: Elaboración propia

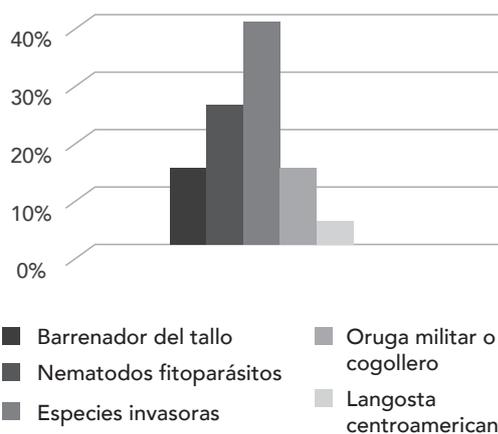
**Gráfico 3.** Tipos de plagas identificadas en cultivos en América

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.** Identificación de plagas en Latinoamérica, revisión literaria

Tipo	Porcentaje
Barrenador del tallo	15%
Nematodos fitoparásitos	25%
Especies invasoras	40%
Oruga militar o gusano cogollero	15%
Langosta centroamericana	5%
Total	100%

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 4.** Tipos de plagas en cultivos de Latinoamérica

Fuente: Elaboración propia

### Evaluación de la precisión satelital como variable en el manejo de la agricultura en zonas de conservación

La agricultura, como actividad económica, ha sido desde sus inicios base de la civilización [21]. Su implementación implica un cumplimiento simultáneo de objetivos sociales, económicos en un determinado tiempo, y ambientales, como, por ejemplo, un mayor rendimiento de los alimentos y protección de la biodiversidad como regulador para el cambio climático; no obstante, se considera cada una de las acciones que se contemplan dentro de la educación ambiental (EA), para así hacer factibles los conceptos y la práctica del desarrollo sostenible (DS) [22].

Dicho lo anterior, y teniendo en cuenta los artículos revisados, la agricultura de precisión (AP) ha originado una elevación estándar en el sector agroindustrial en el transcurso de los últimos 10 años [21]. Es de resaltar que a cada momento, constantemente, se genera información gracias a los avances en la elaboración de nuevas redes que hacen posible un procesamiento de datos efectivo y concreto [23].

Por consiguiente, por medio de la ingeniería agrícola, se ha dado a conocer cada una de las bases y características de la agricultura de precisión (AP), regidas por los protocolos de las variables espaciales y del uso del uso, sin dejar de lado las áreas del cultivo que se emplean en las áreas de conservación y protección [23].

Para las zonas de conservación, la agricultura de precisión (AP) se define en un 100% como una actividad o una ocupación de gestión, que requiere de la habilidad de la tecnología de la información con diversos datos múltiples y fuentes; en otras palabras, fomenta o impulsa las buenas decisiones para el rendimiento de los cultivos [24]. No es mentira que las prácticas tradicionales o incluso la agricultura de precisión, sin incluirla en los protocolos de sostenibilidad, solo llevan a una serie de procedimientos incorrectos, como por ejemplo el uso inadecuado de agroquímicos [22].

Al tomar conciencia ambiental para el desarrollo sostenible, se deben tener claros los efectos secundarios de las malas prácticas, ya que la agricultura de precisión (AP) toma un enfoque regulador por el empleo y manejo de la teledetección [23]. A su vez, en cuanto a los aspectos para trabajar en la heterogeneidad del campo o de los tipos de suelo, es importante mencionar que estas características están regidas por los aspectos de la producción agrícola. En efecto, se regularían la productividad de los cultivos y la calidad ambiental de las zonas de protección y de conservación [25].

Para tener un mayor entendimiento de las herramientas de teledetección, debe tenerse en cuenta que estas llevan un proceso constante con respecto a la plantación a través de sistemas de ordenamiento territorial, posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica (SIG), sensores directos, sensores remotos y sistemas de comunicación e información [26]. Esto permite mejorar las estrategias y las decisiones de las

zonas de conservación de manera sostenible, para así disminuir el porcentaje del impacto ambiental y de pérdida de los recursos naturales [27].

La precisión o el posicionamiento satelital hace parte de la detección y de los sistemas de información geográfica (SIG) para el caso de las zonas de protección y de conservación [28]. Por esto, debe manejarse un monitoreo regular y equilibrado de las coberturas y del suelo, controlados también a través de la teledetección aerotransportada o de satélites [28].

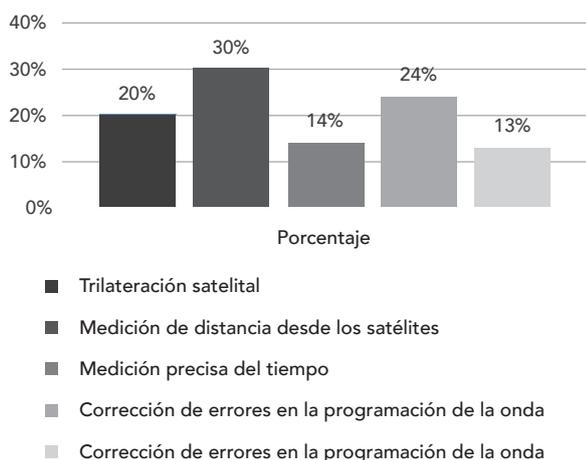
El sistema de posicionamiento global (GPS) se conoce, por lo general, como un sistema de navegación desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos que consta de 24 satélites artificiales: 21 regulares y más de 3 de respaldo [29].

Por otro lado, las estaciones localizadas en la Tierra suministran la información suficiente de las 24 horas del día, sin importar las condiciones climáticas [29]. En los fundamentos encontrados en los artículos revisados, se identificaron las mediciones con GPS involucradas con el posicionamiento satelital, lo que se muestra en la Tabla 5 y en el Gráfico 5.

**Tabla 5.** Fundamentos de medidas con GPS

Fundamentos	Porcentaje
Trilateración satelital	20%
Medición de distancia desde los satélites	30%
Medición precisa del tiempo	14%
Corrección de errores en la programación de la onda	24%
Corrección de errores en la programación de la onda	13%

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 5.** Fundamentos de posicionamiento global

Fuente: *Elaboración propia*

La caracterización de los diferentes tipos de cobertura o de las capas de la tierra y del suelo implica que las imágenes satelitales frecuentemente presentan limitaciones, no solo por la resolución espacial sino también espectral, temporal y radiométrica [30].

Según los artículos revisados, en el parque Serranía de las Quinchas no se han creado ni implementado programas completos de manejo sostenible adecuados para las actividades agrícolas que se manejan en esta zona durante los últimos años. En la Tabla 6 se muestran los diferentes cultivos [30]. Es por esto que, gracias a la agricultura de precisión y de los sistemas de teledetección, puede mantenerse una regularidad estándar sobre el rendimiento de cada una de las actividades agrícolas [30].

**Tabla 6.** Sector agrícola en la Serranía de las Quinchas

Producto	Porcentaje
Plátano	80%
Yuca	70%
Maíz	15%
Cacao	50%
Aguacate	15%
Café	40%
Piña	5%

Fuente: [30]

## IV. Conclusiones

Durante los últimos años, las áreas de protección y de conservación en zonas naturales se han caracterizado por ser trabajadas bajo los estándares de la tecnología y los métodos de producción; por lo tanto, la agricultura debe ser precisa para llegar a aumentar la productividad sostenible en los diferentes sectores en que es producida. La utilización de la teledetección y la agricultura van de la mano, ya que es necesario tener un ambiente sostenible que ayude a la conservación y protección del hábitat. La teledetección es un equipo útil con el que se pueden manejar satelital o fotográficamente las zonas de estudio. En la Serranía de las Quinchas existe un bajo rendimiento de la agricultura, ya sea por su suelo sobreexplotado o por su mal uso productivo. Se considera, pues, que la agricultura de precisión es un método beneficioso en esta zona, ya que permite identificar todo tipo de maleza o factor que intervenga tanto en el desarrollo productivo del cultivo como en la conservación de la calidad y la protección de este.

La agricultura de precisión puede entenderse como un método o factor viable para el manejo de la producción, llevado a cabo con la utilización de drones que intervienen en la verificación del desarrollo de cada cultivo en proceso de siembra y muestran los factores erróneos de este proceso, utilizando nuevas técnicas de mejoramiento y conservación de la producción del cultivo.

Por último, lo que se pretende con esta investigación es dar a conocer los índices de búsqueda sobre una innovación o sobre una idea que puede ayudar al medio ambiente y cómo esta, mediante sus factores y cualidades, puede aportar conocimientos previos de diferentes autores que culminan sus trabajos y, así, mejorarlos con las perspectivas de otros autores.

## V. Referencias

- [1] K. Sánchez Mora, M. A. Zuñiga Gutierrez y E. Mayhua-López, "A nonlinear model to estimate nitrogen level in agricultural soil using Gaussian kernels", en 2016 IEEE ANDESCON, 2016, pp. 1-4 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ANDESCON.2016.7836247>
- [2] Secretaría del Foro de Alto Nivel de Expertos, "La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050" en Foro de Expertos de Alto nivel - Cómo alimentar al mundo en 2050, Roma, IT, 12-13 de octubre de 2009. FAO, 2009 [En línea]. Disponible en: [https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues\\_papers/Issues\\_papers\\_SP/La\\_agricultura\\_mundial.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf)
- [3] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Protocolo de Degradación de Suelos y Tierras por Erosión*. Bogotá, D.C.: IGAC, IDEAM y MinAmbiente, 2010.
- [4] E. García y F. Flego, "Agricultura de Precisión", *Revista de Ciencia y Tecnología*, no. 8, pp. 99-116, 2008 [En línea]. Disponible en: [https://www.palermo.edu/ingenieria/Ciencia\\_y\\_tecnologia/ciencia\\_y\\_tecno\\_8.html](https://www.palermo.edu/ingenieria/Ciencia_y_tecnologia/ciencia_y_tecno_8.html)
- [5] J. Rubio, M. A. Vega, J. F. Lavado y M Villar, "Teledetección y agricultura de precisión aplicadas al olivar tradicional", en *Sistemas de información geográfica y teledetección: aplicaciones en el análisis territorial*, A. Nieto Masot y G. Cárdenas Alonso, Eds. Cáceres, España: Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura y Grupo de Investigación Geo-Ambiental de la Universidad de Extremadura, 2018, pp. 55-68.
- [6] E. C. Landau, D. Pereira Guimarães y A. Hirsch, "Uso de Sistema de Informaciones Geográficas para espacialización de datos del área de producción agrícola", en *Manual de agricultura de precisión*, E. Chartuni Mantovani y C. Magdalena, Eds. Montevideo: IICA, 2014, pp. 22-29 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.iica.int/handle/11324/2972>
- [7] R. Bongiovanni y J. Lowenberg-Deboer, "Precision Agriculture and Sustainability", *Precision Agriculture*, vol. 5, no. 4, pp. 359-387, 2004 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.a>
- [8] A. Somoza, P. Vázquez y L. Zulaica, "Implementación de buenas prácticas agrícolas para la gestión ambiental rural", *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 44, no. 3, pp. 398-423, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://ria.inta.gob.ar/ria/ria-44-n-o-3-diciembre-2018/>
- [9] F. Remolina-Angarita, "Figuras municipales de conservación ambiental en Colombia: ¿áreas protegidas, redes ecológicas o infraestructuras verdes?", *Revista Nodo*, vol. 6, no. 11, pp. 65-76, 2011 [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3983371>
- [10] L. Morales, *La paz y la protección ambiental en Colombia: Propuestas para un desarrollo rural sostenible*. El Diálogo, Liderazgo para las Américas, enero de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://www.thedialogue.org/analysis/la-paz-y-la-proteccion-ambiental-en-colombia-propuestas-para-un-desarrollo-rural-sostenible/?lang=es>

- [11] K. L. Barrera Moreno y J. E. Quevedo Mora, "Formulación de un plan de turismo rural comunitario en la vereda Las Quinchas del municipio de Otanche, Boyacá", Trabajo de grado. Tunja, 2019. Repositorio Institucional Universidad Santo Tomás [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11634/20963>
- [12] O. G. Caicedo Camposano, "Sustentabilidad de los sistemas de producción de Banano (Musa paradisiaca AAA) en Babahoyo, Ecuador", Tesis de doctorado. Lima, 2021. Repositorio Institucional Universidad Nacional Agraria La Molina [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4868>
- [13] J. M. Baquero Rubio y W. A. Bayona Pérez, "Estudio de prefactibilidad para crear una empresa de servicios de agricultura de precisión en cultivos de papa en el altiplano cundiboyacense durante el año 2021", Tesis de especialización. Bogotá, D.C., 2021. Repositorio Institucional Uniminuto [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10656/13155>
- [14] Y. A. López Rodríguez, Y. Hidalgo Delgado y N. Silega Martínez, "Escenarios de vinculación de las bases de datos relacionales y las ontologías: un mapeo sistemático", *Enfoque UTE*, vol. 12, no. 4, pp. 58-75, octubre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.759>
- [15] R. Cañedo Andalia, R. Rodríguez Labrada y M. Montejo Castells, "Scopus: la mayor base de datos de literatura científica arbitrada al alcance de los países subdesarrollados", *Acimed*, vol. 21, no. 3, pp. 270-282, 2010 [En línea]. Disponible en: <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=71663>
- [16] Z. Chen, S. Li, J. Ren, P. Gong, M. Zhang, L. Wang, S. Xiao y D. Jiang, "Monitoring and Management of Agriculture with Remote Sensing", en *Advances in Land Remote Sensing*, S. Liang, Ed. Dordrecht: Springer, 2008 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6450-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6450-0_15)
- [17] W. S. Lee, V. Alchanatis, C. Yang, M. Hirafuji, D. Moshou y C. Li, "Sensing technologies for precision specialty crop production", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 74, no. 1, pp. 2-33, octubre de 2010 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.08.005>
- [18] C. Persello, V. A. Tolpekin, J. R. Bergado y R. A. de By, "Delineation of agricultural fields in smallholder farms from satellite images using fully convolutional networks and combinatorial grouping", *Remote Sensing of Environment*, vol. 231, septiembre de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111253>
- [19] J. L. Willers, G. A. Milliken, J. N. Jenkins, C. G. O'Hara, P. D. Gerard, D. B. Reynolds, D. L. Boykin, P. V. Good y K. B. Hood, "Defining the experimental unit for the design and analysis of site-specific experiments in commercial cotton fields", *Agricultural Systems*, vol. 96, no. 1-3, pp. 237-249, marzo de 2008 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.09.003>
- [20] V. A. Berrío M., T. J. Mosquera y D. F. Alzate V., "Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión", *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, vol. 13, no. 1, pp. 28-40, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/alimen/article/view/1600>
- [21] E. Aguilar Criado, "Los nuevos escenarios rurales: de la agricultura a la multifuncionalidad", *ENDOXA*, no. 33, pp. 73-98, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5944/endoxa.33.2014.13560>
- [22] A. J. Colom Cañellas, *Desarrollo sostenible y educación para el desarrollo*. Barcelona: Octaedro, 2000.
- [23] M. A. Chávez Tierra, "Mejoramiento de la productividad mediante la implementación de drones en el cultivo de flores de verano y rosas en el grupo Esmeralda Ecuador", Tesis de maestría. Quito, 2018. Repositorio de Tesis de Grado y Posgrado Pontificia Universidad Católica del Ecuador [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17026>
- [24] L. J. Rodríguez González, "Agricultura de precisión en el mundo y en Colombia: revisión bibliográfica", Trabajo de grado. Santiago de Cali, 2020. Biblioteca digital Universidad del Valle [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10893/19416>
- [25] M. Sebastián Cantalejo, "Desarrollo de la agricultura de precisión", Trabajo de grado. Madrid, 2020. Archivo Digital UPM [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/63131/>

- [26] N. M. Quezada Poma, "Uso de los sistemas de información geográfica en el diagnóstico ambiental como herramienta para el ordenamiento territorial caso de aplicación en la Parroquia de Tundayme, Cantón El Pangui, Provincia de Zamora Chinchipe", Tesis de maestría. Quito, 2014. Repositorio Digital USFQ [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/4101>
- [27] S. Romero y S. Sepúlveda, *El desarrollo sostenible de la agricultura: el potencial de la era digital*. IICA, junio de 1999 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7395>
- [28] J. M. de la Cruz Burgos y G. A. Muñoz García, "Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca", Tesis de especialización. Manizales, 2016. Repositorio Institucional Universidad de Manizales [En línea]. Disponible en: <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2807>
- [29] C. Enríquez Turiño, "Integración de los Sistemas de información geográfica y del sistema de posicionamiento global", en XII Congreso Nacional de Tecnología de la Información Geográfica, Granada, Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Jaén, septiembre de 2006, pp. 1-84 [En línea]. Disponible en: <https://agroinforma.ibercaja.es/documentos/integracion-de-los-sistemas-de-informacion-geografica-y-del-sistema-d>
- [30] D. Vargas-Sanabria y C. Campos-Vargas, "Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica", *Tecnología en Marcha*, vol. 31, no. 1, pp. 58-69, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3497>



# Modelado de un dominio de planificación automática de un robot reforestador de árboles

*Modeling of an automatic planning domain of a tree reforestation robot.*

Jose David Cano Sierra<sup>1</sup>, María José Vargas Pescador<sup>2</sup>,  
Deisy Nataly Ramírez Ruiz<sup>3</sup>, Juan-Manuel Chaguendo-Benavides<sup>4</sup>

**Tipo de Artículo:** Investigación científica y tecnológica.  
**Recibido:** 15/12/21 **Aprobado:** 30/05/22 **Publicado:** 18/12/2022

**Resumen:** La deforestación es uno de los problemas ambientales que tiene Colombia, llevándose millones de ecosistemas a lo largo del tiempo. Afortunadamente, se ha venido haciendo actividades de reforestación de árboles a través de grupos como EPM, Emgesa, Ecopetrol, el Gobierno nacional y Antioquia. Estas actividades requieren de un gran esfuerzo en la planificación y ejecución de cómo se van a sembrar y reforestar los árboles. Por ello, se han propuesto trabajos relacionados con el proceso de reforestación utilizando un robot inteligente. Sin embargo, estas propuestas tienen un enfoque de programación en Arduino y no un enfoque de planificación automática. No obstante, uno de los desafíos al aplicar planificación automática a tareas del mundo real es el modelado de dominios, puesto que especificar las condiciones previas

correctas y los efectos de las acciones es una tarea difícil. En este artículo presentamos la definición de un dominio de planificación automática de un robot reforestador de árboles en lenguaje PDDL que ayuda a representar un problema de siembra de semillas y reforestación. Este dominio también ayuda a obtener un plan que guía a un robot a realizar actividades de reforestación de árboles. Para probar nuestro dominio, creamos, diseñamos e implementamos un problema de reforestación de siete árboles en nueve puntos distribuidos en siete coordenadas. Este problema se codificó en lenguaje de especificación PDDL, teniendo como resultado un plan con 28 acciones o conjunto de estados. Para realizar la plantación de cada árbol se ejecutaron cuatro acciones en el siguiente orden: pickup, go, plant y back.

1 Estudiante de Ingeniería en Software. Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia. Colombia, Medellín. jose.cano@correo.tdea.edu.co

2 Estudiante de Ingeniería en Software. Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia. Colombia, Medellín. maria.vargas99@correo.tdea.edu.co

3 Estudiante de Ingeniería en Software. Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia. Colombia, Medellín. deysi.ramirez@correo.tdea.edu.co

4 Candidato a doctor en Computación. Universidad Politécnica de Cataluña. Investigación financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España (PRE2018-086544) y cofinanciada por FSE. España, Barcelona. juan.manuel.chaguendo@upc.edu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8535-1736>

**Palabras clave:** Planificación automática, dominio, Lenguaje PDDL, reforestación, deforestación.

**Abstract:** Deforestation is one of Colombia's environmental problems, taking away millions of ecosystems over time. Fortunately, tree reforestation activities have been carried out through groups such as EPM, Emgesa, Ecopetrol, the national Government and Antioquia. These activities require great effort in your planning and execution of how the trees are to be planted and reforested. For this reason, works related to the reforestation process using smart robots have been proposed. However, these proposals have an Arduino scheduling approach and not an automatic scheduling approach. However, one of the challenges in applying automatic scheduling to real-world tasks is domain modeling, since specifying the correct preconditions and effects of actions is a difficult task. In this article we present the definition of an automatic planning domain of a tree reforestation robot in PDDL language that helps to represent a problem of planting seeds and reforestation. This domain also helps to obtain a plan that guides a robot to carry out tree reforestation activities. To test our mastery, we created, designed and implemented a reforestation problem of 7 trees, in 9 points distributed in 7 coordinates. This problem was coded in the pddl specification language. Resulting in a plan with 28 actions or set of states. To plant each tree, four actions were carried out in the following order: pickup, go, plant and back.

**Keywords:** Automated planning, domain, PDDL, reforestation, deforestation.

## I. Introducción

En Colombia, durante el tercer trimestre del 2019, se identificaron alrededor de 3.000 hectáreas deforestadas en los departamentos de Caquetá, Meta y Guaviare, sin contar los demás departamentos del país afectados por la misma problemática [1], [2]. Por ello, la reforestación cumple un papel fundamental en el mantenimiento de los ecosistemas terrestres, contribuyendo con la recuperación de las cuencas hidrográficas, la estructura ecológica, la conservación de la

biodiversidad y la seguridad alimentaria [2]. Afortunadamente, en Colombia, durante los últimos años, grupos como EPM, Emgesa [3] y Ecopetrol tienen programas que fomentan la reforestación y realizan sembrado de millones de árboles cada año. También el Gobierno nacional y Antioquia [4] se han sumado a estas iniciativas para la conservación de los bosques de nuestro país. Sin embargo, llevar a cabo un proceso de siembra o reforestación requiere de un gran esfuerzo en su planificación y ejecución, es decir, la hoja de ruta de dónde se empieza y dónde se termina, por lo cual se hace necesaria la implementación de las nuevas tecnologías de la información en busca de una solución a la problemática de la deforestación. Es así que se han propuesto trabajos relacionados con el proceso de siembra de semillas o reforestación utilizando robots inteligentes [5], [6], [7], [8], [9], [10]. No obstante, estas propuestas presentan un enfoque de programación utilizando Arduino y no un enfoque de planificación automática que pretende abordar el problema de generar comportamientos autónomos a partir de un modelo que describe cómo funcionan las acciones en un dominio de interés y cuál es el estado inicial y el estado final a alcanzar. En planificación automática, especificar las condiciones previas correctas y los efectos de las acciones es una tarea difícil, especialmente cuando el dominio de interés requiere de atención detallada.

Este artículo presenta la definición de un dominio de planificación automática de un robot reforestador de árboles en lenguaje PDDL, permitiendo representar un problema de siembra de semillas y reforestación que se asemeja a uno real, que también ayudará a obtener un plan (conjunto de estados) que guiará a un robot o agente inteligente en la realización de actividades de reforestación de árboles. Para ello, se siguieron cuatro fases del proceso de investigación: fase 1: definición del objeto de investigación; fase 2: formulación de la propuesta de investigación; fase 3: ejecución de la investigación, y fase 4: síntesis de la investigación. Además, para probar nuestro dominio, creamos, diseñamos e implementamos un problema supuesto de reforestación de árboles, enmarcado en el plan de desarrollo destinado para el año 2022 en el territorio antioqueño, que

tiene como finalidad desplegar un proyecto de reforestación en Caucasia. El proyecto consiste en que en 2 hectáreas del territorio se siembren siete árboles de Guayacán en nueve puntos distribuidos en siete coordenadas. Este problema se codificó en lenguaje PDDL.

Como producto de la investigación se tiene un dominio diseñado, desarrollado e implementado en lenguaje PDDL, conformado por cuatro acciones: *pickup*, *go*, *plant* y *back*. Este dominio puede utilizarse de manera simple para representar un problema de un robot reforestador basado en planificación automática en el contexto de siembra y reforestación de árboles. También en la ejecución del dominio con el problema en la herramienta web PDDL Editor se tuvo como resultado un plan conformado por 28 acciones o conjunto de estados. En este caso, el robot realizó cuatro acciones por cada árbol a sembrar; por consiguiente, hizo su cometido de plantar siete árboles mediante 28 acciones.

El presente artículo está organizado de la siguiente manera: En la Sección II presentamos el marco teórico. En la sección III describimos los antecedentes, junto con el planteamiento del problema. En la sección IV se definen los objetivos. Luego, en la sección V se muestra la metodología de investigación utilizada. En la sección VI están los trabajos relacionados. En la sección VII se definen el dominio y el problema en PDDL. Después, en la sección VIII, se muestran los resultados. En la sección IX están las conclusiones y trabajo futuro. Y, finalmente, las referencias en la sección X.

## II. Marco teórico

La planificación automática aborda el problema de generar comportamientos autónomos (planes) a partir de un modelo que describe cómo funcionan las acciones en un dominio de interés y cuál es el estado inicial y el estado final a alcanzar. Para ello, la planificación automática opera sobre representaciones explícitas de estados y acciones que se expresan a través de lenguajes dedicados [11]. De acuerdo con esa expresión, STRIPS es un lenguaje formal de entradas para la generación de planes, es decir que describe el estado inicial

del mundo mediante un conjunto completo de literales básicos y las metas son definidas como una conjunción proposicional [12]. Por otra parte, está PDDL, sigla de Planification Domain Description Language, una familia de lenguajes de acción que permite representar problemas de planificación mediante la formalización proposicional [13]. En esta representación de problemas se definen objetos, los cuales serían seres o cosas que forman parte del "mundo" y también requieren de operadores, que son conocidos como predicados, o una acción que cambia el estado de uno o varios objetos [14]. Dentro de los posibles operadores o predicados que pueden usarse para la precondición, están:

- and / or / not
- imply <cond> <effect>  
(imply (and (at ?r1 ?w1) (at ?r2 ?w2)) (= ?w1 ?w2))
- exists <variable> <literal>  
(exists (?r - rover)(at ?r ?w2))
- forall <variables> <literal>  
(forall (? - rover)(at ?r ?w2

Para los efectos, los posibles operadores son:

- and / not
- forall <variables> <effect>
- when <expression> <effect>

En un problema de planificación, un estado es una asignación particular al conjunto de variables, así que un conjunto de estados se define como una forma de describir el estado de creencias iniciales del agente [15], en este caso, el agente que está esperando indicación de qué hacer. Para ello se establecen dos estados: inicial y final. El primero presenta propiedades iniciales de los objetos de nuestro "mundo"; el segundo se refiere a las propiedades finales de nuestros objetos [14]. También para definir un problema en planificación se requieren acciones, las cuales son conjuntos representativos de transiciones de estado y están conformadas por predicados que funcionan como precondiciones o poscondiciones. Las primeras son necesarias para que las acciones puedan ser

ejecutadas y las últimas son el resultado de la efectiva realización de la acción [13]. Justamente en el dominio es donde se crean dichas acciones. Este es un archivo con extensión .pddl (domain.pddl). En él se incluyen los predicados, los cuales definen los tipos de valores proposicionales que pueden existir en el dominio. Los valores proposicionales son atómicos y bivalentes, es decir, están sometidos a un valor de "verdadero" o "falso"; además, pueden ser propios de un único objeto o pueden definirse entre varios objetos. Las instancias de todos los predicados para un posible problema conforman el conjunto de proposiciones denominado F (las metas del problema) [13].

Por otra parte, se encuentra el problema, que es un archivo con extensión .pdd (problema.pddl), en el cual se establece el estado inicial, esto es, los predicados que son ciertos al principio, y un estado final, los predicados que deben ser ciertos al final tras aplicar las acciones definidas en el dominio [13], es decir, busca generar una secuencia limitada de acciones (llamadas planes) para ser ejecutadas por agentes inteligentes. Estas acciones deben llevarse al agente desde un estado inicial hacia un estado final u objetivo dado, llamado meta [16]. La formalización de un problema de planificación (P) puede definirse como  $P = (L, A, I, F)$ , donde:

- L: Conjunto de literales que representan los hechos que tienen relevancia en el problema
- A: Conjunto de acciones que transforman un estado en otro
- I: El estado inicial del problema
- F: Las metas del problema [16]

Finalmente, está el plan, que consiste en una secuencia de uno o más pasos, cada uno de los cuales tiene un conjunto de atributos. Cada paso tiene el nombre del operador que debe ejecutarse y una obligación. En síntesis, el plan es el resultado de la ejecución del problema y el dominio [17].

Reforestación: "Establecimiento de plantaciones forestales en tierras temporalmente no arboladas, que son consideradas como bosques" [18].

### III. Antecedentes y planteamiento del problema

La deforestación, definida como "el resultado de las actividades negativas hechas por el hombre, que simultáneamente generan una serie de amenazas para la vida misma, como lo es la pérdida de bosque en el planeta, disminución de la biodiversidad, afectación a suelos, entre otros" [19], es uno de los principales problemas ambientales que tiene Colombia, habiéndose llevado ya millones de ecosistemas a lo largo del tiempo, según el boletín del IDEAM, donde se informa que durante el tercer trimestre del 2019 se identificaron alrededor de 3.000 hectáreas deforestadas en los departamentos de Caquetá, Meta y Guaviare [1], sin ser estos los únicos departamentos del país que sufren esta problemática [2].

Por otra parte, EPM, con su programa Fomento a la Reforestación, ha sembrado 1,8 millones de árboles cada año; Emgesa, con el programa Bosque Renace, ha restaurado 690 hectáreas de bosque entre el 2012 y el 2018; Ecopetrol cuenta con 18 proyectos, recuperando y reforestando más de 1.100 hectáreas [3]. También el Gobierno nacional ha promovido actividades como la Gran Sembratón Nacional, que tiene como objetivo sembrar 5 millones de árboles en todo el país. Antioquia se suma a esta iniciativa, logrando sembrar cerca de 10 mil árboles en 13 hectáreas [4]. Estas iniciativas son fundamentales para la conservación de los bosques de nuestro país, ya que "la reforestación cumple un papel fundamental para el mantenimiento de los ecosistemas terrestres, puesto que contribuye con la recuperación de las cuencas hidrográficas, la estructura ecológica, la conservación de la biodiversidad y seguridad alimentaria" [2].

La presente propuesta busca definir una situación problema, a manera de suposición, que puede presentar una entidad dedicada a la reforestación de árboles, con el fin de tener una representación del estado inicial y el estado final, mediante el lenguaje PDDL, a través de la definición de un dominio de planificación automática que describe

cómo funcionan las acciones y, así, obtener un plan (conjunto de estados) que guiará a un robot inteligente o agente inteligente en la realización de actividades de reforestación de árboles.

Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿es posible representar un supuesto problema de siembra de semillas y reforestación de árboles a través de la definición de un dominio de planificación automática utilizando lenguaje PDDL?

Hipótesis de investigación: Si es posible representar un supuesto problema de siembra de semillas y reforestación de árboles a través de la definición de un dominio de planificación automática utilizando PDDL, se obtendrá un plan (conjunto de estado) que guiará la actividad de reforestación.

## IV. Objetivos

### Objetivo general

Definir un dominio de planificación automática de un robot reforestador de árboles en lenguaje PDDL que ayude a representar un problema de siembra de semillas y reforestación.

### Objetivos específicos

- Establecer el marco de referencia acerca de propuestas de proceso de siembra de semillas o reforestación utilizando robot inteligente.
- Realizar un análisis comparativo de los trabajos relacionados encontrados.
- Desarrollar e implementar el dominio y problema en lenguaje PDDL.
- Realizar análisis de resultados obtenidos sobre el plan (conjunto de estados).

## V. Metodología

Esta investigación es de tipo descriptivo, es decir que se preocupa por describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su

estructura o comportamiento. Para el desarrollo de los objetivos dados, se siguió un modelo general para el proceso de investigación que consta de cuatro fases. El modelo no es lineal, lo que refleja el carácter dinámico y procesal de la investigación, de modo que no se conciba al proceso como algo que tiene un principio y un fin definitivos, sino más bien como un trabajo continuo [20]. En la Figura 1 se muestran estas fases.

**Figura 1.** Fases del proceso de investigación.

### Fases del proceso de investigación

- Fase 1.** Definición del objetivo de investigación
- Fase 2.** Formulación de propuesta de investigación
- Fase 3.** Ejecución de la investigación
- Fase 4.** Síntesis de la investigación

Fuente: *Elaboración propia (2021)*

Fase 1. Definición del objeto de investigación: su propósito es hacer la elección del objeto, fenómeno o proceso para el cual se requiere generar conocimiento socialmente nuevo. En esta fase se seleccionó el área temática (planificación automática y reforestación) y se hizo la elección del objeto de investigación (dominio de planificación automática de un robot reforestador).

Fase 2. Formulación de la propuesta de investigación: su propósito es la organización del proyecto de investigación indicando claramente su alcance, su soporte teórico y la estrategia a seguir para el logro de los resultados planteados. En esta fase se realizó el planteamiento del problema (sección III), se hizo la delimitación de la investigación (objetivo general y objetivos específicos), se elaboró el marco teórico haciendo una revisión de la literatura, la cual se recuperó de las fuentes y herramientas proporcionadas por la Biblioteca Digital de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), se tuvieron en cuenta motores de búsqueda de carácter académico o científico, como Google

Scholar y Microsoft Academic, y algunas bases de datos bibliográficas especializadas, como Web of Science y IEEE Xplore (sección II y trabajos relacionados acerca de propuestas de proceso de siembra de semillas o reforestación utilizando robot inteligente) y se realizó el diseño de la investigación (pregunta e hipótesis de investigación).

Fase 3. Ejecución de la investigación: su propósito es obtener, mediante observación o experimentación, los datos requeridos sobre el objeto de investigación elegido y efectuar el procesamiento de estos. En esta fase se diseñó e implementó el dominio y el problema en lenguaje PDDL (archivo dominio.pddl y archivo problema.pddl) y se realizó la ejecución del dominio y el problema en la herramienta PDDL Editor.

Fase 4. Síntesis de la investigación: su propósito es tener una elaboración teórica que refleje el nuevo conocimiento generado como resultado del proceso investigativo. En esta fase se realizó el análisis y síntesis de la información (análisis comparativo de trabajos relacionados encontrados y conclusiones).

## VI. Trabajos relacionados

En la revisión crítica del estado del arte se obtuvieron los siguientes trabajos relacionados acerca de propuestas de siembra de semillas o reforestación utilizando robot inteligente.

### ***Diseño de un robot móvil de dos hileras para trasplante de plántulas de arroz en sembríos de la costa norte peruana***

El proyecto tuvo como objetivo el diseño de un robot para el trasplante de plántulas de arroz en Perú. El prototipo debía tener la suficiente potencia para avanzar y girar en movimiento

constante y la suficiente energía para un funcionamiento autónomo. Para el diseño electrónico se escogió la placa Arduino Mega y se programó en su interfaz Arduino IDE, además de usar sensores para controlar el sistema y evitar que se desvíe de la ruta programada [5].

### ***Diseño en Autocad de robot sembrador de semillas de fresa: Fresabot III***

El robot sembrador de semillas de fresa tiene como objetivo mejorar los tiempos de ejecución y la calidad en la siembra en invernaderos. El dispositivo está construido con un sistema de tracción de oruga, que consiste en un conjunto de eslabones modulares que permiten un desplazamiento estable en terrenos irregulares, además de servomotores y una broca para cavar la tierra y facilitar la siembra. La energía es suministrada por una batería de litio y está programado con el software Arduino IDE [6].

### ***Diseño y construcción de un prototipo de robot tetrápodo sembrador de semillas para leguminosas***

El proyecto es una herramienta didáctica y se encuentra en una fase temprana de ejecución. Presenta un prototipo de robot tetrápodo cuyo diseño le permite movilizarse fácilmente entre obstáculos en lugares de difícil acceso. Su función es dosificar, detectar e introducir semillas con una profundidad específica en tierras tratadas para cultivos de leguminosas, mejorando la eficiencia y productividad en la siembra [7].

### ***Simulación de aplicación de un robot forestador***

En este proyecto vemos cómo podría ser la actividad de plantar árboles, de acuerdo con una simulación realizada en el software Vensim, el cual, a diferencia de nuestro dominio, tiene un monitoreo total del proceso forestador,

implicando altos costos por ser un proceso prolongado en el tiempo, el cual puede ser útil para empresas encargadas de talar árboles para materia prima, ya que estas tienen grandes capitales para todo este seguimiento [8].

### **Ingeniería de detalle para un robot sembrador de semillas de maíz**

Este proyecto se basa en el análisis e investigación del proceso de la siembra del maíz. Se buscó encontrar los mejores métodos y herramientas para optimizar el proceso. Los resultados obtenidos sirvieron de base para la elaboración de un prototipo que responde con eficiencia y soluciona las problemáticas planteadas [9].

### **Implementación de un prototipo de robot sembrador de papa en terrenos sin inclinación para pequeños productores**

El robot sembrador de papa se creó en dos etapas. La primera fue la parte mecánica y estructural del robot, la cual tiene como objetivo transportar la semilla al lugar de la siembra. La segunda parte es la implementación electrónica, que se encarga de la potencia para movilizarse en el terreno y transportar la semilla. Los motores son programados con microprocesadores de Arduino que controlan la velocidad, y el sistema de control se realiza con una aplicación inalámbrica para realizar el proceso autónomo de siembra [10].

**Tabla 1.** Resumen de trabajos relacionados acerca de propuestas de siembra de semillas o reforestación de árboles utilizando robot inteligente.

Nombre	Año	Lugar	Lenguaje	Ventajas	Desventajas
<b>Diseño de un robot móvil de dos hileras para trasplante de plántulas de arroz en sembríos de la costa norte peruana</b>	2020	Lima, Perú	Arduino IDE	Para la elaboración del robot se utilizaron materiales resistentes a la corrosión y de acero inoxidable.	Los motores del robot no cuentan con la resistencia suficiente para soportar su propio peso y para moverse con fluidez en el terreno de siembra.
<b>Diseño en Autocad de robot sembrador de semillas de fresa: Fresabot III</b>	2019	Bogotá, Colombia	Arduino IDE	El robot está diseñado para ser creado con materiales reciclables, lo que disminuiría su costo de producción.	El robot podría verse afectado por la calidad de los suelos. Si estos no son óptimos para su funcionamiento, este podría presentar daños.
<b>Diseño y construcción de un prototipo de robot tetrápodo sembrador de semillas para leguminosas</b>	2018	Sangolquí, Ecuador	Arduino IDE	El robot tiene una interfaz amigable con el usuario. Las instrucciones las recibirá de forma inalámbrica por medio de <i>bluetooth</i> .	El movimiento del robot tiene menor rendimiento en áreas con obstáculos, en comparación con un terreno plano.
<b>Simulación de aplicación de un robot forestador</b>	2018	Argentina	N/A	El objetivo del robot es ayudar al trabajador en el proceso de siembra, logrando así mejorar la eficiencia y la productividad.	Los resultados obtenidos en el estudio se realizaron con base en supuestos. Para obtener datos más concretos, este debe realizarse en el campo, donde se llevará a cabo la siembra.

Nombre	Año	Lugar	Lenguaje	Ventajas	Desventajas
<b>Ingeniería de detalle para un robot sembrador de semillas de maíz</b>	2019	Bogotá, Colombia	Arduino IDE	En la simulación del robot se implementó un sistema de navegación que le permite una mejor siembra en un área determinada.	Dado que el robot aún es una simulación, puede haber inconveniente al momento de la ejecución.
<b>Implementación de un prototipo de robot sembrador de papa en terrenos sin inclinación para pequeños productores</b>	2019	Riobamba, Ecuador	Arduino IDE	El prototipo cuenta con un sistema de envío y recepción de datos en tiempo real.	El robot, por ser demasiado robusto, presenta problemas de movilidad en terrenos irregulares.

Fuente: Elaboración propia (2021)

Los proyectos anteriores tienen como objetivo común mejorar el proceso de siembra, ya sea de semillas o para la reforestación, y utilizaron la tecnología para optimizar procesos y reducir costos. La programación del robot se realizó de forma mecánica utilizando el programa Arduino y ninguno optó por programar al robot con inteligencia artificial. Uno de los desafíos en los proyectos fue el desplazamiento del robot al realizar la siembra en terrenos irregulares; para esto utilizaron diferentes métodos de movilidad y potencia, como sistema de tracción de oruga o robot tetrápodo, entre otros.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, sin dejar de lado la interacción con los humanos. Una de las ventajas que posee la presente propuesta es que el dominio está programado con inteligencia artificial en lenguaje PDDL, permitiendo representar un problema de siembra de semillas y reforestación de árboles.

## VII. Dominio y problema PDDL

### Dominio PDDL

A continuación se presenta el dominio propuesto, el cual fue creado, desarrollado e implementado en lenguaje PDDL (archivo domain.pddl):

```
(define (domain treeworld)
  (:requirements :strips)
  (:predicates (tree ?tree)
               (robot-garra ?robot))
```

```
(location ?loc)
(loc-inicio ?ini)
(in-earth ?tree ?loc)
(in-forest ?loc ?forest)
(at ?robot ?ini)
(clear ?loc)
(forest ?forest)
(arm-empty)
(holding ?tree))

(:action pickup
  :parameters (?tree ?robot ?ini)
  :precondition (and (at ?tree ?ini)(arm-empty)
                    (at ?robot ?ini)(tree ?tree)
                    (robot-garra ?robot)(loc-inicio ?ini)
                    :effect (and (holding ?tree)(not (at ?tree ?ini))
                                (not (arm-empty))))))

(:action go
  :parameters (?tree ?robot ?loc ?ini ?forest)
  :precondition (and (holding ?tree)(at ?robot ?ini)(tree ?tree)
                    (robot-garra ?robot)(loc-inicio ?ini)(location ?loc)(forest ?forest)
                    (in-forest ?loc ?forest))
  :effect (and (at ?robot ?loc)(not(at ?robot ?ini))))))

(:action back
  :parameters(?tree ?robot ?loc ?ini ?forest)
  :precondition(and(arm-empty)(at ?robot ?loc)(tree ?tree)
                (robot-garra ?robot)(loc-inicio ?ini)(location ?loc)(forest ?forest)(in-earth ?tree ?loc))
  :effect(and(not(at ?robot ?loc))(at ?robot ?ini))))

(:action plant
  :parameters(?tree ?robot ?loc ?forest)
```

```
:precondition(and(at ?robot ?loc)(clear ?loc)
(tree ?tree)(forest ?forest)
(in-forest ?loc ?forest)(robot-garra ?robot)
(location ?loc)(holding ?tree))
:effect(and(not(holding ?tree))(in-earth ?tree
?loc)(arm-empty)(not(clear ?loc))))
```

### Dominio: lista de predicados

- **(tree ?tree):** Es necesario un árbol (?tree) para poder plantarlo.
- **(robot-garra ?robot):** Es necesario un robot (?robot) para poder desplazar y sembrar el árbol.
- **(location ?loc):** Para poder sembrar un árbol necesitamos una coordenada (?loc).
- **(loc-inicio ?ini):** Es necesario una ubicación inicial (?ini) donde estarán los árboles y el robot al inicio del problema.
- **(in-earth ?tree ?loc):** Establece que ?tree (árbol) está sembrado en ?loc (coordenada).
- **(in-forest ?loc ?forest):** Establece que ?loc (coordenada) está en ?forest (bosque).
- **(at ?robot ?ini):** Establece que ?robot (robot) está en ?ini (coordenada inicial).
- **(clear ?loc):** Establece que ?loc (coordenada) está vacía.
- **(forest ?forest):** Para poder reforestar necesitamos un bosque (?forest).
- **(arm-empty):** El brazo está vacío.
- **(holding ?tree):** Al árbol (?tree) lo están sosteniendo.

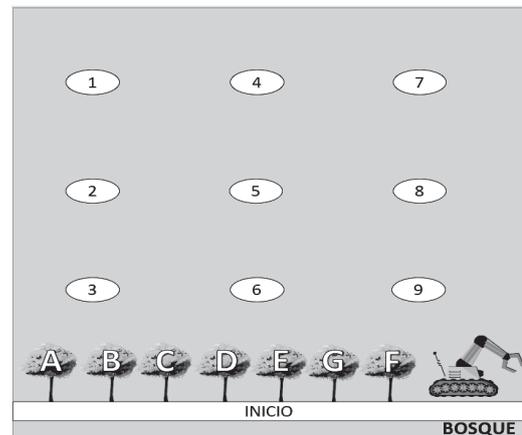
### Dominio: lista de acciones

- **pickup:** Esta acción es utilizada para recoger árboles.
- **go:** Esta acción se utiliza cuando el robot se desplaza del inicio a una coordenada.
- **back:** Esta acción se utiliza cuando el robot se desplaza de una coordenada al inicio.
- **plant:** Esta acción se utiliza para plantar un árbol en una coordenada.

### Descripción del problema

Para este problema se ha definido un ejercicio supuesto con el que se realizarán las pruebas del dominio planteado anteriormente. Cabe aclarar que este ejercicio se asemeja a un problema real que puede presentarse en el contexto de siembra de semillas y reforestación de árboles. El ejercicio supuesto es el siguiente: El plan de desarrollo destinado para el año 2022 en el territorio antioqueño tiene como finalidad desplegar un proyecto de reforestación en Caucasia. El proyecto consiste en la siembra de árboles de Guayacán en 2 hectáreas del territorio. Para su ejecución se cuenta con nueve coordenadas preestablecidas. La función del robot propuesto es plantar siete árboles distribuidos entre los distintos puntos del bosque, como se ve en las Figuras 2 y 3.

Figura 2. Estado inicial del problema.



Fuente: Elaboración propia (2021)

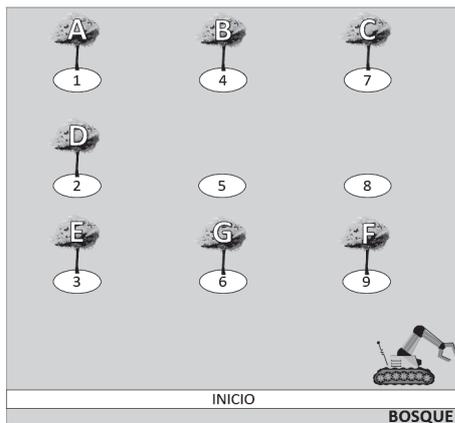
En la Figura 2 el robot y los siete árboles parten desde un punto "INICIO" y estos deben plantarse, según corresponda, en las coordenadas establecidas. Este proceso puede verse en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Correspondencia de árbol, punto y coordenadas del estado final del problema.

Árbol	Punto	Coordenada
<b>A</b>	1	(A-1)
<b>B</b>	4	(B-4)
<b>C</b>	7	(C-7)
<b>D</b>	2	(D-2)
<b>E</b>	3	(E-3)
<b>F</b>	9	(F-9)
<b>G</b>	6	(G-6)

Fuente: Elaboración propia (2021)

**Figura 3.** Estado final del problema.



Fuente: Elaboración propia (2021)

La Figura 3 muestra el estado final del problema, indicando cómo quedarían plantados los siete árboles según el punto establecido. También muestra la ubicación final del robot, después de realizar las acciones necesarias para ubicar los árboles.

**Tabla 3.** Descripción de elementos de las Figuras 2 y 3.

Imagen	Descripción
	Bosque
	Punto
	Árbol
	Robot
INICIO	Punto de partida de los árboles y el robot

Fuente: Elaboración propia (2021)

El problema planteado anteriormente pudo modelarse en lenguaje PDDL, con sus respectivos estado inicial y estado final, según fue establecido. A continuación se detalla el archivo (problem.pddl):

### Problema PDDL

```
(define (problem one)
  (:domain treeworld)
  (:objects treeA treeB treeC treeD treeE treeF
    treeG
    forest1 robot1 inicio forest1-1 forest1-2
    forest1-3 forest1-4
    forest1-5 forest1-6 forest1-7 forest1-8
    forest1-9
  )
  (:init (tree treeA)
    (tree treeB)
    (tree treeC)
    (tree treeD)
```

```
(tree treeE)
(tree treeF)
(tree treeG)
(forest forest1)
(location forest1-1)
(location forest1-2)
(location forest1-3)
(location forest1-4)
(location forest1-5)
(location forest1-6)
(location forest1-7)
(location forest1-8)
(location forest1-9)
(loc-inicio inicio)
(robot-garra robot1)
(at treeA inicio)
(at treeB inicio)
(at treeC inicio)
(at treeD inicio)
(at treeE inicio)
(at treeF inicio)
(at treeG inicio)
(at robot1 inicio)
(clear forest1-1)
(clear forest1-2)
(clear forest1-3)
(clear forest1-4)
(clear forest1-5)
(clear forest1-6)
(clear forest1-7)
(clear forest1-8)
(clear forest1-9)
(in-forest forest1-1 forest1)
(in-forest forest1-2 forest1)
(in-forest forest1-3 forest1)
(in-forest forest1-4 forest1)
(in-forest forest1-5 forest1)
(in-forest forest1-6 forest1)
(in-forest forest1-7 forest1)
(in-forest forest1-8 forest1)
(in-forest forest1-9 forest1)
(arm-empty)
)
```

```
(:goal (and(in-earth treeA forest1-1)
(in-earth treeB forest1-4)
(in-earth treeC forest1-7)
(in-earth treeD forest1-2)
(in-earth treeE forest1-3)
(in-earth treeF forest1-9)
(in-earth treeG forest1-6)
(at robot1 inicio))))
```

### Problema: lista de objetos:

- Árboles A-G:

```
treeA
treeB
treeC
treeD
treeE
treeF
treeG
```

### Bosque:

```
forest1
Robot:
robot1
```

- Posición de inicio:  
inicio
- Coordenadas en el bosque 1-9:  
forest1-1  
forest1-2  
forest1-3  
forest1-4  
forest1-5  
forest1-6  
forest1-7  
forest1-8  
forest1-9

## VIII. Resultados

El resultado obtenido por el planificador en la herramienta web PDDL Editor fue un plan total de 28 acciones, mostradas en la Figura 4. El robot

realizó cuatro acciones por cada árbol a sembrar; por consiguiente, el robot finalizó su cometido de plantar siete árboles mediante 28 acciones o conjunto de estados. En la Tabla 4 se presenta una muestra detallada del plan obtenido en PDDL Editor.

**Figura 4.** Resultado del plan obtenido en PDDL.

```

pickup treeG robot1 inicio
  go treeG robot1 forest1-6 inicio forest1
    plant treeG robot1 forest1-6 forest1
      back treeG robot1 forest1-6 inicio forest1
        pickup treeF robot1 inicio
          go treeF robot1 forest1-9 inicio forest1
            plant treeF robot1 forest1-9 forest1
              back treeF robot1 forest1-9 inicio forest1
                pickup treeE robot1 inicio
                  go treeE robot1 forest1-3 inicio forest1
                    plant treeE robot1 forest1-3 forest1
                      back treeE robot1 forest1-3 inicio forest1
                        pickup treeD robot1 inicio
                          go treeD robot1 forest1-2 inicio forest1
                            plant treeD robot1 forest1-2 forest1
                              back treeD robot1 forest1-2 inicio forest1
                                pickup treeC robot1 inicio
                                  go treeC robot1 forest1-7 inicio forest1
                                    plant treeC robot1 forest1-7 forest1
                                      back treeC robot1 forest1-7 inicio forest1
                                        pickup treeB robot1 inicio
                                          go treeB robot1 forest1-4 inicio forest1
                                            plant treeB robot1 forest1-4 forest1
                                              back treeB robot1 forest1-4 inicio forest1
                                                pickup treeA robot1 inicio
                                                  go treeA robot1 forest1-1 inicio forest1
                                                    plant treeA robot1 forest1-1 forest1
                                                      back treeA robot1 forest1-1 inicio forest1

```

Fuente: Visual Studio Code (Extensión PDDL v2.22.6, 2021)

**Tabla 4.** Muestra detallada de cuatro estados del plan obtenido en PDDL Editor.

1- (pickup treeg robot1 inicio)	2- (go treeg robot1 forest1-6 inicio forest1)
<pre>(:action pickup :parameters (treeg robot1 inicio) :precondition (and (at treeg inicio) (arm-empty) (at robot1 inicio) (tree treeg) (robot-garra robot1) (loc-inicio inicio) ) :effect (and (holding treeg) (not (at treeg inicio) ) (not (arm-empty) ) ) )</pre>	<pre>(:action go :parameters (treeg robot1 forest1-6 inicio forest1) :precondition (and (holding treeg) (at robot1 inicio) (tree treeg) (robot-garra robot1) (loc-inicio inicio) (location forest1-6) (forest forest1) (in-forest forest1-6 forest1) ) :effect (and (at robot1 forest1-6) (not (at robot1 inicio) ) ) )</pre>

**3- (plant treeg robot1 forest1-6 forest1)**

```
(:action plant
  :parameters (treeg robot1 forest1-6 forest1)
  :precondition
    (and
      (at robot1 forest1-6)
      (clear forest1-6)
      (tree treeg)
      (forest forest1)
      (in-forest forest1-6 forest1)
      (robot-garra robot1)
      (location forest1-6)
      (holding treeg)
    )
  :effect
    (and
      (not
        (holding treeg)
      )
      (in-earth treeg forest1-6)
      (arm-empty)
      (not
        (clear forest1-6)
      )
    )
)
```

**4- (back treeg robot1 forest1-6 inicio forest1)**

```
(:action back
  :parameters (treeg robot1 forest1-6 inicio forest1)
  :precondition
    (and
      (arm-empty)
      (at robot1 forest1-6)
      (tree treeg)
      (robot-garra robot1)
      (loc-inicio inicio)
      (location forest1-6)
      (forest forest1)
      (in-earth treeg forest1-6)
    )
  :effect
    (and
      (not
        (at robot1 forest1-6)
      )
      (at robot1 inicio)
    )
)
```

Para mayor profundización sobre el plan obtenido, véase el apartado Anexos.

## IX. Conclusiones y trabajo futuro

A partir de la investigación realizada, puede observarse que hemos definido un dominio en lenguaje PDDL que puede utilizarse de manera simple para representar un problema de un robot reforestador basado en planificación automática, en el contexto de siembra y reforestación. Para la definición del dominio se establecieron 11 predicados y 4 acciones. A partir de lo anterior, pudimos crear, diseñar e implementar en PDDL un problema supuesto de reforestación de árboles, enmarcado en el plan de desarrollo destinado para el año 2022 en el territorio antioqueño, que tiene como finalidad desplegar un proyecto de reforestación en Cauca. Logramos probar nuestro dominio con el problema de siembra de siete árboles de Guayacán en nueve puntos distribuidos en siete coordenadas. El robot inteligente, para asegurar la siembra de cada árbol, requirió las cuatro acciones propuestas en el dominio, en el siguiente orden: pickup, go, plant, back. De esta manera, se obtuvo un plan de 28 acciones que resuelven el problema de forma satisfactoria, puesto que se consiguió llegar al estado final con la menor cantidad de acciones posibles. Cabe resaltar que modelar un dominio en PDDL es una tarea compleja, sobre todo cuando existen detalles propios del dominio en cuestión, así que contar con personas expertas en el área a modelar facilitará la definición del dominio y el problema en lenguaje PDDL.

Por otro lado, se siguieron las cuatro fases del proceso de investigación, teniendo como resultado la selección del área temática, el planteamiento del problema, delimitación de la investigación, marco teórico, diseño e implementación del dominio y problema en lenguaje PDDL, análisis y, por último, síntesis de información.

En el futuro, definiremos un problema (caso de estudio) junto con Corantioquia y lo implementaremos en lenguaje PDDL, para observar el funcionamiento de nuestro dominio en el tratamiento de dicho problema y, así, contribuir al desarrollo sostenible dentro del Plan de Acción 2020-2023 "Protegiendo ecosistemas naturales", que tiene como objetivo la implementación

de acciones de restauración, rehabilitación y reforestación de áreas protegidas. Otras posibles líneas de investigación incluyen el uso de diferentes planificadores para estudiar el funcionamiento de nuestro dominio, así como incluir funciones de coste que complementen al dominio y permitan tener una métrica relacionada con reducir el coste del plan obtenido.

## X. Referencias

- [1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *Resultados de monitoreo de reforestación 2019*. 9 de julio de 2020 [En línea]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/105413996/presentacionbalancedeforestacion2019/7c9323fc-d0a1-4c95-b1a1-1892b162c067#:~:text=Para%20el%20año%202019%20la,2018%20cuando%20fue%20de%2012%25.&text=En%20la%20Orinoquía%20se%20consolidan,el%20curso%20del%20río%20Vichada>
- [2] A. R. López Guevara y D. C. López Guevara, "Desarrollo de una herramienta de educación ambiental enfocado en técnicas básicas de reforestación en Colombia", Trabajo de grado. Bogotá, D.C., 2021. Repositorio Institucional UCC [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/34984>
- [3] M. I. Gómez López y L. Calle Páez, "Colombia y sus bosques frente a la acción climática", Tesis de especialización. Bogotá, D.C., 2018. Repositorio Institucional Universidad Militar Nueva Granada [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/17936>
- [4] "Colombia: el camino a la reforestación de los 180 millones de árboles antes de 2022", *CONtexto Ganadero*, 9 de marzo de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/politica/colombia-el-camino-la-reforestacion-de-los-180-millones-de-arboles-antes-de-2022>
- [5] A. A. Sosa Navarro y M. A. Puellas Palacios, "Diseño de un robot móvil de dos hileras para trasplante de plántulas de arroz en sembríos de la costa norte peruana", Trabajo de grado. Lima, 2020. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3580>

- [6] J. C. Flórez González y V. M. Castellanos Pabón, "Diseño en Autocad de robot sembrador de semillas de fresa: Fresabot III", Tesis de especialización. Bogotá D.C., 2019. Repositorio Institucional Universidad Distrital Francisco José de Caldas [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/16257>
- [7] R. D. Díaz Araque, "Diseño y construcción de un prototipo de robot tetrápodo sembrador de semillas para leguminosas", Trabajo de grado. Sangolquí, 2018. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15131>
- [8] A. A. Bukovits y S. D. Núñez Romagnoli, "Simulación de aplicación de un robot forestador", Trabajo de grado. Argentina, 2018. Repositorio Institucional UADE [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/handle/123456789/8137>
- [9] D. J. Duarte Gordillo y A. D. Rincón Rodríguez, "Ingeniería de detalle para un robot sembrador de semillas de maíz", Trabajo de grado. Bogotá, D.C., 2019. Repositorio Institucional Universidad Distrital Francisco José de Caldas [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/23182>
- [10] H. F. González Gavilanes y M. G. Carrillo Trujillo, "Implementación de un prototipo de robot sembrador de papa en terrenos sin inclinación para pequeños productores", Trabajo de grado. Riobamba, 2019. DBRAI Escuela Superior Politécnica de Chimborazo [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13686>
- [11] A. Marrella, "Automated Planning for Business Process Management", *Journal on Data Semantics*, vol. 8, no. 2, pp. 79-98, noviembre de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13740-018-0096-0>
- [12] C. A. Cocosco, "A review of STRIPS: A new approach to the application of theorem proving to problem solving by R.E. Fikes, N.J. Nilsson, 1971", *Artificial Intelligence*, no. 4, pp. 304-526B, 1998.
- [13] J. Ortiz Pérez-Jaraiz, "Planificación en sistemas robotizados mediante PDDL y ROS", Trabajo de grado. 2021. Biblioteca Digital Universidad de Alcalá [En línea]. Disponible en: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/49634>
- [14] J. L. Usero Vílchez, "PLAGUE: Un editor visual para PDDL", Trabajo de grado. Málaga, 2015. Repositorio Institucional Universidad de Málaga [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10630/11652>
- [15] S. J. Russell y P. Norvig, *Inteligencia artificial. Un enfoque moderno*, 2ª ed. Madrid: Pearson Educación, 2004.
- [16] M. Gelfond y Y. Kahl, *Knowledge Representation, Reasoning, and the Design of Intelligent Agents. The Answer-Set Programming Approach*. New York: Cambridge University Press, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139342124>
- [17] F. Caro Herranz, "Sistemas de construcción de mapas en PDDL para la planificación automática", Trabajo de grado. Madrid, 2016. Biblioteca Universidad Carlos III de Madrid [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/23310>
- [18] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *Global Forest Resources Assessment 2000*. Roma: FAO, 2001 [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/forestry/fra/86624/en/>
- [19] J. P. Aragón Rodríguez, "El deber que tiene el Estado Colombiano de realizar y fomentar acciones de reforestación, para cumplir con la conservación y protección del medioambiente", Trabajo de grado. Bogotá, 2019. Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia – RIUCaC [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/23456>
- [20] C. Sabino, *El proceso de investigación*. Buenos Aires: Lumen, 1996.

## ANEXOS

### PLAN COMPLETO EN LENGUAJE PDDL (HERRAMIENTA: PDDL EDITOR)

#### 1- (pickup treeg robot1 inicio)

```
(:action pickup
:parameters (treeg robot1 inicio)
:precondition
(and
(at treeg inicio)
(arm-empty)
(at robot1 inicio)
(tree treeg)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
)
:effect
(and
(holding treeg)
(not
(at treeg inicio)
)
(not
(arm-empty)
)
)
)
```

#### 2- (go treeg robot1 forest1-6 inicio forest1)

```
(:action go
:parameters (treeg robot1 forest1-6 inicio forest1)
:precondition
(and
(holding treeg)
(at robot1 inicio)
(tree treeg)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-6)
(forest forest1)
(in-forest forest1-6 forest1)
)
:effect
(and
(at robot1 forest1-6)
(not
(at robot1 inicio)
)
)
)
```

#### 3- (plant treeg robot1 forest1-6 forest1)

```
(:action plant
:parameters (treeg robot1 forest1-6 forest1)
:precondition
(and
(at robot1 forest1-6)
(clear forest1-6)
(tree treeg)
(forest forest1)
(in-forest forest1-6 forest1)
(robot-garra robot1)
(location forest1-6)
(holding treeg)
)
:effect
(and
(not
(holding treeg)
)
(in-earth treeg forest1-6)
(arm-empty)
(not
(clear forest1-6)
)
)
)
```

#### 4- (back treeg robot1 forest1-6 inicio forest1)

```
(:action back
:parameters (treeg robot1 forest1-6 inicio forest1)
:precondition
(and
(arm-empty)
(at robot1 forest1-6)
(tree treeg)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-6)
(forest forest1)
(in-earth treeg forest1-6)
)
:effect
(and
(not
(at robot1 forest1-6)
)
(at robot1 inicio)
)
)
```

**5- (pickup treef robot1 inicio)**

```
(:action pickup
:parameters (treef robot1 inicio)
:precondition
(and
(at treef inicio)
(arm-empty)
(at robot1 inicio)
(tree treef)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
)
:effect
(and
(holding treef)
(not
(at treef inicio)
)
(not
(arm-empty)
)
)
)
)
```

**6- (go treef robot1 forest1-9 inicio forest1)**

```
(:action go
:parameters (treef robot1 forest1-9 inicio forest1)
:precondition
(and
(holding treef)
(at robot1 inicio)
(tree treef)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-9)
(forest forest1)
(in-forest forest1-9 forest1)
)
:effect
(and
(at robot1 forest1-9)
(not
(at robot1 inicio)
)
)
)
```

**7- (plant treef robot1 forest1-9 forest1)**

```
(:action plant
:parameters (treef robot1 forest1-9 forest1)
:precondition
(and
(at robot1 forest1-9)
(clear forest1-9)
(tree treef)
(forest forest1)
(in-forest forest1-9 forest1)
(robot-garra robot1)
(location forest1-9)
(holding treef)
)
:effect
(and
(not
(holding treef)
)
(in-earth treef forest1-9)
(arm-empty)
(not
(clear forest1-9)
)
)
)
)
```

**8- (back treef robot1 forest1-9 inicio forest1)**

```
(:action back
:parameters (treef robot1 forest1-9 inicio forest1)
:precondition
(and
(arm-empty)
(at robot1 forest1-9)
(tree treef)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-9)
(forest forest1)
(in-earth treef forest1-9)
)
:effect
(and
(not
(at robot1 forest1-9)
)
(at robot1 inicio)
)
)
```

**9- (pickup treee robot1 inicio)**

```
(:action pickup
:parameters (treee robot1 inicio)
:precondition
(and
(at treee inicio)
(arm-empty)
(at robot1 inicio)
(tree treee)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
)
:effect
(and
(holding treee)
(not
(at treee inicio)
)
(not
(arm-empty)
)
)
)
)
```

**10- (go treee robot1 forest1-3 inicio forest1)**

```
(:action go
:parameters (treee robot1 forest1-3 inicio forest1)
:precondition
(and
(holding treee)
(at robot1 inicio)
(tree treee)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-3)
(forest forest1)
(in-forest forest1-3 forest1)
)
:effect
(and
(at robot1 forest1-3)
(not
(at robot1 inicio)
)
)
)
```

**11- (plant treee robot1 forest1-3 forest1)**

```
(:action plant
:parameters (treee robot1 forest1-3 forest1)
:precondition
(and
(at robot1 forest1-3)
(clear forest1-3)
(tree treee)
(forest forest1)
(in-forest forest1-3 forest1)
(robot-garra robot1)
(location forest1-3)
(holding treee)
)
:effect
(and
(not
(holding treee)
)
(in-earth treee forest1-3)
(arm-empty)
(not
(clear forest1-3)
)
)
)
```

**12- (back treee robot1 forest1-3 inicio forest1)**

```
(:action back
:parameters (treee robot1 forest1-3 inicio forest1)
:precondition
(and
(arm-empty)
(at robot1 forest1-3)
(tree treee)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-3)
(forest forest1)
(in-earth treee forest1-3)
)
:effect
(and
(not
(at robot1 forest1-3)
)
(at robot1 inicio)
)
)
```

**13- (pickup treed robot1 inicio)**

```
(:action pickup
:parameters (treed robot1 inicio)
:precondition
(and
(at treed inicio)
(arm-empty)
(at robot1 inicio)
(tree treed)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
)
:effect
(and
(holding treed)
(not
(at treed inicio)
)
(not
(arm-empty)
)
)
)
)
```

**14- (go treed robot1 forest1-2 inicio forest1)**

```
(:action go
:parameters (treed robot1 forest1-2 inicio forest1)
:precondition
(and
(holding treed)
(at robot1 inicio)
(tree treed)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-2)
(forest forest1)
(in-forest forest1-2 forest1)
)
:effect
(and
(at robot1 forest1-2)
(not
(at robot1 inicio)
)
)
)
```

**15- (plant treed robot1 forest1-2 forest1)**

```
(:action plant
:parameters (treed robot1 forest1-2 forest1)
:precondition
(and
(at robot1 forest1-2)
(clear forest1-2)
(tree treed)
(forest forest1)
(in-forest forest1-2 forest1)
(robot-garra robot1)
(location forest1-2)
(holding treed)
)
:effect
(and
(not
(holding treed)
)
(in-earth treed forest1-2)
(arm-empty)
(not
(clear forest1-2)
)
)
)
```

**16- (back treed robot1 forest1-2 inicio forest1)**

```
(:action back
:parameters (treed robot1 forest1-2 inicio forest1)
:precondition
(and
(arm-empty)
(at robot1 forest1-2)
(tree treed)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-2)
(forest forest1)
(in-earth treed forest1-2)
)
:effect
(and
(not
(at robot1 forest1-2)
)
(at robot1 inicio)
)
)
```

**17- (pickup treec robot1 inicio)**

```
(:action pickup
:parameters (treec robot1 inicio)
:precondition
(and
(at treec inicio)
(arm-empty)
(at robot1 inicio)
(tree treec)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
)
:effect
(and
(holding treec)
(not
(at treec inicio)
)
(not
(arm-empty)
)
)
)
)
```

**18- (go treec robot1 forest1-7 inicio forest1)**

```
(:action go
:parameters (treec robot1 forest1-7 inicio forest1)
:precondition
(and
(holding treec)
(at robot1 inicio)
(tree treec)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-7)
(forest forest1)
(in-forest forest1-7 forest1)
)
:effect
(and
(at robot1 forest1-7)
(not
(at robot1 inicio)
)
)
)
```

**19- (plant treec robot1 forest1-7 forest1)**

```
(:action plant
:parameters (treec robot1 forest1-7 forest1)
:precondition
(and
(at robot1 forest1-7)
(clear forest1-7)
(tree treec)
(forest forest1)
(in-forest forest1-7 forest1)
(robot-garra robot1)
(location forest1-7)
(holding treec)
)
:effect
(and
(not
(holding treec)
)
(in-earth treec forest1-7)
(arm-empty)
(not
(clear forest1-7)
)
)
)
```

**20- (back treec robot1 forest1-7 inicio forest1)**

```
(:action back
:parameters (treec robot1 forest1-7 inicio forest1)
:precondition
(and
(arm-empty)
(at robot1 forest1-7)
(tree treec)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-7)
(forest forest1)
(in-earth treec forest1-7)
)
:effect
(and
(not
(at robot1 forest1-7)
)
(at robot1 inicio)
)
)
```

**21- (pickup treeb robot1 inicio)**

```
(:action pickup
:parameters (treeb robot1 inicio)
:precondition
(and
(at treeb inicio)
(arm-empty)
(at robot1 inicio)
(tree treeb)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
)
:effect
(and
(holding treeb)
(not
(at treeb inicio)
)
(not
(arm-empty)
)
)
)
)
```

**22- (go treeb robot1 forest1-4 inicio forest1)**

```
(:action go
:parameters (treeb robot1 forest1-4 inicio forest1)
:precondition
(and
(holding treeb)
(at robot1 inicio)
(tree treeb)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-4)
(forest forest1)
(in-forest forest1-4 forest1)
)
:effect
(and
(at robot1 forest1-4)
(not
(at robot1 inicio)
)
)
)
```

**23- (plant treeb robot1 forest1-4 forest1)**

```
(:action plant
:parameters (treeb robot1 forest1-4 forest1)
:precondition
(and
(at robot1 forest1-4)
(clear forest1-4)
(tree treeb)
(forest forest1)
(in-forest forest1-4 forest1)
(robot-garra robot1)
(location forest1-4)
(holding treeb)
)
:effect
(and
(not
(holding treeb)
)
(in-earth treeb forest1-4)
(arm-empty)
(not
(clear forest1-4)
)
)
)
```

**24- (back treeb robot1 forest1-4 inicio forest1)**

```
(:action back
:parameters (treeb robot1 forest1-4 inicio forest1)
:precondition
(and
(arm-empty)
(at robot1 forest1-4)
(tree treeb)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-4)
(forest forest1)
(in-earth treeb forest1-4)
)
:effect
(and
(not
(at robot1 forest1-4)
)
(at robot1 inicio)
)
)
```

**25- (pickup treea robot1 inicio)**

```
(:action pickup
:parameters (treea robot1 inicio)
:precondition
(and
(at treea inicio)
(arm-empty)
(at robot1 inicio)
(tree treea)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
)
:effect
(and
(holding treea)
(not
(at treea inicio)
)
(not
(arm-empty)
)
)
)
)
```

**26- (go treea robot1 forest1-1 inicio forest1)**

```
(:action go
:parameters (treea robot1 forest1-1 inicio forest1)
:precondition
(and
(holding treea)
(at robot1 inicio)
(tree treea)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-1)
(forest forest1)
(in-forest forest1-1 forest1)
)
:effect
(and
(at robot1 forest1-1)
(not
(at robot1 inicio)
)
)
)
)
```

**27- (plant treea robot1 forest1-1 forest1)**

```
(:action plant
:parameters (treea robot1 forest1-1 forest1)
:precondition
(and
(at robot1 forest1-1)
(clear forest1-1)
(tree treea)
(forest forest1)
(in-forest forest1-1 forest1)
(robot-garra robot1)
(location forest1-1)
(holding treea)
)
:effect
(and
(not
(holding treea)
)
(in-earth treea forest1-1)
(arm-empty)
(not
(clear forest1-1)
)
)
)
)
```

**28- (back treea robot1 forest1-1 inicio forest1)**

```
(:action back
:parameters (treea robot1 forest1-1 inicio forest1)
:precondition
(and
(arm-empty)
(at robot1 forest1-1)
(tree treea)
(robot-garra robot1)
(loc-inicio inicio)
(location forest1-1)
(forest forest1)
(in-earth treea forest1-1)
)
:effect
(and
(not
(at robot1 forest1-1)
)
(at robot1 inicio)
)
)
)
```



# Una revisión del impacto de la adopción de la metodología Lean Construction en los proyectos de construcción

*A review of the impact of the adoption of Lean Construction methodology in construction projects*

Sócrates P. Muñoz Pérez<sup>1</sup>, Nelson M. Gómez Ormeño<sup>2</sup>, Jorge R. Ticona Juárez<sup>3</sup>

**Tipo de Artículo:** Investigación revisión.  
**Recibido:** 21/12/21 **Aprobado:** 23/09/22 **Publicado:** 18/12/2022

**Resumen:** Lean Construction es un sistema de métodos innovadores de gestión de procesos en la construcción, puesto que es una herramienta eficaz para optimizar los resultados del trabajo: el tiempo y el costo del trabajo se reducen al mejorar constantemente la eficacia del producto final. La finalidad de este documento es evaluar de manera sistemática la adopción de la metodología Lean Construction en proyectos de construcción. Se realizó un análisis cualitativo mediante el cual se revisaron 80 documentos indexados entre los años 2017 y 2021, distribuidos de la siguiente manera:

61 artículos son de Scopus, 17 de Science Direct y 2 de EBSCO. En conclusión, la metodología Lean Construction en proyectos de construcción muestra que es un enfoque sistémico que sirve para satisfacer las expectativas del cliente, maximizando el valor añadido y reduciendo todas las formas de desperdicio, así como también aporta mucho a las construcciones optimizando el proceso productivo a nivel estratégico y de gestión operativa.

**Palabras clave:** Metodología Lean, construcción, desperdicios, costos.

1 Doctor. Universidad Señor de Sipán. Perú, Lambayeque. msocrates@crece.uss.edu.pe, pedro\_munoz19@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>.

2 Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Señor de Sipán. Perú, Lambayeque. gormenonelsonma@crece.uss.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-7343>.

3 Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Señor de Sipán. Perú, Lambayeque. tjuarezjorgerra@crece.uss.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-0791>

**Abstract:** Lean Construction is a method of innovating methods of process management in construction, as it is an effective tool for optimizing work results: labor time and labor cost are reduced by constantly increasing the efficiency of the end result. The goal of this document is to systematically evaluate the adoption of the Lean Methodology in projects of construction. A qualitative analysis was conducted whereby 80 indexed papers were reviewed between 2017 and 2021, distributed as follows: 61 articles are from Scopus, 17 from Science Direct and 2 from EBSCO. In conclusion, the Lean Construction methodology in construction projects shows that it is a systemic approach that serves to meet the expectations of the client, maximizing the added value and reduce all forms of waste, as well as brings much to the construction by optimizing the production process at the strategic level and operational management. This article identified the need to create and implement a garbage classification system, since twice as much garbage is being generated on the day and only 17 percent of it will be recovered, according to research carried out within the facilities. From the technology of Antioquia, a survey was used that identifies how people recycle, recycle or consume and if they would like the implementation of a machine that helps them separate garbage, applying a quantitative methodology for the analysis and planning of technology using artificial intelligence within the institution.

**Keywords:** Lean methodology, construction, waste, costs.

## I. Introducción

El concepto *Lean* ha dado como resultado mejoras significativas y duraderas en la productividad, la calidad, una mejor gestión de residuos y otras métricas de rendimiento. Tiene procedencia en Toyota Production System (TPS) y ha sido reconocido por líderes industriales y comerciales de todo el mundo [1]. Como resultado, la industria de la construcción (IC) fue una de las primeras en iniciar el pensamiento y la ingeniería Lean. El principio Lean (PL) es un método complejo a largo plazo para aplicar y pagar recompensas. La IC se ha enfrentado a muchas complejidades y

desafíos comunes en la implementación del PL, al igual que otras industrias de fabricación durante la última década [2].

Desde 1990, debido al éxito del pensamiento en la fabricación, se han realizado esfuerzos notables para aplicar Lean Construction en la IC. A pesar de la falta de documentación en algunos casos, algunos investigadores describieron los resultados de la implementación de LC como "revolucionarios" [3]. Estos resultados incluyen ahorro de costos, productividad, calidad, tasa de seguridad y accidentes, sustentabilidad, entorno de trabajo colaborativo y relaciones entre socios, gestión del inventario, organización del sitio, programación y previsibilidad del trabajo, satisfacción laboral y satisfacción del cliente [4].

La implementación de LC fue notable en varias áreas alrededor del mundo, donde se ha comprendido bien su papel para gestionar mejor los proyectos de construcción (PC), gestión que, a su vez, optimiza los resultados y las prácticas en la IC [5]. El sector de la construcción (SC) es de suma importancia en el desarrollo del país porque satisface las necesidades de infraestructura para las actividades económicas, sociales y de desarrollo [6].

Sin embargo, en los sistemas de construcción tradicional, la falta de planificación da lugar a pérdidas tanto económicas como de tiempo. Su bajo rendimiento hace que surja la posibilidad de aplicar la metodología LC, ya que esta contempla los requisitos futuros de la industria y pretende también lograr una mayor eficiencia [7].

LC es una de las estrategias de la ingeniería para resolver los problemas de planificaciones organizacionales. Uno de los aspectos esenciales para estudiar esta metodología es la gestión de actividades realizadas en el sector civil, lo que se denomina último planificador en la construcción Lean [8].

La mayoría de los PC se caracteriza por el incumplimiento del tiempo, la falta de calidad, el costo y una alta tasa de accidentes. Es por ello que LC es una nueva filosofía capaz de ofrecer mejoras innovadoras en el SC, es decir, es un enfoque

sistemático para satisfacer las expectativas del cliente maximizando el valor agregado y minimizando todas las formas de desperdicio [9].

Los PC suelen sufrir retrasos y otras incertidumbres relacionadas con el tiempo; implican varios factores de riesgo que afectan a los objetivos de tiempo y pueden llevar a un exceso de tiempo. Los retrasos suelen desencadenarse debido a la escasa comunicación, la falta de claridad de los requisitos del proyecto y los malentendidos habituales en el SC [10].

El sistema de producción Lean es un enfoque de colaboración de varios parámetros hacia la maximización de los beneficios o la producción con el mínimo desperdicio. Por lo tanto, LC es un tipo de innovación en la IC, ya que su enfoque es diferente del convencional. Cada vez que se produce un cambio en una determinada disposición, se produce un retroceso en su uso como innovación [11].

Los despilfarros en los PC, tales como los desperdicios en materiales, tiempo, recursos y en la consecución de las necesidades del cliente, pueden minimizarse utilizando la nueva filosofía LC, demostrando que el efecto Lean guarda una correlación positiva con los distintos niveles de residuos [12].

El entorno físico en el que operan los PC para los clientes se traduce a la fabricación ajustada, dado que proporciona una visión de transformación, procesos y valores que respaldan un flujo de trabajo claro, lo que mejora el logro de los objetivos propios. Asimismo, las experiencias sobre los PC contribuyen a la construcción de literatura sobre gestión y LC sobre valor social [13].

LC es uno de los métodos utilizados para restablecer el control de los PC, eliminando la pérdida de tiempo y materiales. En los últimos años, el Lean está recibiendo más atención por parte de la industria de la construcción, y para beneficiarse de ello, los pioneros del sector de la construcción intentan aplicarlo en sus proyectos. Aunque todavía no está muy extendido el uso de Lean, los casos de estudio en los que

se implementó muestran la importancia de implementar Lean en un PC [14].

A pesar de que la filosofía Lean es un fenómeno emergente en la gestión de proyectos productivos, la reducción de residuos y la mejora de la sostenibilidad, la industria de la construcción sigue esforzándose por lograr estos beneficios, dado que no existe conciencia de prácticas adecuadas para lograrlo. Las empresas que implementan procesos Lean, pero no logran el éxito inicial de inmediato, probablemente la abandonen en el futuro debido a los problemas que enfrentan [15].

La calidad de la entrega de un proyecto (CEP) es un objetivo potencial del equipo de construcción, ya que trabaja para mejorar esta calidad a través de las etapas del proyecto, tanto del diseño como de la construcción [16]. Por ende, es de vital importancia tener conocimiento de los factores que afectan la calidad de la entrega de un proyecto, pues algunos estudios anteriores descubrieron que los métodos de entrega diseño-construcción (DC) y diseño-licitación-construcción (DLC) afectan notablemente la CEP tanto en el tiempo como en la comunicación y los planos [17].

Las formas de fomentar la adopción de técnicas prefabricadas y de fabricación *in situ* (FFO), como la construcción modular, mejoran la eficiencia en el sitio, haciendo que la tecnología sea más atractiva para los no usuarios [18]. Los principios Lean (PL) se han aplicado ampliamente para mejorar la productividad de la construcción, mientras que el uso Lean aumenta, ayudando a analizar cuantitativamente los beneficios y problemas de Lean antes de la implementación real [4].

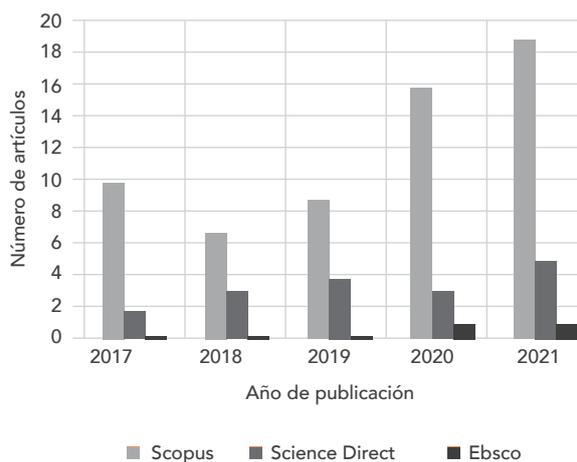
Las aplicaciones Lean tienen como objetivo maximizar la satisfacción del cliente y minimizar los residuos. Sin embargo, la filosofía Lean todavía no se entiende bien en la IC, debido a la naturaleza compleja y dinámica de la PL. Aunque los esfuerzos Lean en la construcción han ganado popularidad recientemente, todavía existen problemas en el proceso de implementación. Por lo tanto, es fundamental identificar los factores Lean críticos para liderar proyectos de manera más eficiente [19].

La presente revisión, en el contexto de la cuestión planteada, tiene como objetivo evaluar la información sobre el impacto de la construcción ajustada en los proyectos de construcción.

## II. Materiales y métodos

Para esta revisión se recopilieron artículos de bases de datos como Scopus y Science Direct referentes al tema. En la Figura 1 se observa la distribución en cantidad de investigaciones extraídas por bases de datos y años de búsqueda. El procedimiento que se siguió consiste en la búsqueda de investigaciones por medio de palabras clave usando operadores booleanos, como: impact AND Lean construction AND construction projects y Lean construction AND construction projects; además, se filtró por años de búsqueda (desde el 2017 al 2021), tipo de documento y área de alcance para fines específicos de estudio, tal como se ve en la Tabla 1. Finalmente, se logró recuperar 80 investigaciones científicas.

**Figura 1.** Distribución por años de búsqueda.



Fuente: Elaboración propia (2021)

**Tabla 1.** Categoría de búsqueda por palabras clave.

Base de datos	Palabra clave usando operadores booleanos	Años de búsqueda	Resultados de búsqueda	Filtros de áreas temáticas		Resultados de filtros	Artículos seleccionados
				Área	Tipo de documento		
Scopus	impact AND Lean construction AND construction projects	2017-2021	377	Engineering	Article/Review	69	36
	Lean construction AND construction projects	2017-2021	2.087	Engineering		262	25
Science Direct	Lean construction AND construction projects	2017-2021	15.439	Engineering	Research articles/ Review article	1.494	7
	impact AND Lean construction AND construction projects	2017-2021	10.689	Engineering		1.101	10
Ebsco	impact AND Lean construction AND construction projects	2017-2021	101	Engineering	Publicaciones académicas/ Publicaciones profesionales/ Revistas	50	2

Fuente: Elaboración propia (2021)

### III. Lean Construction: origen y principios

El éxito pionero del concepto de Lean Production (LP) de Toyota Production System (TPS) ha inspirado a otras industrias, incluida la IC, a adoptar el concepto Lean, el cual ha mejorado el desempeño de la organización en la industria automotriz. El término LC fue adoptado por la International Lean Construction Corporation (GILC) en su primera reunión en 1993 [7].

Hay muchos investigadores que intentan introducir principios Lean en la IC con esperanzas positivas. Entre ellos, Yücenur y Şenol [20] son los más destacados y disertaron sobre la aplicabilidad de "la nueva filosofía de producción" en 1992, obteniendo una gran atención positiva. Además, la teoría se elaboró con el nombre de teoría de la producción de transformación-flujo-valor (TFV) en la construcción [21].

Los principios fundamentales de la teoría TFV ayudan a realizar la producción de manera eficiente al aumentar el valor de los productos y reducir el desperdicio. La teoría también se ocupa de los problemas asociados con la seguridad, el horario y los costos [22]. Se refiere a la definición de la LC como una forma de concebir un sistema de producción con el objetivo de minimizar el desperdicio de material y optimizar el tiempo y el esfuerzo para generar el máximo valor añadido. A partir de esta definición de LC, queda claro que la teoría TFV tiene el mismo propósito que la manufactura esbelta de Lean y ambos principios minimizan el desperdicio y maximizan la productividad con un mayor valor del producto [23].

LP se enfoca en eliminar o reducir actividades sin valor agregado y promover actividades de valor agregado, como la teoría de producción TFV. Otro hito importante en el LC fue el trabajo que hicieron Ballard y Howell sobre el cambio en el proceso de construcción. Su concepto ha llevado a una herramienta de planificación de procesos de construcción basada en Lean, el último sistema de planificación (LPS) [24].

Otros estudios importantes sobre la conversión de LP a LC incluyen 5S (nivelar, enderezar, brillar, estandarizar y mantener) para mejorar la imagen del sitio y desarrollar un sistema de seguridad de calidad para garantizar un cumplimiento de calidad más temprano, así como mejorar la gestión de inventario en el sitio y adoptar PDCA para una revisión más precisa del proceso. LC ha cambiado el concepto de LP en el contexto de maximizar el valor de producción y minimizar el desperdicio de producción durante la construcción [25].

Para cambiar la cultura de cualquier organización, deben emplearse herramientas y técnicas únicas; el mejor PL es utilizar un sistema de gestión de producción eficaz [26]. Este concepto maximiza el valor del producto para el cliente al eliminar el desperdicio y garantizar la perfección de la construcción del producto. LC también contribuye al desarrollo sostenible en la construcción de manera respetuosa con el medio ambiente, a la vez que tiene un impacto significativo en mejorar el progreso de la construcción y el desempeño del proyecto: mejora la productividad del trabajo, permite coordinar y comunicarse de manera eficaz y reduce errores y retrabajos [27].

El resultado más positivo al aplicar PL en PC es garantizar una entrega rápida de los proyectos de construcción a los clientes. La adopción de PL ha acelerado la innovación en PC como nunca antes [28]. LC cambia la cultura de la construcción al implementar proyectos de una manera más sistemática y eficiente. Esto anima a los profesionales a adoptar prácticas PL en la industria de la construcción (IC) para cambiar el proceso habitual de entrega de proyectos de las organizaciones [29]. Los profesionales de la construcción británicos informaron que LC, especialmente cuando se integra con la construcción sostenible, ayuda a las organizaciones de la construcción a mejorar su imagen corporativa, su ventaja competitiva, su productividad y el cumplimiento efectivo de las expectativas del cliente [30].

Demirkesen [31] resumió el pensamiento Lean en los 11 principios que se analizan a continuación:

(1) Reducir la proporción de actividades sin valor agregado [32], definidas estas como cosas que requieren tiempo, recursos y espacio.

(2) Aumentar el valor de la producción mediante la revisión sistemática de los requisitos del cliente. Cumplir con los requisitos del cliente crea valor para cada proyecto, pero, en muchos casos, estos requisitos nunca se definen o aclaran.

(3) Reducir el cambio. Singh y Kumar [33] identificaron dos razones para reducir la variabilidad del proceso. Primero, el cambio aumenta la cantidad de actividades que no agregan valor. En segundo lugar, un producto es consistente para el cliente de acuerdo con la forma en que lo visualiza.

(4) Reducir el tiempo del ciclo. Varias formas de reducir los tiempos de ciclo incluyen la implementación de los principios de Just-in Time para eliminar el inventario y descentralizar la jerarquía organizativa.

(5) Simplificar minimizando el número de pasos, piezas y enlaces. Singh y Kumar [33] sugieren que reducir el número de pasos en un flujo de material o información y el número de componentes en un producto puede simplificar el proceso de construcción.

(6) Mayor flexibilidad de salida. Bajjou y Chafi [34] señalan que el uso de diseños de productos modulares, la reducción de la dificultad de configuración y cambio y la capacitación de una fuerza laboral versátil ayudan a aumentar la flexibilidad de producción.

(7) Incrementar la transparencia del proceso. La finalidad es que el proceso de construcción sea transparente y observable, esto es, facilitar el seguimiento y la mejora para todos los empleados.

(8) Control centralizado de todo el proceso. Se propone que, al permitir que los equipos autogestionados ejerzan el control sobre el proceso y establezcan asociaciones a largo plazo con los proveedores, puede optimizarse todo el flujo de trabajo [35].

(9) Integrar un mejor beneficio en el proceso. Esforzarse por incorporar esta metodología en el proceso de construcción es reducir el desperdicio y realizar actividades continuas de valor agregado.

(10) Equilibrar la mejora del flujo con la mejora de la conversión. La relación entre la mejora del flujo y la conversión está dada en que un mejor flujo requiere menos inversión en equipo y más control para implementar fácilmente la tecnología de conversión.

(11) Punto de referencia [36]. La evaluación comparativa incluye comprender las debilidades de la organización, fortalezas, amenazas y oportunidades, reunirse con los líderes de la industria y sus mejores prácticas, integrar las mejores prácticas en la organización y crecer combinando las fortalezas existentes con las mejores prácticas externas [37].

La filosofía detrás de la fabricación ajustada es reducir el desperdicio en las empresas de fabricación. Enshassi, Saleh y Mohamed [38] sospechan que se utilizó algún elemento LP. Flujo, como se describe en [39], hace referencia a las operaciones de producción entre conversiones que existen en todos los sistemas de producción. Conceptualice el proceso de PC como un flujo de información específico y controle el flujo de material en el lugar para reducir la incertidumbre del proyecto a lo largo del tiempo. Para facilitar el flujo del proceso de construcción es importante que el director del proyecto se asegure de que el equipo facilite por completo el flujo de comunicación y garantice la coordinación del proyecto [40].

Elsayegh y El-adaway [41] han sugerido que los intentos de mejorar la eficiencia y reducir los conflictos requieren la asociación entre proveedores y contratistas. Para los contratistas, mantener relaciones a largo plazo con los proveedores, como los subcontratistas de mano de obra y materiales, proporciona cierto grado de control sobre sus cadenas de suministro. Esto ayuda a lograr la estandarización e intercambiabilidad de diseños necesarias si se va a ensamblar una amplia gama de diferentes componentes en una disposición de diferentes permutaciones para satisfacer las demandas de los clientes.

#### IV. Lean Construction: beneficios

Los sobrecostos y los retrasos en el cronograma de los proyectos de construcción son sus problemas inherentes y comunes. Además, la industria de la construcción sufre mucho por la mala calidad, la mala seguridad en la construcción y los efectos adversos sobre el medio ambiente. Muchos investigadores han obtenido beneficios notables al implementar LC en los proyectos de construcción. Ahmed, Hossain y Haq [42] evaluaron la implementación de algunas técnicas de LC (LPS, estudios de primera ejecución, 5s y a prueba de fallas para la calidad, reuniones de grupo) en un proyecto de estacionamiento y los beneficios fueron apreciables: el proyecto se completó 3 semanas antes de lo previsto con el presupuesto predefinido que contenía un nivel máximo de calidad.

Muñoz-La Rivera *et al.* [43] exploraron los beneficios de la implementación de LC en la IC marroquí y los beneficios fueron menor costo de construcción y entrega más rápida del proyecto, mejorando la calidad, la seguridad y el desempeño ambiental y reduciendo la duración del período. Babalola, Ibem y Ezema [44] demostraron que el concepto esbelto es un gran apoyo para la “construcción limpia” y el uso de materiales contaminados y los impactos ambientales de los PC son mejores que en cualquier otro momento mediante la aplicación del concepto esbelto [45]. En India, LC ya ha reducido significativamente los impactos negativos y mejorado la sostenibilidad para el medio ambiente.

Small, Al Hamouri y Al Hamouri [46] informaron que los constructores de viviendas que utilizan técnicas de LC habían reducido en un 58% las tasas de accidentes con respecto a los que no tenían LC activo, lo que respalda el dicho de que la implementación de LC mejora la seguridad de la construcción. LC permite una colaboración eficaz con tecnologías avanzadas y aporta beneficios apreciables de cronograma, calidad, seguridad y productividad en los proyectos de construcción [18].

Muchos investigadores han demostrado que la adaptación de LC es muy beneficiosa en términos monetarios y no monetarios para los participantes del proyecto. Patrone *et al.* [47] revelaron que LC tiene efectos positivos en la sostenibilidad de la construcción. El uso de LC en el proyecto ha traído beneficios sociales, económicos y ambientales al reducir los desechos, los peligros para la seguridad y el prolongado período de construcción. Heigermoser *et al.* [48] afirmaron que las herramientas de LC, como los métodos 5S y el sistema Last Planner, aumentaron significativamente la gestión de la seguridad en los sitios de construcción. Por ello, es necesario conocer los beneficios que aporta la metodología LC, los cuales se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Beneficios de Lean.

Referencia	Beneficios
[49]	Reducir el costo de construcción
	Incrementar la seguridad en la construcción
	Mejorar la calidad de construcción
[50]	Reducir la duración total del proyecto
	Reducir los impactos ambientales del proyecto
	Mejorar la idea de desarrollo sostenible del proyecto
	Favorecer la satisfacción del cliente y la productividad

Fuente: Elaboración propia (2021)

#### V. Barreras de la implementación de Lean Construction

Se ha realizado un número considerable de estudios en muchos países sobre los desafíos de la implementación de LC en la IC. Los países desarrollados, en desarrollo y subdesarrollados están en la lista de todo el mundo. El primer estudio [51], realizado en el SC del Reino Unido, descubrió que los desafíos clave son presión comercial y de tiempo, en orden descendente de gravedad.

Otros dos estudios [52], [53] en el Reino Unido descubrieron que los problemas relacionados con la actitud humana, con el Gobierno, con la educación y con las finanzas son los responsables de la implementación deficiente de LC.

Estos estudios determinaron que el cambio de la cultura laboral de los empleados, el costo de la implementación, la falta de conocimiento Lean, el tiempo de implementación prolongado y la complejidad son factores clave de alto rango al calcular la frecuencia. Un estudio [54] reveló los mismos tipos de desafíos del empleo de LC en la IC del Reino Unido.

En Alemania se realizó un estudio [55] para identificar los desafíos al emplear LC y se encontró que los factores de aversión a la implementación son las cuestiones de gestión y organizativas y el desarrollo tecnológico del país. Finalmente, en [56] se recomienda a las autoridades que investiguen y aborden los hallazgos, ya que LC se ha implementado con éxito y beneficia a otros países desarrollados como Estados Unidos, Japón y Australia [57].

Dos estudios [58], [59] revelaron las barreras de PL en la IC de Singapur. La falta de voluntad para adoptar nuevos sistemas, así como para proporcionar formación y recursos, son los factores importantes que se consideran como barreras. Sin duda, está claro que las barreras para implementar los PL en las IC de los países en desarrollo comenzaron mucho más tarde y fueron mayores que las de los países desarrollados.

[60] se trabajó en los Emiratos Árabes Unidos y reveló que la naturaleza cíclica de IC, la falta de comprensión, el diseño complicado e incompleto y la mala comunicación entre las partes interesadas fueron las barreras clave para implementar LC en este país, en orden descendente de gravedad.

[61] también reveló que los encuestados destacaron la importancia de una comunicación adecuada entre todos los grupos de interés y el papel fundamental de la dirección en la formación y educación de sus empleados sobre los conceptos de CL.

En el continente africano, Uganda ha mostrado preocupación por LC y las barreras para una implementación efectiva. [62] analizó y reveló que los factores relacionados con la gestión, la organización y el diseño son barreras clave en este país. La falta de habilidades de gestión, el transporte y la comunicación deficientes, la falta de trabajo en equipo, el diseño constructivo y la gestión eficaz del inventario son factores cruciales que crean obstáculos para la implementación de LC.

Los desafíos para la implementación de PL en la IC de Ghana y Libia no son distintos de los de otros países desarrollados y en desarrollo mencionados anteriormente. [63] determinó nueve barreras en Libia y 33 en Ghana para implementar LC en la industria de la construcción. El conocimiento y las habilidades inadecuados, la falta de cultura organizacional que respalde el trabajo en equipo, la incapacidad para medir el desempeño y el progreso del equipo y la falta de cultura grupal, visión compartida y consenso son importantes entre las nueve barreras en Libia. En cuanto a Ghana, destacan la demora en la toma de decisiones, el desperdicio aceptado como inevitable, la inconsistencia en las políticas gubernamentales y la falta de habilidades técnicas y de gestión.

Se reveló que factores administrativos, organizativos y técnicos fueron condenados por la mala implementación de LC por parte de profesionales de la IC de KSA. La influencia de la práctica de gestión tradicional, la cultura organizacional desfavorable, la falta de habilidades técnicas, la capacitación y comprensión de las técnicas esbeltas y la falta de conocimiento de los enfoques de construcción ajustada son las cuatro barreras de rango superior, en orden descendente, identificadas en la industria de la construcción de KSA [64].

En el norte de África, la industria de la construcción marroquí tiene un impacto negativo en el medio ambiente, ya que genera una cantidad considerable de residuos sólidos durante los procesos de construcción. Para superar estos problemas, se han introducido los PL en la IC en Marruecos, pero aún están en su etapa de infancia [65].

Por lo tanto, [66] realizó una investigación para identificar, priorizar y analizar los desafíos para implementar LC en la industria de la construcción marroquí. El estudio identificó y analizó nueve factores que afectaron negativamente la implementación. La falta de conocimiento sobre LC, los recursos humanos no calificados y la financiación insuficiente son las barreras más importantes para implementar LC en Marruecos. De manera similar, los desafíos para implementar LC en India, Nigeria y Vietnam son idénticos a los desafíos de países subdesarrollados como Uganda, Libia y Ghana. La IC más grande del mundo, la de China, también ha experimentado varios desafíos durante la implementación de LC.

En [67] se ha trabajado en el tema de las barreras para implementar Lean en China. Este estudio identificó seis factores subyacentes que obstaculizan la implementación de prácticas Lean en la industria de la construcción china; a saber: problemas de personas y socios, problemas de gestión y organización, problemas de falta de apoyo, problemas de cultura y filosofía, problemas gubernamentales y problemas de adquisiciones [68].

## VI. Herramientas de Lean Construction

La productividad para administrar los recursos permite culminar los proyectos en el tiempo establecido y con la calidad planeada [69].

Además, la productividad puede interpretarse como la relación existente entre los resultados obtenidos de la producción y los recursos utilizados para tal fin. Se concluye que, al aumentar la productividad, también se incrementa el rendimiento en el uso de los recursos. Un trabajo productivo muestra que las actividades realizadas favorecen de forma directa a la producción, por ejemplo: excavación, encofrado, colocación de instalaciones, entre otras [70].

Trabajo contributivo es aquel trabajo requerido para ejecutar un trabajo productivo, pero no tiene valor en la unidad de construcción, por lo cual es reducido al máximo para obtener un mayor nivel de productividad. Ejemplos de este tipo de trabajo son dar pautas y leer planos, entre otros [71].

El trabajo no contributivo se traduce a las actividades realizadas que no aportan al proceso y que generan pérdidas. Siendo consideradas innecesarias, que tienen costo y no agregan valor; por ende, se deben remover para mejorar el proceso productivo. Ejemplos de estas actividades son esperar, tomar un descanso y rehacer el trabajo entre otras [72].

Definimos la variabilidad para un proyecto como el conjunto de eventos distintos a los esperados debido a influencias internas y externas, que está en todos los proyectos y aumenta con su dificultad, ubicación, escala y velocidad [73]. Son eventos aleatorios y no pueden eliminarse o predecirse por completo; es decir, es posible predecir que ocurrirán eventos imprevistos, pero no sabemos de qué tipo o cuándo; incluso, si es el caso, deben contabilizarse como un fracaso. En algunos escenarios la variabilidad puede aumentar considerablemente el impacto negativo en el proyecto [74].

Para el caso particular de los proyectos de construcción, la variabilidad es un gran problema debido a la cantidad de actividades que tiene lugar durante todo el proceso de construcción [75]. Sabemos que la confianza de la actividad predecesora es del 95%, lo que genera un buen nivel de confianza en el caso de un proceso, pero con muchas operaciones predecesoras, el porcentaje de confianza cae significativamente a un valor del 8% para 50 operaciones predecesoras [76], [77].

## VII. Conclusiones

Lean Construction en el sector de la construcción ha mostrado buenos resultados en la optimización y productividad de procesos. Por tanto, se anima a las empresas de esta economía local a que empiecen a implementarlo. En la etapa conceptual de un proyecto de ingeniería civil, es necesario incorporar mecanismos que mejoren la eficiencia operativa por medio del uso de herramientas de seguimiento y control que brinden información actualizada y veraz sobre el desempeño de los componentes de diversas actividades.

Lean Construction propone una metodología mejor para administrar los proyectos, de manera que cambie el paradigma actual de la construcción y cumpla así las programaciones con sus partidas en los tiempos establecidos, dándonos a conocer los excelentes resultados que se obtienen. Se concluye que Lean Construction aporta muchos beneficios a las obras de construcción civil, las cuales son una gran fuente de desarrollo económico para el país, así como que esta metodología puede trabajar en conjunto con otros nuevos modelos, como el BIM, Las Planner System, Lean Project Delivery System, Integrated Project Delivery y Six Sigma.

## VIII. Referencias

- [1] W. Al Balkhy, R. Sweis y Z. Lafhaj, "Barriers to Adopting Lean Construction in the Construction Industry—The Case of Jordan", *Buildings*, vol. 11, no. 6, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/buildings11060222>
- [2] F. Mellado y E. C. W. Lou, "Building information modelling, lean and sustainability: An integration framework to promote performance improvements in the construction industry", *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, octubre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102355>
- [3] G. A. Araque González, D. A. García Arango, E. D. Aguirre Mesa, C. F. Henao Villa, C. A. Echeverry Gutiérrez y S. Sidek, "The Planning in Lean Construction Methodology at Colombian Civil Sector", *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 1S5, pp. 173-178, junio de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://www.ijrte.org/download/volume-8-issue-1s5/>
- [4] M. S. Bajjou, A. Chafi, A. Ennadi y M. El Hammoumi, "The Practical Relationships between Lean Construction Tools and Sustainable Development: A literature review", *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 10, no. 4, pp. 170-177, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.25103/jestr.104.20>
- [5] C. S. Kumar, C. B. Kapuganti, S. Eswara Rao, T. Santhosh Kumar y B. Ramesh, "Application of Last Planner System as Lean Construction Technique", *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, vol. 8, no. 9, pp. 6035-6041, septiembre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/184892020>
- [6] S. Singh y K. Kumar, "Review of literature of lean construction and lean tools using systematic literature review technique (2008-2018)", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 465-471, junio de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.012>
- [7] U. H. Issa y M. Alqurashi, "A model for evaluating causes of wastes and lean implementation in construction projects", *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 26, no. 4, pp. 331-342, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12323>
- [8] E. I. Daniel y C. Pasquire, "Creating social value within the delivery of construction projects: the role of lean approach", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 26, no. 6, pp. 1105-1128, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-06-2017-0096>
- [9] M. Darabseh, "Lean Applications in Construction: Review Article", *U.Porto Journal of Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 29-37, 2019 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.24840/2183-6493\\_005.002\\_0004](https://doi.org/10.24840/2183-6493_005.002_0004)
- [10] P. V. Ramani y L. K. L. KSD, "Application of lean in construction using value stream mapping", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, no. 1, pp. 216-228, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2018-0572>
- [11] M. Aslam, Z. Gao y G. Smith, "Exploring factors for implementing lean construction for rapid initial successes in construction", *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, diciembre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123295>

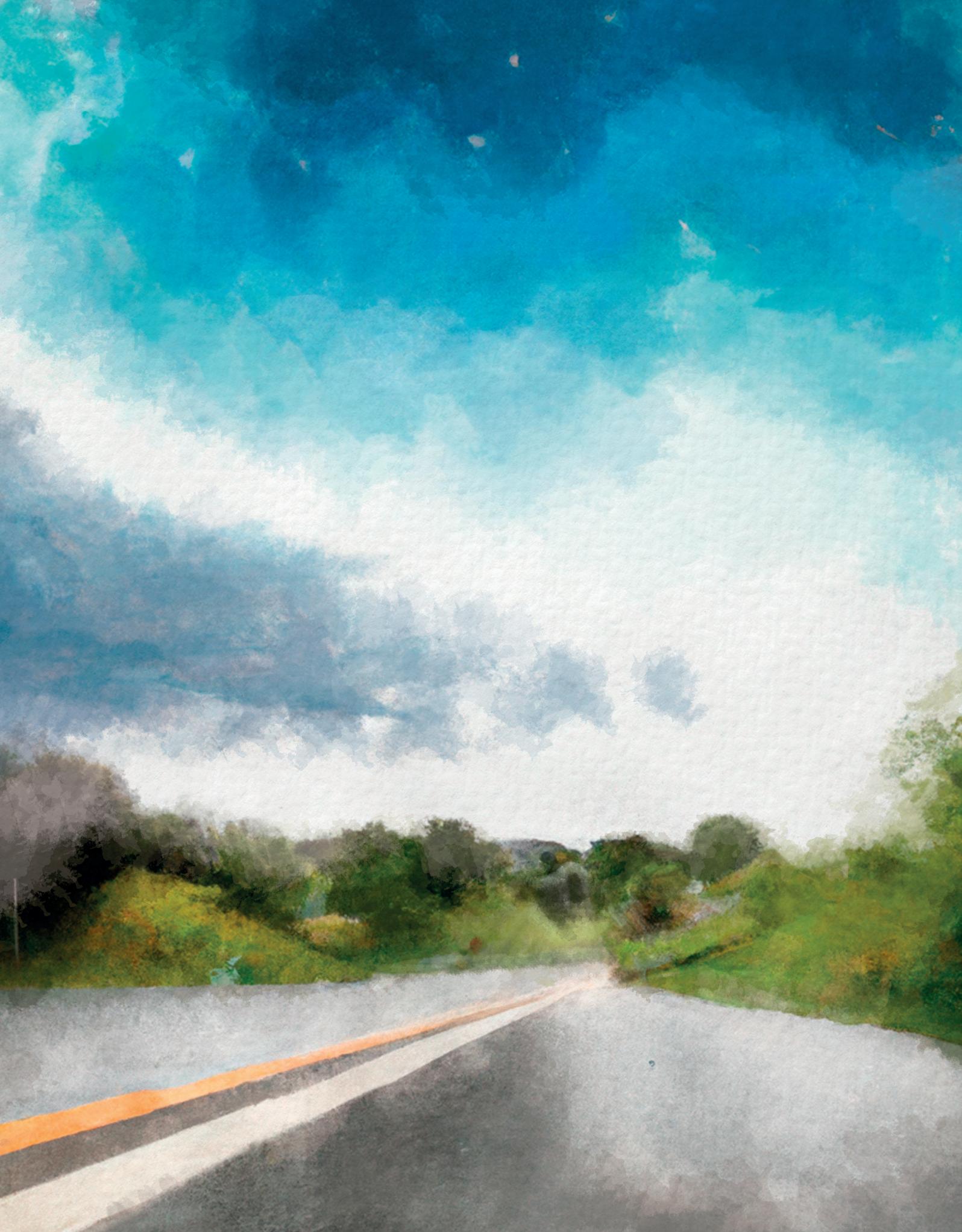
- [12] I. M. Katar, "Enhancing the Project Delivery Quality; Lean Construction Concepts of Design-Build & Design-Bid-Build Methods", *International Journal of Management*, vol. 10, no. 6, pp. 324-337, 2019 [En línea]. Disponible en: [https://iaeme.com/Home/article\\_id/IJM\\_10\\_06\\_031](https://iaeme.com/Home/article_id/IJM_10_06_031)
- [13] M. Goh y Y. M. Goh, "Lean production theory-based simulation of modular construction processes", *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 227-244, mayo de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017>
- [14] S. Demirkesen y H. G. Bayhan, "Critical Success Factors of Lean Implementation in the Construction Industry", *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 69, no. 6, pp. 2555-2571, diciembre de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2945018>
- [15] X. Meng, "Lean management in the context of construction supply chains", *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 11, pp. 3784-3798, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566659>
- [16] E. N. Shaqour, "The impact of adopting lean construction in Egypt: Level of knowledge, application, and benefits", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, no. 2, marzo de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.07.005>
- [17] J. G. Sarhan, B. Xia, S. Fawzia, A. Karim, A. O. Olanipekun y V. Coffey, "Framework for the implementation of lean construction strategies using the interpretive structural modelling (ISM) technique: A case of the Saudi construction industry", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 1, pp. 1-23, septiembre de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2018-0136>
- [18] M. D. Andújar Montoya, A. Galiano-Garrigós, V. Echarri-Iribarren y C. Rizo-Maestre, "BIM-LEAN as a Methodology to Save Execution Costs in Building Construction—An Experience under the Spanish Framework", *Applied Sciences*, vol. 10, no. 6, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app10061913>
- [19] J. Zhang, H. Li, H. Golizadeh, C. Zhao, S. Lyu y R. Jin, "Reliability evaluation index for the integrated supply chain utilising BIM and lean approaches", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 5, pp. 997-1038, junio de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2018-0542>
- [20] G. N. Yücenur y K. Şenol, "Sequential SWARA and fuzzy VIKOR methods in elimination of waste and creation of lean construction processes", *Journal of Building Engineering*, vol. 44, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103196>
- [21] J. Watkins y B. Sunjka, "Combining Green Building and Lean Construction to Achieve more Sustainable Development in South Africa", *The South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 31, no. 3, pp. 133-143, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.7166/31-3-2426>
- [22] A. Tezel, M. Taggart, L. Koskela, P. Tzortzopoulos, J. Hanahoe y M. Kelly, "Lean construction and BIM in small and medium-sized enterprises (SMEs) in construction: a systematic literature review", *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 47, no. 2, pp. 186-201, febrero de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0408>
- [23] A. Latorre Uriz, C. Sanz y B. Sánchez, "Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación", *Informes de la Construcción*, vol. 71, no. 556, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3989/ic.67222>
- [24] T. Moyo y B. Chigara, "Barriers to lean construction implementation in Zimbabwe", *Journal of Engineering, Design and Technology* [Adelanto en línea de la edición impresa]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2021-0044>
- [25] L. Koskela, A. Ferrantelli, J. Niiranen, E. Pikas y B. Dave, "Epistemological Explanation of Lean Construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 145, no. 2, febrero de 2019 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001597](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001597)
- [26] R. Barathwaj, R. V. Singh y G. I. Gunarani, "Lean construction: Value Stream Mapping for residential construction", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 1072-1086, enero de 2017.

- [27] M. Gunduz y A. Naser, "Value Stream Mapping as a Lean Tool for Construction Projects", *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, vol. 8, no. 1, pp. 69-74 febrero de 2019 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18178/ijscer.8.1.69-74>
- [28] M. A. Marhani, N. A. Ahmad Bari, K. Ahmad y A. Jaapar, "The Implementation of Lean Construction Tools in Malaysia", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 63, pp. 289-294, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3303/CET1863049>
- [29] C. P. Schimanski, N. L. Pradhan, D. Chaltsev, G. Pasetti Monizza y D. T. Matt, "Integrating BIM with Lean Construction approach: Functional requirements and production management software", *Automation in Construction*, vol. 132, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103969>
- [30] Y. I. Abu Aisheh, B. A. Tayeh, W. S. Alaloul y A. Almalki, "Health and safety improvement in construction projects: a lean construction approach", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 28, no. 4, pp. 1981-1993, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1942648>
- [31] S. Demirkesen, "Measuring impact of Lean implementation on construction safety performance: a structural equation model", *Production Planning & Control*, vol. 31, no. 5, pp. 412-433, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1675914>
- [32] P. Dallasega, A. Revolti, P. C. Sauer, F. Schulze y E. Rauch, "BIM, Augmented and Virtual Reality empowering Lean Construction Management: a project simulation game", *Procedia Manufacturing*, vol. 45, pp. 49-54, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.059>
- [33] S. Singh y K. Kumar, "A study of lean construction and visual management tools through cluster analysis", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 1153-1162, marzo de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.019>
- [34] M. S. Bajjou y A. Chafi, "Lean construction and simulation for performance improvement: a case study of reinforcement process", *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 70, no. 2, pp. 459-487, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2019-0309>
- [35] A. Tezel, L. Koskela y Z. Aziz, "Current condition and future directions for lean construction in highways projects: A small and medium-sized enterprises (SMEs) perspective", *International Journal of Project Management*, vol. 36, no. 2, pp. 267-286, febrero de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.10.004>
- [36] Z. Yuan, Z. Zhang, G. Ni, C. Chen, W. Wang y J. Hong, "Cause Analysis of Hindering On-Site Lean Construction for Prefabricated Buildings and Corresponding Organizational Capability Evaluation", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, no. especial, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2020/8876102>
- [37] S. Ahmed y M. H. R. Sobuz, "Challenges of implementing lean construction in the construction industry in Bangladesh", *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 9, no. 2, pp. 174-207, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2019-0018>
- [38] A. Enshassi, N. Saleh y S. Mohamed, "Barriers to the application of lean construction techniques concerning safety improvement in construction projects", *International Journal of Construction Management*, vol. 21, no. 10, pp. 1044-1060, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1602583>
- [39] W. Albalkhy y R. Sweis, "Assessing lean construction conformance amongst the second-grade Jordanian construction contractors", *International Journal of Construction Management*, vol. 22, no. 5, pp. 900-912, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1661571>
- [40] M. Marzouk y A. Elmaraghy, "Design for Deconstruction Using Integrated Lean Principles and BIM Approach", *Sustainability*, vol. 13, no. 14, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13147856>

- [41] A. Elsayegh y I. H. El-adaway, "Holistic Study and Analysis of Factors Affecting Collaborative Planning in Construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 147, no. 4, abril de 2021 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002031](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002031)
- [42] S. Ahmed, M. M. Hossain y I. Haq, "Implementation of lean construction in the construction industry in Bangladesh: awareness, benefits and challenges", *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 39, no. 2, pp. 368-406, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-04-2019-0037>
- [43] F. Muñoz-La Rivera, J. Mora-Serrano, I. Valero y E. Oñate. "Methodological-Technological Framework for Construction 4.0", *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 28, no. 2, pp. 689-711, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9>
- [44] O. Babalola, E. O. Ibem y I. C. Ezema, "Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review", *Building and Environment*, vol. 148, pp. 34-43, enero de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.051>
- [45] K. Radman, M. B. Jelodar, E. Ghazizadeh y S. Wilkinson, "Causes of Delay in Smart and Complex Construction Projects", *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, vol. 13, no. 4, noviembre de 2021 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000501](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000501)
- [46] E. P. Small, K. Al Hamouri y H. Al Hamouri, "Examination of Opportunities for Integration of Lean Principles in Construction in Dubai", *Procedia Engineering*, vol. 196, pp. 616-621, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.049>
- [47] C. Patrone, M. Mezzano Kozlova, M. Brenta, F. Filauro, D. Campanella, A. Ribatti, E. Scuderi, T. Marini, G. Galli y R. Revetria, "Hospital Warehouse Management during the construction of a new building through Lean Techniques", *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 256-262, 2020 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.25046/aj050132>
- [48] D. Heigermoser, B. García de Soto, E. L. Sidney Abbott y D. K. Huat Chua, "BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management", *Automation in Construction*, vol. 104, pp. 246-254, agosto de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.019>
- [49] C. T. Pérez y D. Costa, "Developing a taxonomy of transportation waste in construction production processes", *Built Environment Project and Asset Management*, vol. 8, no. 5, pp. 434-448, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/BEPAM-04-2018-0062>
- [50] F. Bamana, N. Lehoux y C. Cloutier, "Simulation of a Construction Project: Assessing Impact of Just-in-Time and Lean Principles", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 145, no. 5, mayo de 2019 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001654](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001654)
- [51] J. Shurrab y M. Hussain, "An empirical study of the impact of lean on the performance of the construction industry in UAE", *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 16, no. 5, pp. 694-710, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-09-2017-0095>
- [52] O. Koseoglu, M. Sakin y Y. Arayici, "Exploring the BIM and lean synergies in the Istanbul Grand Airport construction Project", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 25, no. 10, pp. 1339-1354, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0186>
- [53] J. M. Savolainen, A. Saari, A. Männistö y K. Kähkönen, "Indicators of collaborative design management in construction projects", *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 674-691, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-09-2017-0091>
- [54] M. S. Bajjou y A. Chafi, "Lean construction implementation in the Moroccan construction industry: Awareness, benefits and barriers", *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 533-556, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2018-0031>

- [55] X. Zhang, S. Azhar, A. Nadeem y M. Khalfan, "Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams", *International Journal of Construction Management*, vol. 18, no. 4, pp. 293-300, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1382083>
- [56] T. Castillo, L. F. Alarcón y J. L. Salvatierra, "Effects of Last Planner System Practices on Social Networks and the Performance of Construction Projects", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 144, no. 3, marzo de 2018 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001443](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001443)
- [57] P. Saieg, E. Domínguez Sotelino, D. Nascimento y R. G. Gusmão Caiado, "Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review", *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 788-806, febrero de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.030>
- [58] T. Subramani y A. Prabhu, "Material Procurement in Construction Industry Problems and Solutions", *International Journal Of Engineering & Technology*, vol. 3, no. 3.10, pp. 31-35, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.10.15624>
- [59] Z. Dakhli y Z. Lafhaj, "Efficient logistics enabled by smart solutions in tunneling", *Underground Space*, vol. 2, no. 4, pp. 227-233, diciembre de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2017.10.004>
- [60] D. D. Viana, I. D. Tommelein y C. T. Formoso, "Using Modularity to Reduce Complexity of Industrialized Building Systems for Mass Customization", *Energies*, vol. 10, no. 10, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en10101622>
- [61] F. Hamzeh, C. Theokaris, C. Rouhana y Y. Abbas, "Application of hands-on simulation games to improve classroom experience", *European Journal of Engineering Education*, vol. 42, no. 5, pp. 471-481, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03043797.2016.1190688>
- [62] D. K. Sharma y H. K. Gupta, "Planning and Design of Environmentally Sustainable Thana-Plaun Hydroelectric Project on Beas River in India", *Water and Energy International*, vol. 60, no. 4, pp. 36-43, julio de 2017.
- [63] A. Islam y S. K. Guchhait. "Search for social justice for the victims of erosion hazard along the banks of river Bhagirathi by hydraulic control: a case study of West Bengal, India", *Environment, Development and Sustainability*, vol. 19, no. 2, pp. 433-459, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9739-6>
- [64] H. Erol, I. Dikmen y M. T. Birgonul, "Measuring the impact of lean construction practices on project duration and variability: A simulation-based study on residential buildings", *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 23, no. 2, pp. 241-251, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1068846>
- [65] S. Deep, M. B. Khan, S. Ahmad y A. Saeed, "A study of various factors affecting contractor's performance in lowest bid award construction projects", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 28-33, febrero de 2017.
- [66] M. Asim, S. Deep y S. A. Ahmad, "Time impact study of real estate sector construction projects post application of lean principles for delay resolutions", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 89-99, febrero de 2017.
- [67] H. Golzarpoor, V. González, M. Shahbazpour y M. O'Sullivan, "An input-output simulation model for assessing production and environmental waste in construction", *Journal of Cleaner Production*, vol. 143, pp. 1094-1104, febrero de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.010>
- [68] Z. Dakhli, Z. Lafhaj y M. Bernard, "Application of lean to the bidding phase in building construction: a French contractor's experience", *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 8, no. 2, pp. 153-180, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2016-0010>

- [69] M. J. Maraqa, R. Sacks y S. Spatari, "Quantitative assessment of the impacts of BIM and lean on process and operations flow in construction projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, no. 8, pp. 2176-2198, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2020-1068>
- [70] S. Wandahl, C. T. Pérez, S. Salling, H. H. Neve, J. Lerchey y S. Petersen, "The Impact of Construction Labour Productivity on the Renovation Wave", *Construction Economics and Building*, vol. 21, no. 3, pp. 11-32, 2021. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v21i3.7688>
- [71] B. A. Tayeh, K. Al Hallaq, W. S. Alaloul y A. R. Kuhail, "Factors Affecting the Success of Construction Projects in Gaza Strip", *The Open Civil Engineering Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 301-315, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2174/1874149501812010301>
- [72] I. Maradzano, S. Matope y R. A. Dondofema, "Application of Lean Principles in the South African Construction Industry", *The South African Journal of Industrial Engineerin*, vol. 30, no. 3, pp. 210-223, noviembre de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.7166/30-3-2240>
- [73] M. G. Mandujano, C. Mourgues, L. F. Alarcón y J. Kunz, "Modeling Virtual Design and Construction Implementation Strategies Considering Lean Management Impacts", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 13, no. 11, pp. 930-951, noviembre de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/mice.12253>
- [74] J. A. Gambatese, C. Pestana y H. W. Lee, "Alignment between Lean Principles and Practices and Worker Safety Behavior", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 143, no. 1, enero de 2017 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001209](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001209)
- [75] M. Marzouk, A. Elmaraghy y H. Voordijk, "Lean Deconstruction Approach for Buildings Demolition Processes using BIM", *Lean Construction Journal 2019*, pp. 147-173, 2019.
- [76] S. A. Albliwi, J. Antony, N. Arshed y A. Ghadge, "Implementation of Lean Six Sigma in Saudi Arabian organisations: Findings from a survey", *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 34, no. 4, pp. 508-529, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2015-0138>
- [77] S. Demirkesen, E. Sadikoglu y E. Jayamanne, "Assessing Psychological Safety in Lean Construction Projects in the United States", *Construction Economics and Building*, vol. 21, no. 3, pp. 159-175, septiembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v21i3.7657>





# Revisión sistemática de la implementación BIM basada en modelos de diseño para la construcción de obras viales

*Systematic review of BIM implementation based on design models for road construction*

Sócrates Pedro Muñoz Pérez<sup>1</sup>, José Rony Llamo Cubas<sup>2</sup>

**Tipo de Artículo:** Investigación revisión.

**Recibido:** 25/12/21 **Aprobado:** 18/05/22 **Publicado:** 18/12/2022

**Resumen:** La metodología BIM es un sistema de métodos innovadores para documentación y diseño de proyectos de infraestructura vial, puesto que los canales de comunicación son parte fundamental del desarrollo de una región y los procesos que permiten su construcción necesitan ser mejorados. El presente documento tiene como objetivo evaluar de manera sistemática la implementación BIM basada en modelos de diseño para la construcción de obras viales. Se realizó un análisis cualitativo mediante el cual se revisaron 80 artículos indexados entre los años 2017 y 2021, distribuidos de la siguiente manera: 50 artículos son de Scopus, 15 de Ebsco y 15 de Science Direct. Se concluye que el empleo de BIM en obras de infraestructura vial es un nuevo recurso que ofrece un sustento confiable para la toma de decisiones

a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción porque optimiza el tiempo de diseño, construcción y gestión operativa.

**Palabras clave:** Metodología BIM, infraestructura vial, construcción, tiempo de diseño.

**Abstract:** The BIM methodology is a system of innovative methods for documentation and design of road infrastructure projects, since communication channels are a fundamental part of the development of a region and the processes that allow its construction need to be improved. The objective of this document is to systematically evaluate the BIM implementation based on design models for the construction of road works. A qualitative analysis was carried out through which

1 Universidad Señor de Sipán. Perú, Chiclayo. msocrates@crece.uss.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>.

2 Universidad Señor de Sipán. Perú, Chiclayo. lcubasjoserony@crece.uss.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3874-7500>.

80 articles indexed between the years 2017 and 2021 were reviewed, distributed as follows: 50 articles are from Scopus, 15 from Ebsco and 15 from Science Direct, it is concluded that the use of BIM in works Road infrastructure is a new resource that offers a reliable support for decision-making throughout the entire life cycle of a construction project, optimizing design, construction and operational management time.

**Keywords:** BIM Methodology, road infrastructure, construction, design time

## I. Introducción

Por ser una metodología *boom* en el sector de la construcción y debido a la gran empleabilidad en este campo, BIM está teniendo un importante crecimiento en los proyectos de infraestructura [1]. Varios factores han contribuido a este auge; por un lado, los relacionados con las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y con las herramientas de adquisición y gestión de la información digital; pero también los relacionados con la estandarización y, sobre todo, la demanda en la contratación pública [2].

La red de carreteras de un país forma parte de la infraestructura de transporte más importante, ya que sirve para movilizar bienes, personas y mercancías [3]. Por ello, es de vital importancia que la construcción de la infraestructura vial se lleve a cabo de la mejor forma, teniendo en cuenta la elaboración de la ingeniería de detalle y aplicando las herramientas tecnológicas en obra para obtener productos económicos y seguros, de manera que se optimice el tiempo de planificación y construcción, apoyado en nuevos procesos que se desarrollaron a partir de la tecnología de la información existente [4].

Los flujos de trabajo abiertos o no controlados que se utilizan actualmente en el sector de la construcción, incluyendo las vías, suelen descartar fases importantes de un proyecto y, lo más importante, no están respaldados por una metodología que

les permita monitorear su gestión en las diferentes fases. La aplicación de una metodología como BIM reduciría el costo de todo el proyecto en las diferentes fases de su ciclo de vida [5].

Un proyecto de ingeniería civil, por lo general, adolece de problemas porque no se aplica una metodología de gestión en todas las etapas. Entre estos problemas se cuentan la interferencia espacial y tecnológica, los cambios no controlados, la desvinculación de áreas involucradas, la duplicación de trabajo la inconsistencia entre dibujo y diseño [6].

Con la finalidad de eliminar y minimizar las actividades y procesos desconectados unos de otros, se propone en todo el mundo el uso de métodos que logren reducir los problemas que implica la ejecución de un proyecto de ingeniería [7]. Es por ello que la metodología BIM se ha ido introduciendo gradualmente en varios países, como parte de las normativas obligatorias para la implementación de Proyectos de Infraestructura (PI), durante los últimos 10 años [8].

Países como Gran Bretaña empezaron a exigir, a partir de 2016, que todos los proyectos públicos se realicen según la metodología BIM (MBIM), dando como resultado que las empresas se vean obligadas a mejorar la gestión de sus proyectos e implementar procedimientos para utilizar la MBIM [9].

La MBIM fue implementada parcialmente por un pequeño grupo de empresas utilizando herramientas BIM (HBIM). A través de la formación continua [10] y el uso de profesionales en la gestión de herramientas, han reconocido la necesidad de desarrollar métodos de trabajo compatibles con esta tecnología en sus flujos de trabajo (FT) [11] empresas relacionadas con la construcción de infraestructura de transporte (CIT), como diversas constructoras que han publicado trabajos en los que han desarrollado proyectos utilizando herramientas BIM [12].

A pesar de que las empresas involucradas en el diseño que utilizan el software BIM como herramienta de trabajo, alivian ciertos problemas de ingeniería mencionados anteriormente [13]; además, la aplicación de una metodología definida limita y reduce el valor que estas herramientas pueden ofrecer dentro de un FT BIM [14].

Es necesaria la aplicación de la MBIM como proceso integrador de métodos y herramientas de gestión estructurados [15], debido a que tanto los términos de los contratos como los involucrados interesados en la construcción deben evolucionar y adoptar nuevos procesos y herramientas tecnológicas desde el inicio del proceso de diseño para fomentar la colaboración entre los interesados, como son los diseñadores, los directores de diseño y construcción, los proveedores y los subcontratistas, de manera que logren un mayor nivel de mejora potencialmente llevado a cabo por las nuevas tecnologías aliadas de las prácticas de gestión [16].

El empleo de HBIM aisladas de un flujo de proceso disminuye los beneficios que ofrece esta tecnología al preservar la información técnica contenida en sus modelos, porque, si se interrumpe el proceso BIM [17], se convierten en dibujos CAD que solo conservan sus propiedades geométricas vectoriales, así como el uso de la obra de ingeniería del modelo BIM en fases posteriores del proyecto [18].

La definición del flujo de trabajo al planificar un sitio de construcción de carreteras siempre es variable y depende de los términos del contrato y de las características técnicas del proyecto [19]; sin embargo, de acuerdo con los procedimientos y flujos sugeridos para el diseño de un proyecto vial descrito en el Manual de Diseño de Carreteras, es posible establecer un flujo tradicionalmente utilizado para proyectos de infraestructura vial (PIV) [20].

En el contexto de la problemática planteada, se tuvo por objetivo evaluar la información de la aplicación de la implementación BIM en obras de infraestructura vial.

## II. Objetivos del estudio

El presente documento propone los siguientes objetivos:

- Realizar una revisión holística de los artículos de revistas BIM y los registros de citas.
- Definir los subcampos que constituyen la estructura intelectual de los campos de investigación BIM.
- Identificar la estructura de financiación para la investigación BIM basada en el análisis del país y el análisis de la categoría de investigación.
- Identificar y establecer la red de publicaciones BIM por origen de la investigación y ámbito geográfico.
- Identificar la metodología de investigación más destacada empleada en estudios BIM anteriores.
- Identificar el software BIM relevante, el esquema de datos y las áreas de proyecto para la aplicación BIM.
- Clasificar las publicaciones BIM en función de los sectores de proyecto a los que se aplican.

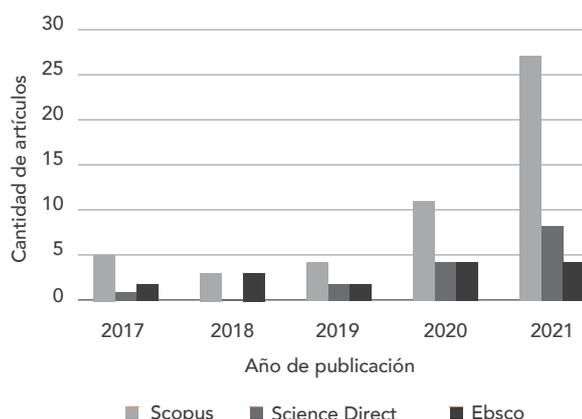
## III. Materiales y métodos

Se planteó una metodología que recopila investigaciones científicas de base de datos como Scopus, Science Direct y Ebsco referentes al tema de revisión. La Tabla 1 relaciona el total de artículos seleccionados con base en los filtros de búsqueda, como año de publicación y área y tipo de documento. En la Figura 1 puede verse la distribución en cantidad de investigaciones extraídas por base de datos y año de búsqueda. El procedimiento establecido consiste en realizar las consultas por medio de palabras clave usando operadores booleanos como BIM AND road infrastructure y BIM AND works; además, se tuvo que filtrar por años de búsqueda (desde el 2017 al 2021), tipo de documento y área de alcance para fines específicos de estudio, tal como puede verse en la Tabla 1. Finalmente, se logró obtener 80 investigaciones científicas.

**Tabla 1.** Criterios de búsqueda y de selección de los artículos usados en la presente investigación.

Palabras clave	Documentos encontrados	Años de publicación de documentos	Filtro de búsqueda	Resultados de filtros	Artículos seleccionados	Documentos seleccionados en Scopus	Documentos seleccionados en Science Direct	Documentos seleccionados en Ebsco
<b>BIM AND road infrastructure</b>	131	2017-2021	Engineering/ Research Articles	31	22	22		
<b>BIM AND works</b>	3.100		Engineering/ Research Articles	688	28	28		
<b>BIM in road infrastructure</b>	467		Engineering/ Research Articles	175	15		15	
<b>BIM in road infrastructure works</b>	1.403		Engineering/ Research Articles	844	15			15
Total por base de datos						50	15	15
Total							80	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 1.** Distribución por año de búsqueda.

Fuente: Elaboración propia

#### IV. BIM: Origen y concepto

En la década de los 70 el modelado de información para las edificaciones se atribuyó a varios investigadores, incluido el más destacado, Phillip Bernstein, el cual introdujo el concepto de modelos virtuales enriquecidos con información. A

mediados de la misma década, Charles Eastman comenzó a difundir el término BIM y sintetizó la teoría que lo vinculaba con el desarrollo de modelos de información para la construcción [21].

El desarrollador de software húngaro Graphisoft implementó, en 1987, el concepto BIM en una de sus primeras aplicaciones, llamada Virtual Building, como una extensión vinculada al programa ArchiCAD [22]. Esto transformaría la fase de planificación y diseño de un PI, ya que pueden realizarse dibujos bidimensionales y tridimensionales [23].

A mediados de 1995, empresas de desarrollo de software, como Bentley y Autodesk, comenzaron a mejorar sus herramientas CAD para combinar el concepto BIM como modelado de construcción paramétrico [24] y que las herramientas de construcción ganen importancia en lugar de las herramientas de dibujo [25].

El modelado de información de construcción (BIM) está recibiendo mayor relevancia a nivel mundial en la industria de la arquitectura, la ingeniería

y construcción (AEC), debido a su capacidad para almacenar y facilitar el uso y la reutilización de los datos a través de las fases de desarrollo del proyecto, al tiempo que evita la repetición innecesaria de las tareas de proyecto o diseño [25].

Sin embargo, el BIM es una tecnología digital giratoria e innovadora, con aplicaciones recientes en áreas como la sostenibilidad y la gestión de instalaciones, a pesar de la naturaleza fragmentada de la industria de la construcción. Mientras tanto, el BIM ha empezado a recibir más atención de la comunidad académica con varios artículos de investigación [26].

Entre ellos se incluyen artículos sobre el desarrollo del plan de estudios BIM para estudiantes universitarios. Los trabajos relacionados con el desarrollo del currículo BIM incluyen literatura como "desarrollo de cursos y enseñanza colaborativa" [27]. También se incluye la "evaluación del plan de estudios BIM frente a las necesidades industriales" y la "experimentación en clase con herramientas BIM", entre otros muchos temas relacionados [28].

El BIM puede verse como una nueva perspectiva sobre gestión, diseño y construcción de instalaciones, a través de la cual se utiliza una representación digital del proceso constructivo [29] para facilitar el intercambio e interoperabilidad de la información en formato digital [30].

Se trata de una solución innovadora con mucho por explorar. Dado que garantiza un "proceso integrado coordinado" [31], es una herramienta de gran utilidad para todos los interesados en el proyecto, quienes podrían encontrarla adecuada y apropiada para sus trabajos debido a su naturaleza diversa y a la perspectiva de colaboración para la industria de la construcción [32]. Uno de los beneficios de BIM es el aumento en el retorno de la inversión (RI) para los clientes, que "facilita la difusión de la información", y esto, a su vez, ayuda a asegurar el éxito del proyecto [33].

Asimismo, las herramientas tecnológicas relacionadas, como el sistema de realidad aumentada (RA) y el sistema de información geográfica (SIG), también se han integrado en

el proceso BIM para facilitar la visualización del proceso de construcción [34].

BIM es un concepto que está siendo adoptado actualmente por muchos fabricantes de software y su desarrollo no tiene límites hasta el día de hoy, debido a que estas herramientas BIM deben basarse siempre en un método que permita el desarrollo de una ingeniería coordinada e integrada. Esto ha llevado al desarrollo de programas formativos, diplomados o de posgrado en la temática de Gestión BIM, cuyo objetivo es formar profesionales capaces de gestionar de forma eficaz los procesos constructivos [35].

El concepto BIM corresponde a la representación digital de las propiedades tanto funcionales como físicas de una infraestructura. BIM es una fuente común de inquisición sobre un edificio, que proporciona una base confiable para tomar buenas decisiones en el proceso del proyecto, desde su concepción hasta su ejecución, incluida la demolición [36].

BIM se muestra como una alternativa de solución en administración, planificación en PI y otras áreas cuya necesidad es impartir procesos o conceptos de tal forma que la idea a transferir no se base en la interpretación geométrica de dibujo sino en información sobre las propiedades o la simulación espacial de un objeto, un proceso o una geometría. En pocas palabras, el que un dibujo multivectorial forme una geometría similar a un mueble en vista en planta depende de la calidad del dibujo y de la familiaridad del consumidor con el dibujo para identificarlo y llevarlo al gráfico [37].

Con el método BIM, aquel mobiliario se convierte en un modelo tridimensional del cual pueden obtenerse cálculos y vistas, gracias al uso de su campo de información o parámetros, tales como propiedades mecánicas del material, área, ubicación espacial, volumen y material [38].

## V. Estudios sobre la implementación BIM

Los estudios anteriores sobre revisiones de la literatura BIM se han centrado en áreas o temas de investigación específicos, como la gestión de

instalaciones y la sostenibilidad ambiental. Los estudios han esbozado las prácticas actuales y las direcciones futuras a través de diversos enfoques de investigación, tales como encuestas, revisiones críticas de la literatura y entrevistas [39]. Además, los investigadores han llevado a cabo revisiones y análisis que incluyen el proyecto de los contratistas para adoptar BIM, el modelo de proceso de licitación electrónica, la gestión de residuos, la educación y el conocimiento. Otros incluyen simulación de redes sociales, BIM en la nube y adopciones de tecnología [40].

Existen otros estudios sobre la integración BIM-SIG y la sostenibilidad; sin embargo, recientemente, en los últimos 5 años, se ha realizado una gran cantidad de revisiones de la literatura sobre el campo de investigación de BIM. Puede observarse el empleo de la literatura de BIM para deducir áreas de investigación principales de BIM y etiquetas de factores del Análisis Semántico Latente (ASL), descrito como una "técnica de procesamiento de lenguaje natural" que sirve para analizar los resúmenes de los artículos de revistas [41].

Mientras tanto, Koo y sus colaboradores emplearon el software informático Citespace para examinar los registros de citas descargados de la base de datos Web of Science con el fin de identificar a los autores con más citas y referencias bibliográficas y los "temas calientes" en las áreas de investigación BIM con más citas [42], [43].

Las revisiones anteriores de BIM se centraron, principalmente, en el análisis de las citas de los autores y las revistas, mientras que este estudio intenta llenar el vacío en las revisiones de la literatura existente y añadir valor al área de conocimiento de BIM [44], [45].

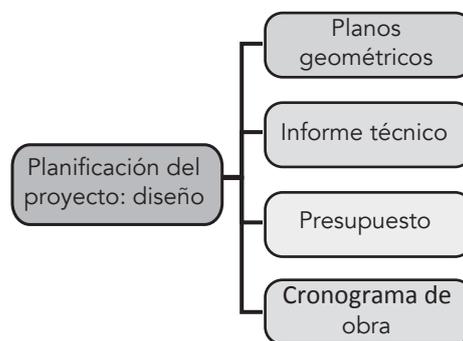
A lo largo del análisis bibliométrico y las revisiones de la literatura, el estudio adoptó un enfoque más sistemático y analítico para lograr los objetivos del estudio. Se analizó una amplia gama de publicaciones en varias casas de publicación de revistas. La siguiente sección se centra en la discusión de la metodología de investigación aplicada y la estrategia de búsqueda de literatura [46].

## VI. Etapas de un proyecto BIM

La programación es una fase técnica inicial de un proyecto. Se caracteriza por el planteamiento al alcance del proyecto, sus peculiaridades técnicas, lineamientos y objetivos, así como la recopilación de información sobre factores de influencia, tales como la intención de diseño, la locación y las limitantes técnicas, normativas y presupuestarias [47].

El diseño conceptual es el resultado de recopilar y analizar toda la información que define el proyecto, lo que da lugar a la idea de diseño inicial. En esta fase se abordan posibles alternativas u opciones para que se lleve a cabo el proyecto de manera satisfactoria [48]. Se lleva a escenarios con diseños conceptuales para el análisis y selección, el cual representa el mayor beneficio que converge con la finalidad del proyecto. En esta fase, es necesario utilizar una herramienta BIM que permita acceder a información de evaluación sobre las propuestas, para que puedan ser parte de la asistencia en la elección de la mejor alternativa, tal como se muestra en la Figura 2 para un proyecto vial [49].

**Figura 2.** Flujo de producción en proyectos viales.



Fuente: *Elaboración propia*

El diseño de detalle en un proyecto, cuando se selecciona la mejor opción entre los diseños propuestos, inicia con el detallado del mismo, así como un estudio específico de las partes que

componen el proyecto [50]; además, incluye la aplicación de reglamentos técnicos y la adaptación técnicamente asistida del diseño conceptual para conseguir el diseño final [51].

Se recomienda que la HBIM en la que se creó el diseño conceptual sea compatible con la HBIM del diseño final, para utilizar el mayor número posible de características geométricas descritas en el diseño conceptual. La continuidad y consistencia de los datos es parte fundamental de la metodología BIM [40], [52].

El análisis es el procesamiento mediante el cual se debe probar digitalmente el diseño detallado de la infraestructura. Existen varios análisis que pueden realizarse digitalmente o por métodos de cálculo [53]. En la fase de análisis, el modelo de diseño se somete a ciertas pruebas que pueden o no respaldar el diseño definitivo. Estas deben programarse para que los resultados que se obtengan correspondan con la realidad [54].

Existen HBIM que pueden realizar un análisis de la plataforma de diseño, así como herramientas de análisis exclusivas. No obstante, la condición para cumplir con el ciclo BIM en esta fase es que los resultados puedan consumirse y utilizarse para los ajustes del modelo, de modo que el diseñador tenga datos de evaluación para refinarlo [55].

La documentación es la fase en que se ajusta el modelo y se completan los elementos de diseño y luego se grafican los documentos resultantes del mismo, planos, cómputos métricos o cubicación, detalles, imágenes y leyendas, los cuales son productos a extraer del modelo BIM [56].

La fabricación inicia cuando el proyecto ha completado la fase de diseño y comienza la ejecución física o el trabajo. Diversos proyectos tienen propiedades muy específicas que requieren que sus elementos sean fabricados de manera especial [57]. Usando máquinas compatibles, es posible cortar, imprimir, dar forma o producir digitalmente los elementos a través de un dispositivo periférico; en otras palabras, la

metodología BIM permite crear automáticamente los elementos u objetos diseñados [58].

La construcción/presupuestario (4D y 5D) es una fase en la que se requiere la aplicación de una dirección de proyecto, porque aquí, cuando se asocia un plan de ejecución (4D), pueden incluirse evaluaciones de tal forma que el costo del proyecto pueda incluirse en sus fases de ejecución (5D). Para ello se requiere que la HBIM permita la extracción de información con el fin de cuantificar y caracterizar materiales para los elementos modelados [59].

La logística y la construcción se encuentran en la fase en que los empleados están llevando a cabo la construcción del proyecto [60]. La MBIM influye en el seguimiento y control logístico basado en la planificación del trabajo. Los problemas de interacción entre las disciplinas también pueden verificarse con anterioridad, lo que lleva a los expertos a realizar ajustes al proyecto antes de que se lleve a cabo [61].

El mantenimiento y la operación se llevan a cabo cuando se termina la construcción y el PI comienza a brindar los servicios para los cuales fue construido, es decir que ha comenzado su fase operativa. Esta fase se caracteriza por el consumo de los recursos contenidos en la MBIM para el funcionamiento idóneo de la infraestructura, así como por la adecuación y actualización que la infraestructura pueda recibir en el tiempo debido a su uso o mantenimiento [61].

La demolición es la fase de destrucción de la infraestructura, la cual completa el ciclo de una estructura. La MBIM, en este desarrollo, servirá para distinguir qué tipo de material y qué tipo de estructura les permitirá precisar el mejor mecanismo y método para su demolición [62].

Renovación es la fase en la que se decidió adaptar la infraestructura original (IO) con el objeto de aumentar su tamaño o añadir una nueva estructura [63]. El MBIM permite detallar la IO y utilizar esta información para crear la nueva estructura complementaria [64].

## VII. BIM en diseño de infraestructura vial

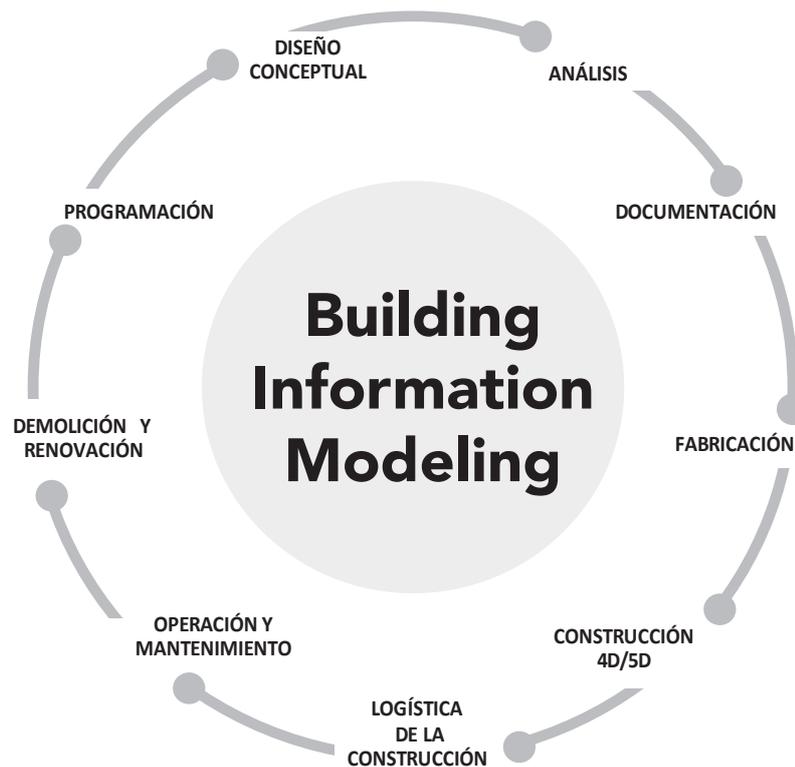
La metodología BIM es muy versátil y aplicable en diferentes áreas de la ingeniería civil y el mayor desarrollo en tecnología BIM se aplica en viviendas y edificaciones. El concepto se aplica de la misma forma en diferentes utilidades, las cuales pueden variar dependiendo de la estructura que se esté diseñando [65]. Los proyectos de infraestructura vial deben utilizar todas las herramientas que faciliten el desarrollo de elementos viales, como, por ejemplo, AutoCAD Civil 3D [66].

Todos los procesos de la MBIM pueden utilizarse para planificar y ejecutar un proyecto de ingeniería, pero no todos los proyectos de construcción de carreteras pueden pasar por todas las fases [67].

Dependiendo del rubro de la especialidad y de la diferencia de los elementos a construir, varios de los procesos BIM pueden excluirse en el desarrollo integral de un proyecto de construcción vial [68], ya que no todos los paquetes de software permiten el uso de información de los elementos modelados, como se describe en un flujo BIM, o no pueden modelar estos elementos más complejos [69].

Con base en lo anterior, suele establecerse un flujo de proceso para el empleo de la MBIM cuando se desarrolla un proyecto específico de infraestructura vial, el cual debe cumplir un ciclo con ciertas etapas [70], tal como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3.** Ciclo en un proyecto BIM.



Fuente: Elaboración propia

La metodología BIM, aplicada a proyectos de infraestructura vial, plantea el alcance y los objetivos de los lineamientos técnicos, la intención de diseño y el presupuesto referencial [71]. La recopilación y análisis de información se basa en la topografía referencial, el análisis de zonas de riesgo, la caracterización de suelos, imágenes satelitales y estudios de tráfico promedio diario anual. El planteamiento de elección de HBIM y flujo de trabajo aborda programas como AutoCAD Civil 3D y Autodesk Infraworks 360 [72].

El diseño conceptual BIM en proyectos viales se fundamenta en la información digitalizada, el plan a nivel conceptual, el análisis técnico y las alternativas de diseño [73]. Dicho diseño de detalle BIM vial genera, a partir de recolección de información y levantamiento topográfico, una mejor alternativa, al aplicar la normativa de diseño geométrico vigente de un país y la dinámica de materiales para el modelado BIM [74].

El análisis BIM vial aborda la información taquimétrica obtenida del replanto de un diseño definitivo, el cual comprueba la normativa técnica y el análisis gráfico y recorrido de modelo vial [75]. La documentación BIM vial se basa en elaboración de plantilla de plano y extracción del mismo en perfil y planta, la extracción de reportes de cuantificación de obra y de diseño geométrico de vías [76].

La construcción (4D y 5D) BIM vial plantea la vinculación y elaboración del cronograma para la ejecución del proyecto, además de identificar los posibles conflictos con diferentes disciplinas que intervengan en la construcción de un proyecto [77].

## VIII. Conclusiones

La solución a las complejas situaciones en el desarrollo de proyectos y obras de infraestructura vial de un país debe ejecutarse según esquemas metódicos que permitan encontrar soluciones eficientes y apoyarse en la tecnología de punta, utilizada sistemáticamente bajo parámetros de orden lógico, los cuales acceden a presentar proyectos de diseño adaptados de manera óptima a las situaciones reales de obra.

La implementación de una metodología centrada en modelos digitales BIM permite anticipar las condiciones finales de un proyecto de forma muy precisa, para identificar posibles problemas que sucedan en su contexto.

Restringir la geometría de un proyecto de carretera, mediante regulaciones vinculadas a un modelado digital bajo la MBIM, garantiza que los diseñadores profesionales cumplan con los parámetros requeridos por las regulaciones.

Los cambios o ajustes a la construcción en un MBIM reducen el tiempo de trabajo a través de la conexión dinámica parametrizada entre el dibujo y el modelo y eliminan los errores debidos a la falta de actualización de los cambios.

La cuantificación de los recursos de costo y tiempo, basada en la geometría obtenida en un modelo BIM, reduce el error en la estimación del tiempo y permite el aumento en la producción.

Es más fácil y económico realizar mejoras y corregir fallos o retrasos en la fase de estudio o diseño que corregir retrasos o costos en las fases de construcción de un proyecto. Es por ello que representa una gran ventaja implementar la MBIM en el proceso del ciclo de vida de un proyecto.

## IX. Referencias

- [1] F. Rodrigues, F. Antunes y R. Matos, "Safety plugins for risks prevention through design resourcing BIM", *Construction Innovation*, vol. 21, no. 2, pp. 244-258, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/CI-12-2019-0147>
- [2] M. Sbiti, K. Beddiar, D. Beladjine, R. Perrault y B. Mazari, "Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations", *Buildings*, vol. 11 no. 5, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/buildings11050196>
- [3] A. M. Eldeeb, M. A. M. Farag y L. M. Abd El-hafez, "Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study: Using BIM as a lean management tool", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, no. 2, marzo de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.07.009>

- [4] P. Bosch-Sijtsema y P. Gluch, "Challenging construction project management institutions: the role and agency of BIM actors", *International Journal of Construction Management*, vol. 21, no. 11, pp. 1077-1087, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1602585>
- [5] M. Afzal, M. T. Shafiq y H. A. Jassmi, "Improving construction safety with virtual-design construction technologies – a review", *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 26, pp. 319-340, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.018>
- [6] A. A. Akintola, S. Venkatachalam, D. Root y A. H. Oti, "Distilling agency in BIM-induced change in work practices", *Construction Innovation*, vol. 21, no. 3, pp. 490-522, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/CI-09-2019-0088>
- [7] M. Al-Kasasbeh, O. Abudayyeh y H. Liu, "An integrated decision support system for building asset management based on BIM and Work Breakdown Structure", *Journal of Building Engineering*, vol. 34, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101959>
- [8] A. V. Arrotéia, R. C. Freitas y S. B. Melhado, "Barriers to BIM Adoption in Brazil", *Frontiers in Built Environment*, vol. 7, marzo de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.520154>
- [9] Z. Aziz, Z. Riaz y M. Arslan, "Leveraging BIM and Big Data to deliver well maintained highways", *Facilities*, vol. 35, no. 13-14, pp. 818-832, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/F-02-2016-0021>
- [10] L. Barazzetti, M. Previtali y M. Scaioni, "Roads Detection and Parametrization in Integrated BIM-GIS Using LiDAR", *Infrastructures*, vol. 5, no. 7, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070055>
- [11] P. Bellido-Montesinos, F. Lozano-Galant, F. J. Castilla y J. A. Lozano-Galant, "Experiences learned from an international BIM contest: Software use and information workflow analysis to be published in: Journal of Building Engineering", *Journal of Building Engineering*, vol. 21, pp. 149-157, enero de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.012>
- [12] S. A. Biancardo, A. Capano, S. G. de Oliveira y A. Tibaut, "Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design", *Infrastructures*, vol. 5, no. 4, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/infrastructures5040037>
- [13] S. A. Biancardo, N. Viscione, A. Cerbone y E. Dessì, Jr, "BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls", *Infrastructures*, vol. 5, no. 7, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070059>
- [14] A. S. Borkowski y M. Wyszomirski, "Landscape Information modelling: an important aspect of BIM modelling, examples of cubature, infrastructure, and planning projects", *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, no. 1, pp. 7-22, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.15576/GLL/2021.1.7>
- [15] G. Bosurgi, O. Pellegrino y G. Sollazzo, "Pavement condition information modelling in an I-BIM environment", *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 23, no. 13, pp. 4803-4818, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1978442>
- [16] M. Botte, A. Zampi, C. Oreto y L. D'Acerno, "The Use of Road Microsimulation Software within BIM Environments: A Preliminary Assessment", *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2021, no. especial, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2021/8871288>
- [17] K. Castañeda, O. Sánchez, R. F. Herrera, E. Pellicer y H. Porras, "BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design", *Automation in Construction*, vol. 131, noviembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103911>

- [18] L. Chen, P. Shi, Q. Tang, W. Liu y Q. Wu, "Development and application of a specification-compliant highway tunnel facility management system based on BIM", *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 97, marzo de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103262>
- [19] X. Chen, A. Y. Chang-Richards, A. Pelosi, Y. Jia, X. Shen, M. K. Siddiqui y N. Yang, "Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 8, pp. 3181-3209, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2021-0172>
- [20] J. Collao, F. Lozano-Galant, J. A. Lozano-Galant y J. Turmo, "BIM Visual Programming Tools Applications in Infrastructure Projects: A State-of-the-Art Review", *Applied Sciences*, vol. 11, no. 18, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app11188343>
- [21] A. Costin, A. Adibfar, H. Hu y S. S. Chen, "Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations", *Automation in Construction*, vol. 94, pp. 257-281, octubre de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001>
- [22] H. Ehrbar, "BIM im Infrastrukturbau der Deutschen Bahn", *Bautechnik*, vol. 94, no. 4, pp. 237-247, abril de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bate.201700012>
- [23] H. O. Elhusseiny, I. Nosair y A. S. Ezeldin, "Developing a user plug-in to assess delay causes' impact on construction projects in Egypt", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 3553-3568, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.013>
- [24] M. Evans, P. Farrell, A. Mashali y W. Zewein, "Critical success factors for adopting building information modelling (BIM) and lean construction practices on construction mega-projects: a Delphi survey", *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 537-556, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-04-2020-0146>
- [25] S. Fabozzi, S. A. Biancardo, R. Veropalumbo y E. Bilotta, "I-BIM based approach for geotechnical and numerical modelling of a conventional tunnel excavation", *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 108, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103723>
- [26] W. Fentzloff, S. Rothe, C. Stahn y D. Papantonakis, "BIM meets Lean – Logistics study of a long tunnel using BIM and Lean methods", *Geomechanics and Tunnelling*, vol. 14, no. 3, pp. 286-297, junio de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/geot.202100012>
- [27] A. Gerbov, V. Singh y M. Herva, "Challenges in applying design research studies to assess benefits of BIM in infrastructure projects: Reflections from Finnish case studies", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 25, no. 1, pp. 2-20, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2016-0260>
- [28] A. Girardet y C. Boton, "A parametric BIM approach to foster bridge project design and análisis", *Automation in Construction*, vol. 126, junio de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103679>
- [29] A. Glema, "Building Information Modeling BIM - Level of Digital Construction", *Archives of Civil Engineering*, vol. 63, no. 3, pp. 39-51, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1515/ace-2017-0027>
- [30] B. Grzyl, E. Miszewska-Urbańska y M. Apollo, "Building Information Modelling as an Opportunity and Risk for Stakeholders Involved in Construction Investment Process", *Procedia Engineering*, vol. 196, pp. 1026-1033, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.045>
- [31] Z. Hao, W. Zhang y Y. Zhao, "Integrated BIM and VR to implement IPD mode in transportation infrastructure projects: System design and case application", *PLOS ONE*, vol. 16, no. 11, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259046>

- [32] E. Haronian y R. Sacks, "ROADELS: discrete information objects for production planning and control of road construction", *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 25, no. especial, pp. 254-271, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.015>
- [33] W. Hatem, W y B. Maula, "Improving Project Monitoring by Integrating BIM with Augmented Reality", *International Review of Civil Engineering*, vol. 11, no. 6, pp. 304-310, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15866/irece.v11i6.19358>
- [34] S. Hire, S. Sandbhor, K. Ruikar y C. B. Amarnath, "BIM usage benefits and challenges for site safety application in Indian construction sector", *Asian Journal of Civil Engineering*, vol. 22, pp. 1249-1267, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00379-8>
- [35] Y. Hong, A. W. A. Hammad, S. Sepasgozar y A. Akbarnezhad, "BIM adoption model for small and medium construction organisations in Australia", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 26, no. 2, pp. 154-183, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2017-0064>
- [36] M. Q. Huang, J. Ninić y Q. B. Zhang, "BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives", *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 108, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103677>
- [37] Y. Huang, S. Wang y J. Zhao, "The Application Research on BIM Technology in Road and Bridge Projects in the Western Yunnan Area", *Agro Food Industry Hi-Tech*, vol. 28, no. 1, pp. 2964-2967, 2017.
- [38] M. Häußler, S. Esser y A. Borrmann, "Code compliance checking of railway designs by integrating BIM, BPMN and DMN", *Automation in Construction*, vol. 121, enero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103427>
- [39] A. Justo, M. Soilán, A. Sánchez-Rodríguez y B. Riveiro, "Scan-to-BIM for the infrastructure domain: Generation of IFC-complaint models of road infrastructure assets and semantics using 3D point cloud data", *Automation in Construction*, vol. 127, julio de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103703>
- [40] M. Kalach, M.-A. Abdul Malak y I. Srour, "BIM-Enabled Streaming of Changes and Potential Claims Induced by Fast-Tracking Design-Build Projects", *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, vol. 13, no. 1, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000450](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000450)
- [41] S. Kim, S. Chin, J. Han and C.-H. Choi, "Measurement of Construction BIM Value Based on a Case Study of a Large-Scale Building Project", *Journal of Management in Engineering*, vol. 33, no. 6, noviembre de 2017 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000551](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000551)
- [42] B. Koo, R. Jung, Y. Yu y I. Kim, "A geometric deep learning approach for checking element-to-entity mappings in infrastructure building information models", *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 239-250, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaa075>
- [43] S. S. Lee, K. T. Kim, W. A. Tanoli y J. W. Seo, "Flexible 3D Model Partitioning System for nD-Based BIM Implementation of Alignment-Based Civil Infrastructure", *Journal of Management in Engineering*, vol. 36, no. 1, enero de 2020 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000725](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000725)
- [44] R. L. Machado y C. Vilela, "Conceptual framework for integrating BIM and augmented reality in construction management". *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 26, no. 1, pp. 83-94, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.11803>

- [45] A. Marefat, H. Toosi y R. Mahmoudi Hasankhanlo, "A BIM approach for construction safety: applications, barriers and solutions", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 26, no. 9, pp. 1855-1877, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2017-0011>
- [46] F. Mellado y E. C. W. Lou, "Building information modelling, lean and sustainability: An integration framework to promote performance improvements in the construction industry", *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, octubre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102355>
- [47] M. E. Murphy y M.-M. Nahod, "Stakeholder competency in evaluating the environmental impacts of infrastructure projects using BIM", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 24, no. 5, pp. 718-735, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2015-0106>
- [48] O. Olugboyega, D. J. Edwards, A. O. Windapo, E. D. Omopariola y I. Martek, "Development of a conceptual model for evaluating the success of BIM-based construction projects", *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 10, no. 4, pp. 681-701, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2020-0013>
- [49] J. Patacas, N. Dawood y M. Kassem, "BIM for facilities management: A framework and a common data environment using open standards", *Automation in Construction*, vol. 120, diciembre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103366>
- [50] A. Pompigna y R. Mauro, "Smart roads: A state of the art of highways innovations in the Smart Age", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 25, enero de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.04.005>
- [51] R. Rajadurai y A. Vilventhan, "Integrating road information modeling (RIM) and geographic information system (GIS) for effective utility relocations in infrastructure projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 9, pp. 3647-3663, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2021-0295>
- [52] M. J. Rojas, R. F. Herrera, C. Mourgues, J. L. Ponz-Tienda, L. F. Alarcón y E. Pellicer, "BIM Use Assessment (BUA) Tool for Characterizing the Application Levels of BIM Uses for the Planning and Design of Construction Projects", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019, no. especial, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2019/9094254>
- [53] R. Samimpay y E. Saghatforoush, "Benefits of Implementing Building Information Modeling (BIM) in Infrastructure Projects", *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, vol. 10, no. 2, pp. 123-140, 2020 [En línea]. Disponible en: <http://doi.org/10.2478/jepm-2020-0015>
- [54] B. Sankaran, G. Nevet, W. J. O'Brien, P. M. Goodrum y J. Johnson, "Civil Integrated Management: Empirical study of digital practices in highway project delivery and asset management", *Automation in Construction*, vol. 87, pp. 84-95, marzo de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.006>
- [55] C. P. Schimanski, N. L. Pradhan, D. Chaltsev, G. Pasetti Monizza y D. T. Matt, "Integrating BIM with Lean Construction approach: Functional requirements and production management software", *Automation in Construction*, vol. 132, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103969>
- [56] M.-H. Shin y H.-Y. Kim. "Facilitators and Barriers in Applying Building Information Modeling (BIM) for Construction Industry", *Applied Sciences*, vol. 11, no. 19, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app11198983>

- [57] M.-H. Shin, J.-M. Kim y J.-H. Baek, "Study on UI Standards When Building a BIM-Based Integrated Life Cycle Management System for Railway Infrastructure", *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 24, no. 8, pp. 746-755, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.7782/JKSR.2021.24.8.746>
- [58] M. Soilán, A. Justo, A. Sánchez-Rodríguez y B. Riveiro, "3D Point Cloud to BIM: Semi-Automated Framework to Define IFC Alignment Entities from MLS-Acquired LiDAR Data of Highway Roads", *Remote Sensing*, vol. 12, no. 14, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs12142301>
- [59] T. Su, H. Li y Y. An, "A BIM and machine learning integration framework for automated property valuation", *Journal of Building Engineering*, vol. 44, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102636>
- [60] M. V. Tallgren, M. Roupé, M. Johansson y P. Bosch-Sijtsema, "BIM-tool development enhancing collaborative scheduling for pre-construction", *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 25, pp. 374-397, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.022>
- [61] F. Tang, T. Ma, J. Zhang, Y. Guan y L. Chen, "Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM", *Automation in Construction*, vol. 113, mayo de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103152>
- [62] A. Tezel y Z. Aziz, "Visual management in highways construction and maintenance in England", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 24, no. 3, pp. 486-513, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0052>
- [63] J. Torrico, "BIM en infraestructuras civiles", *Revista de Obras Públicas*, no. 3615, pp. 60-65, 2019.
- [64] G. Ugglá y M. Horemuz, "Geographic capabilities and limitations of Industry Foundation Classes", *Automation in Construction*, vol. 96, pp. 554-566, diciembre de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.014>
- [65] T. Umar, "Challenges of BIM implementation in GCC construction industry", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 3, pp. 1139-1168, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0608>
- [66] L. Ustinovičius, A. Puzinas, J. Starynina, M. Vaišnoras, O. Černiavskaja y R. Kontrimovičius, "Challenges of BIM technology application in project planning", *Engineering Management in Production and Services*, vol. 10, no. 2, pp. 15-28, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/emj-2018-0008>
- [67] T. Vilitienė, E. Šarkienė, V. Šarka y A. Kiaulakis, "BIM Application in Infrastructure Projects", *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, vol. 15, no. 3, pp. 74-92, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2020-15.485>
- [68] A. F. Van Roy y A. Firdaus, "Building Information Modelling in Indonesia: Knowledge, Implementation and Barriers", *Journal of Construction in Developing Countries*, vol. 25, no. 2, pp. 199-217, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21315/jcdc2020.25.2.8>
- [69] V. Vignali, E. M. Acerra, C. Lantieri, F. di Vincenzo, G. Piacentini y S. Pancaldi, "Building information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure", *Automation in Construction*, vol. 128, agosto de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103752>
- [70] J. Wang y W. Lu, "A deployment framework for BIM localization", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 1, pp. 407-430, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2020-0747>
- [71] G. Yanda, M. Amin y T. D. Soehari, "Investment, Returns, and Risk of Building Information Modeling (BIM) Implementation in Indonesia's Construction Project", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 5159-5166, octubre de 2019 [En línea]. Disponible en: <http://www.doi.org/10.35940/ijeat.A1806.109119>

- [72] J.-B. Yang y H.-Y. Chou, "Subjective benefit evaluation model for immature BIM-enabled stakeholders", *Automation in Construction*, vol. 106, octubre de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102908>
- [73] Y. Yang, S. T. Ng, J. Dao, S. Zhou, F. J. Xu, X. Xu y Z. Zhou, "BIM-GIS-DCEs enabled vulnerability assessment of interdependent infrastructures – A case of stormwater drainage-building-road transport Nexus in urban flooding", *Automation in Construction*, vol. 125, mayo de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103626>
- [74] G. Yu, Z. Mao, M. Hu, Z. Li y V. Sugumaran, "BIM+ Topology Diagram-Driven Multiutility Tunnel Emergency Response Method", *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 33, no. 6, noviembre de 2019 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000851](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000851)
- [75] J. Zak y S. Vitasek, "BIM superior approach for infrastructure construction in the Czech Republic", en 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, 23-25 de mayo de 2018, pp. 578-584 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N210>
- [76] S. Znobishchev y V. Shamraeva, "Practical Use of BIM Modeling for Road Infrastructure Facilities", *Architecture and Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 49-54, 2019 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-3-49-54>
- [77] M. A. van Eldik, F. Vahdatikhaki, J. M. Oliveira dos Santos, M. Visser y A. Doree, "BIM-based environmental impact assessment for infrastructure design projects", *Automation in Construction*, vol. 120, diciembre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103379>



# Prácticas para estimación de reservas de contingencia en CapEx de proyectos: una revisión literaria

## *Practices for Estimating Contingency Reserves in Project CapEx: A Literature Review*

Gabriel Jaime Correa-Henao<sup>1</sup>

**Tipo de Artículo:** Revisión.

**Recibido:** 1/06/22 **Aprobado:** 14/08/22 **Publicado:** 18/12/2022

**Resumen:** El propósito del presente artículo está relacionado con la verificación de las mejores prácticas para considerar la incorporación de reservas de contingencia en la elaboración de los presupuestos de inversión (Capital Expenditure - CAPEX) en la etapa de formulación de proyectos, dada la necesidad de considerar la existencia de riesgos y oportunidades que van más allá de la denominación determinística de los presupuestos y que constituyen un motivo de preocupación para los patrocinadores y para los clientes de los proyectos. A tal efecto, se proporciona una revisión literaria alineada con el estado del arte en las mejores prácticas de formulación de proyectos y se proporciona el entendimiento de las metodologías más apropiadas para incorporación en equipos de trabajo interesados en estas prácticas.

**Palabras clave:** Dirección de proyectos, reservas de contingencia, plan de gestión de costos, presupuestos CAPEX.

**Abstract:** This paper has the goal to present a corroboration of best practices that consider incorporation of contingency reserves into investment budgets (Capital Expenditure - CAPEX) during project formulation stages. This objective arises due to the consideration of risks and opportunities, which go beyond the deterministic denomination of the budgets, and therefore, they constitute a cause concerning both sponsors and clients of the projects. For this purpose, a literary review is provided, which is aligned with the state of the art in the best practices of project formulation, and the understanding of the most appropriate methodologies for incorporation into work teams interested in these practices is provided.

<sup>1</sup> Ingeniero Electricista, PhD en Ingeniería Eléctrica. Unidad Ingeniería de Proyectos 1, Empresas Publicas de Medellín, Colombia, Medellín. Gabriel.Jaime.Correa@epm.com.co

**Keywords:** Project management, management reserves, contingency reserves, project formulation, cost management plan, CAPEX budgets.

## I. Introducción

Históricamente, las organizaciones y empresas están sujetas a la creación, planificación, desarrollo y transferencia de proyectos, toda vez que, de esta manera, se garantiza su sostenibilidad y rentabilidad. En la actualidad, los cambios continuos e imparables debidos a la globalización obligan a la adaptación de todas las entidades a los constantes cambios internos, en un entorno de crecimiento gradual y sostenible.

En las últimas décadas, se ha hecho evidente la incorporación de metodologías estructuradas y universales para facilitar la gestión de cada una de las etapas que componen un proyecto. Actualmente, estas metodologías tienen alta aceptación y se difunden con éxito a nivel internacional, debido al interés de las empresas y de los Gobiernos en generar valor en la ejecución de cualquiera de los proyectos que se emprenden y, de esta manera, garantizar el óptimo resultado en el desarrollo de todas sus etapas [1], [2]

En términos generales, las metodologías de gestión de proyectos hacen parte de las culturas organizacionales gracias al evidente éxito en el logro de la visión estratégica de las empresas y de los planes de gobierno.

En este artículo se aborda el tema de la gestión de proyectos, con especial énfasis en la etapa de planificación de costos, es decir, la construcción de los presupuestos, dado el notable interés de los patrocinadores de proyectos en que los recursos que se presupuesten correspondan con la realidad de las inversiones económicas, al tiempo que se minimizan las incertidumbres asociadas con los planes de costo de los proyectos.

A tal efecto, se proporciona una revisión literaria de las mejores prácticas que se realizan en el proceso de construcción de presupuestos. Adicionalmente, se presenta un resumen de las metodologías más adecuadas para la estimación semicuantitativa

de las contingencias (que hacen parte de las actividades identificadas en las estructuras de desglose de trabajo de los proyectos).

Para facilitar la lectura del artículo, se inicia con el marco teórico, donde se explican las propuestas de elaboración de presupuestos para los proyectos en una organización. Seguidamente, el artículo presenta el resultado de la revisión literaria y prácticas fundamentadas en el estado del arte para la construcción de los planes de costos en los proyectos. Luego se referencia el procedimiento recomendado para la estimación análoga de las reservas de contingencia en los planes de costos de los proyectos, fundamentados en el rastreo de la revisión bibliográfica. La última parte contiene las conclusiones y recomendaciones asociadas con el propósito de este artículo de revisión de literatura.

## II. Marco teórico

Un proyecto se define como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único [3] y tiene las siguientes características:

- Tiene un propósito específico.
- Se crea para un específico resultado, producto o servicio.
- Tiene un comienzo y un final definidos.
- Es temporal.
- Puede ser progresivamente elaborado, dependiendo del aprendizaje alrededor de los detalles.

En ese contexto, la dirección de proyectos surge como una disciplina que tiene como objetivo la mejora de los procesos y su entorno para alcanzar los resultados esperados. Por lo tanto, es una disciplina que incluye el planeamiento, la organización, la estrategia y el control de los recursos [4].

### Prácticas reconocidas en la gestión de proyectos

Un aspecto que siempre debe tenerse en cuenta son las limitaciones; es decir, todo proyecto tendrá siempre restricciones tales como el tiempo, la

calidad y el presupuesto, por lo que un director de proyectos deberá costear dichos límites para lograr el éxito del proyecto [5].

### Fundamentación de las prácticas de PMI

La filosofía del Project Management Institute (PMI) busca incentivar las mejores prácticas de dirección de proyectos dentro de un esquema de procesos (iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, cierre) combinado con áreas de conocimiento (integración, alcance, tiempo, costos, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones, interesados) [2].

Dentro del propósito de este artículo, se valida la necesidad de enfocar las condiciones para incorporar la incertidumbre dentro de los costos de las actividades de los proyectos.

En este sentido, toman relevancia las siguientes definiciones, para facilitar el entendimiento de la incorporación de la incertidumbre en el presupuesto de un proyecto [3], [6], [7]:

- **Línea base:** Corresponde a la versión aprobada del presupuesto del proyecto por etapas temporales, con exclusión de las reservas de gestión. Se utiliza como base para la comparación de la ejecución presupuestal con los resultados reales.
- **Reserva de contingencia:** Corresponde a las holguras que involucran la incertidumbre en forma de cantidad económica, las cuales se añaden a la línea base de costos de las actividades de un proyecto para obtener el presupuesto.
- **Reserva de gestión:** Aunque forma parte del presupuesto total y de los requisitos de financiamiento del proyecto, esta reserva no se incluye en la línea base de costos. Se utiliza una cantidad determinada de las reservas de gestión del proyecto para financiar un trabajo no previsto.
- **Riesgo:** Corresponde a la proximidad o posibilidad de que suceda un daño o perjuicio y sus posibles consecuencias. Este daño puede afectar varias actividades y paquetes del trabajo del proyecto. El PMI también considera la

posibilidad de existencia de riesgos positivos (oportunidades) que generan sinergias dentro de los proyectos.

### Importancia de la EDT

En primer lugar, la revisión literaria es clara en cuanto a la importancia de adoptar las recomendaciones del PMI para la planificación de proyectos. En este sentido, la construcción de los presupuestos guarda correspondencia con el plan de gestión de costos del proyecto [8].

Es necesario generar una estructura de desglose de trabajo (EDT) para permitir la posterior elaboración de los planes de gestión de costos y de tiempo. La EDT es la información fundamental para elaborar los estimativos de tiempos y de costos de las actividades del proyecto.

### Plan de gestión de costos

En el grupo de procesos de planeación del proyecto y, específicamente, en lo referente al área de conocimiento de costos, PMI recomienda la realización del plan de dirección de costos, con especial énfasis en la estimación del presupuesto a partir de la valoración de las actividades descritas en la EDT. La realización de estimaciones presupuestales para encontrar el valor de las inversiones de CAPEX en un proyecto se efectúa mediante:

- **Estimación análoga:** valoración de la duración o del costo de una actividad mediante la utilización de datos históricos o conocimiento técnico del mismo. Se utilizan cuantificaciones tales como duración, presupuesto, tamaño, carga y complejidad como base para estimar los mismos parámetros o medidas para un proyecto futuro.
- **Estimación paramétrica:** cuantificación de valores del tiempo o del costo de actividades del proyecto, fundamentadas en procesamiento de información con algoritmos computacionales aplicados a datos históricos, funciones estadísticas de probabilidad, metaheurísticas e inteligencia artificial para predecir los valores de los costos en cada actividad del proyecto. [9]

## Recomendaciones para la elaboración del plan de gestión de costos

Según las recomendaciones del PMI, para la construcción de los presupuestos del proyecto deben tenerse en cuenta las siguientes prácticas:

- Los estimados de costos deben estar basados en la EDT para mejorar la precisión de los estimados.
- La información histórica es pieza clave para mejorar los estimados.
- Una línea de base de costos (tiempo, alcance, calidad y recursos) debe mantenerse sin modificaciones, con excepción de los cambios aprobados para propósitos de comparación.
- Todos los planes deben ser verificados durante la ejecución del trabajo.
- Las acciones correctivas deben implementarse cuando ocurren problemas de costos, calidad, tiempo, alcance o recursos.
- Debe desarrollarse una aproximación de los recursos monetarios necesarios para completar las actividades del proyecto.
- Deben tomarse en cuenta las concesiones entre costos y riesgos, lo que se conoce como análisis de alternativas (manufacturar vs. comprar, comprar vs. alquilar, manufacturar vs. tercerizar).

- Los costos del proyecto también deben estimarse a partir de la conveniencia de procesar la información de la organización y de las lecciones aprendidas de otros proyectos para estimar los costos de actividades y el presupuesto (información histórica de proyectos similares, información financiera de la organización, información de proveedores, información del resultado de la licitación, etc.).

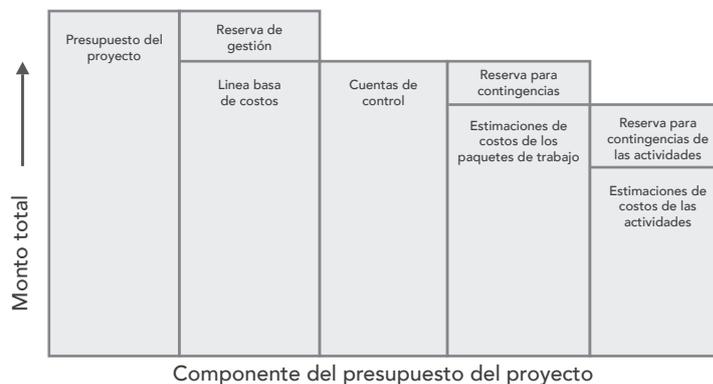
Un gerente de proyectos nunca debe aceptar requisitos de tiempos o costos de la gerencia de la organización, sino que debe analizar las necesidades del proyecto y estimarlos para luego compararlos y después conciliar las diferencias [10].

### Determinación de la línea base del presupuesto

Una recomendación importante del PMI consiste en la aplicación de la técnica de la estimación análoga ascendente para obtener una primera versión del presupuesto del proyecto.

La Figura 1 ilustra el procedimiento de aplicación de la estimación análoga ascendente, donde se valida la inclusión de las reservas de contingencia y la reserva de gestión para la construcción del presupuesto del proyecto.

**Figura 1.** Estimación análoga ascendente del presupuesto de un proyecto.



Fuente: [3]

Dependiendo del nivel de maduración del proyecto, la incorporación de incertidumbre en los costos de la EDT sugiere que el nivel de exactitud de los estimados de las contingencias sea coherente con la Tabla 1, con el propósito de establecer la línea de base de costos.

**Tabla 1.** Estimativo de las contingencias para costos en la EDT.

Maduración del proyecto	Incertidumbre menor (O)	Incertidumbre mayor (P)
<b>Iniciación</b>	-25%	75%
<b>Formulación</b>	-10%	25%
<b>Definitivo</b>	-5%	10%

Fuente: [3], [5]

Las metodologías del PMI también proponen representar la incertidumbre alrededor de un número con la aproximación de las funciones PERT (Program Evaluation and Review Technique) [11], [12].

La ecuación que se emplea para determinar el tiempo esperado es

$$E = \left( \frac{O + 4M + P}{6} \right)$$

con desviación estándar

$$\sigma = \left( \frac{P - O}{6} \right)$$

De esta manera puede calcularse el presupuesto con contingencias de manera más eficiente.

### Técnicas y buenas prácticas en la estimación de contingencias de costos

A partir de la información determinada en esta sección de marco teórico, se identifican algunas combinaciones de técnicas y metodologías que, en opinión de los autores, reflejan las mejores prácticas para la estimación análoga y paramétrica de los costos de los proyectos.

Dentro de las técnicas que se relacionan en el estudio del estado del arte, se identifican al menos las siguientes, o una combinación entre varias de ellas [13]:

- Estado del arte
- Estudio de caso
- Funciones de probabilidad
- Herramientas de inteligencia artificial (IA) y heurísticas
- Juicio de expertos
- Valor monetario esperado
- Ponderación semicuantitativa del riesgo.

Otros autores pueden relacionar algunas técnicas adicionales (o combinación de ellas) en las evaluaciones análogas o paramétricas para la evaluación de reservas de contingencia en los costos de proyectos y en la valoración del CAPEX [7], [14].

### III. Revisión literaria y estado del arte

Una revisión literaria de las mejores prácticas para la estimación de las reservas de gestión y las reservas de contingencia en la formulación de los presupuestos en los proyectos parte de las metodologías más aceptadas actualmente, las cuales están resumidas en [3] y [14], consideradas las mejores referencias de metodologías para la dirección de proyectos. Específicamente, en el área de conocimientos de costos de [3] se presenta una metodología de estimación análoga ascendente, donde se explican los siguientes pasos:

1. Para cada paquete de trabajo de la estructura de desglose de trabajo (EDT), en la etapa de planeación del proyecto, se estima una reserva de contingencia que oscila entre -5% y 10% del costo estimado.
2. Se suma el valor de todos los costos en el mismo nivel de la EDT.
3. En los entregables también se recomienda asignar un valor de contingencia.
4. Al final, una vez obtenida la línea base de presupuesto, se asigna una reserva de gestión del proyecto, que depende de la propensión al riesgo (aproximadamente un 20% adicional al presupuesto de la línea base).

## Aproximaciones a la estimación análoga de contingencias

En el planteamiento de la norma [8] se presenta una metodología de estimación análoga y paramétrica para la estimación del presupuesto y se estandarizan las recomendaciones de [3] y sus actualizaciones, según lo mencionado en las actividades del plan de gestión de costos en proyectos. La metodología se promueve en diferentes foros, como [1], donde se enfatiza la estimación análoga ascendente para la línea base del presupuesto, y también se estima una holgura que considere la incertidumbre en los gastos del proyecto. Esto facilita su posterior monitoreo y control.

Como dato de interés, vale la pena mencionar la pertinencia de las normativas ISO 31000 [15] e ISO 10007 [16], que recomiendan la incorporación de directrices para la identificación, valoración y gestión de riesgos en las organizaciones y en los proyectos. La evaluación semicuantitativa puede relacionarse directamente con los costos de las actividades en las empresas.

### Revisiones del estado del arte

A continuación se presentan, dentro de la revisión literaria, las técnicas más usuales para considerar la incertidumbre de contingencias en la determinación del CAPEX de los presupuestos de proyectos [8], [17]:

- Método de porcentaje tradicional (utilizado en todos los tipos de proyectos)
- Método de momento (usado con poca frecuencia)
- Riesgo individual - valor esperado (utilizado en todos los tipos de proyectos)
- Simulación Monte Carlo (usada en importantes proyectos de inversión capital)
- Calificación de factores (usada en proyectos de inversión capital)
- Estimación de rango (usada en proyectos de construcción de carreteras)
- Regresión (usada en todos los proyectos de construcción, en su mayoría edificios)

- Redes neuronales artificiales (usadas en proyectos de carreteras y proyectos de petróleo y gas)
- Conjuntos borrosos o fuzzy (usados significativamente en proyectos de construcción y en algunos proyectos de carreteras)
- Memoria de intervalos controlados (poca utilización)
- Diagramas de influencia (usados en proyectos de construcción multifacéticos)
- Teoría de las restricciones (usada en proyectos de construcción multifacéticos).

Igualmente, [18] y [19] presentan la revisión bibliográfica de experiencias para la estimación de contingencias, incluyendo la revisión del estado del arte de metodologías para planificación y monitoreo de la línea base de costos. Se consideran técnicas como:

- Juicio de expertos
- Teoría de restricciones
- Metodología AHP
- Evaluación de riesgos con simulación Monte Carlo
- Configuración de funciones de probabilidad para estimar riesgos cuantitativos.

En [20] se efectúa una revisión literaria de elementos para incorporar en la incertidumbre de costos de proyectos. Se recomienda incluir elementos de incertidumbre en costos tales como:

- Riesgo y contingencia en la construcción
- Estimación de costos en la etapa de diseño y su riesgo inherente
- Precisión en la estimación de costos de la etapa de diseño
- Complejidad de diseño y construcción
- Escala y alcance de la construcción
- Método de construcción
- Período de licitación y condiciones del mercado
- Restricciones del sitio
- Posición financiera del cliente
- Edificabilidad
- Localización del proyecto.

Por su parte, [21] efectúa una revisión bibliográfica sobre la trascendencia del PMI para la construcción de planes de costos y, de esta manera, se justifica la conveniencia del PMI en la elaboración de planes de gestión de costos.

Finalmente, vale la pena mencionar el estudio [22], que presenta estimaciones de costos de construcción y cronogramas realizados para un grupo de proyectos de generación de energía aprobados para financiamiento por el Banco Mundial entre 1965 y 1986. Dicho estudio contiene resultados de la desviación entre el costo real y el presupuesto estimado en proyectos de diseño, construcción y puesta en funcionamiento de centrales hidroeléctricas en diferentes países del mundo, lo cual es de utilidad para validar la importancia de acertar en el valor de las contingencias en la formulación del presupuesto de un proyecto.

### Recomendaciones metodológicas

En el caso de [23], se presenta una metodología tipo análoga, consistente en la identificación de riesgos por parte de interesados en los proyectos y su ponderación en las respectivas actividades.

En [11] y [24] se presenta una metodología de cálculo de desviación estándar con números difusos triangulares, consistente en la aplicación de la estimación de duración de actividades, pero escalable a los costos. En resumen, la estimación de incertidumbre se efectúa en forma de números difusos.

En [25] se propone una metodología tipo análoga para involucrar las expectativas y requerimientos de los interesados en el proyecto, consistente en la realización de entrevistas estructuradas entre ellos para considerar las holguras en costos. Al final, se asigna una función de probabilidad para la variación de costos en cada actividad y la ponderación de cada actividad en el presupuesto.

El trabajo de [26] consiste en el desglose de criterios para presupuestar la adquisición de un servicio a partir de la recopilación de todos los requisitos, en este caso aplicado a un software, validando los

posibles costos asociados con las funcionalidades, por parte de un grupo de expertos. A su vez, en [27] se retoma dicha propuesta metodológica, pero de manera parametrizada. Se efectúa la estimación de desviación estándar acumulada para el costo de cada actividad en la EDT de proyectos de software; en este caso se asigna la de probabilidad para la variación de costos en cada actividad y ponderación de cada actividad en el presupuesto.

En [28] y [14] se presenta una metodología tipo análoga, consistente en la estimación de holguras con funciones de probabilidad en los costos de la EDT. En la misma se asigna la curva de probabilidad para la variación de costos en cada actividad y la suma final de todas las actividades y sus variaciones.

En [29] se facilita la metodología de construcción de línea base con estimación ascendente y representación con curva S. De acuerdo con la propensión al riesgo de los patrocinadores del proyecto, pueden incorporarse holguras en las reservas de contingencia y de gestión, las cuales son susceptibles de ser monitoreadas en la medida en que avanza la ejecución del proyecto, a través de la curva S de costos.

Por su parte, en [30] se presenta una revisión bibliográfica en términos de incertidumbre, riesgos y varianza, teniendo en cuenta la determinación conceptual de la reserva de gestión para el proyecto (compuesta por el estimativo del proyecto más el margen de administración más la reserva y contingencia).

En la aproximación metodológica, [31] se aplica al monitoreo de la curva S de costos y ajuste de los costos estimados hasta la conclusión del proyecto, fundamentado en la curva S de costos e involucrando componentes de riesgo con factores de comportamiento ( $\omega$ ) de los ejecutores de gasto.

Por su parte, la metodología de [32] aplica los indicadores de monitoreo y control de costos, a partir de la sugerencia para tomar los indicadores propuestos en el PMI con la finalidad de efectuar el monitoreo y control de la curva S de costos.

El caso de [33] presenta la gestión de reservas de contingencias por empresas constructoras durante la ejecución de un proyecto, aplicable de la siguiente manera: construcción de las líneas base de costo fundamentada en las recomendaciones del PMI e incorporación del tratamiento del riesgo para controlar las incertidumbres durante la ejecución del proyecto.

Un trabajo similar, por parte de [2], propone la elaboración del plan de gestión de costos con incorporación de incertidumbre y construcción de curva S para costos, aplicable de la siguiente manera: aplicación de las recomendaciones del PMI en el plan de gestión de costos para una empresa del sector eléctrico. Se recomienda construir curva S con la estimación ascendente análoga, para los proyectos que identifican los patrocinadores.

### Holguras para estimativos análogos ascendentes

Existen varias propuestas para considerar la asignación de holguras en las contingencias de actividades de la EDT. Las propuestas más importantes, que complementan las recomendaciones del PMI (presentadas al inicio de esta sección), son descritas a continuación.

En primer lugar, vale la pena citar la propuesta de [34], consistente en el mapeo de las fases y etapas de la estimación de costos del proyecto junto con una matriz genérica de madurez y calidad de la definición del alcance del proyecto, aplicable a una amplia variedad de industrias de procesos. Para tal efecto, se eligen los rangos de las contingencias en actividades, de acuerdo con los índices proporcionados por la AACE en la maduración del proyecto:

- Clase 5 (Inicio proyecto) = -50% a +100%
- Clase 4 (Factibilidad) = -15% a +50%
- Clase 3 (Presupuesto) = -10% a +30%
- Clase 2 (Licitación) = -5% a +20%
- Clase 1 (Construcción) = -3% a +15%.

Por su parte, [35] propone el análisis de desviaciones estándar de las líneas base de diferentes proyectos del sector eléctrico en Australia. Para el caso se reportan las desviaciones aplicables a las líneas base de las actividades que componen los presupuestos de diferentes proyectos, después de ejecutarlos. En dicha propuesta se aplican incertidumbres en las diferentes fases de los proyectos:

- Conceptualización ( $\pm 20\%$ )
- Planeación ( $\pm 10\%$ )
- Diseño de detalle ( $\pm 8\%$ )
- Construcción ( $\pm 5\%$ ).

Asimismo, la propuesta de [14], [36] y [37] permite realizar estimación análoga ascendente, con incorporación del riesgo, como lo recomienda el PMI, aplicable de la siguiente manera:

- De acuerdo con el proceso ejecutado para los riesgos identificados y dentro de la estructura de desglose de trabajo para el proyecto, se calcula y se dispone de una reserva de contingencia del 12,01%.
- La reserva de gestión se asocia a costos administrativos y tiene una equivalencia del 23%.
- La propuesta de [38] corresponde a una metodología de inclusión de la propensión al riesgo dentro de la contingencia con valor monetario esperado con el siguiente procedimiento:
  - » Comprender el nivel de tolerancia al riesgo en la organización.
  - » Calcular presupuesto de contingencia de riesgo. Por ejemplo: si un riesgo tiene un impacto de \$1.000 para el proyecto y una probabilidad del 20% de ocurrir, se recomienda incluir \$200 en las primeras reservas de contingencias por el riesgo en actividades EDT.
  - » Los miembros del equipo y otros interesados deben ayudar a identificar los riesgos.
  - » Se debe ponderar el costo del plan de riesgo contra el impacto del riesgo.

El trabajo de [6] y [37] propone la aplicación de los conceptos de [3], la ISO 31000 [15] y la ISO 10006 [16], en cuanto a la incorporación de los riesgos de proyectos en la estimación de la incertidumbre para proyectos de construcción de viviendas, aplicable de la siguiente manera: una profunda descripción de los criterios de gestión de riesgos que se aplican a proyectos de construcción de vivienda. Se determinan las siguientes fuentes de riesgo e incertidumbre en los costos de actividades: diseño (19%), gestión de compras (5%), construcción (10%), instalación (10%), pruebas y puesta en marcha (35%).

### **Aproximaciones a la estimación paramétrica de contingencias**

En general, la literatura especializada trata de efectuar la aproximación a la estimación de contingencias en proyectos, de manera alineada con las explicaciones teóricas de la sección anterior. Esto suele ratificarse en diversos referentes bibliográficos de amplio conocimiento entre las organizaciones. Por ejemplo, en [5] se presenta una metodología de estimación paramétrica fundamentada en datos históricos o juicios de expertos, a partir de las recomendaciones de [3]. Lo anterior se resume en el procesamiento de información histórica y predicción del costo de cada actividad en la EDT según análisis estadístico o metaheurísticas. Esta recomendación también se presenta en [39].

### **Relacionamiento del riesgo en las contingencias de costos**

Un denominador común en la estimación de las contingencias según parámetros consiste en la incorporación de las técnicas de evaluación de riesgos y su relacionamiento con los costos en el presupuesto del proyecto. La directriz de [40] recomienda estimar los tiempos del cronograma del proyecto mediante la carga de recursos y el costo de las actividades de la EDT. También se especifica la probabilidad y el impacto de los riesgos para usar técnicas de Monte Carlo que permitan simular el impacto en el tiempo y en el costo.

En esta directriz se recomienda la evaluación de riesgos del proyecto mediante técnicas Monte Carlo, teniendo en cuenta los parámetros de valores

esperados, variables aleatorias en elementos del presupuesto, varianzas, funciones de probabilidad e incertidumbre propia de la curva S de costos [40], [41].

Resulta interesante la presentación de la metodología de estimación de costos realizada por [4] y [40], donde se presenta una metodología de estimación paramétrica con funciones de probabilidad para cada actividad aplicable en la EDT, mediante análisis de riesgos y simulación Monte Carlo @Risk para evaluación cuantitativa.

En [12] se presenta una metodología tipo paramétrica, consistente en el cálculo de la desviación estándar, con apoyo en funciones de probabilidad tipo PERT cuya aproximación se realiza con números difusos triangulares, de manera que la incertidumbre en la estimación de costos está contenida dentro de la constitución de dichos números [24].

En [42] los autores aplican un modelo Monte Carlo y el juicio de expertos para definir límites de las contingencias y, de esta manera, construir el presupuesto de un proyecto. Se asignan funciones de probabilidad tipo triangular a los costos de cada actividad y se realiza la sumatoria acumulada. Los límites de la incertidumbre en contingencia son baja (-25% a +75%), media (-10% a +25%) y alta (-5% a +10%).

Una forma interesante de incorporar la incertidumbre en las contingencias de costos es la propuesta de [43], dado que se usa lógica difusa. A cada actividad de costo se le asocia una función de pertenencia, se realizan sumatorias de las funciones de pertenencia y se defuzzifica el resultado del número concreto. El resultado ya tiene incorporada la incertidumbre del costo.

En [44] se presenta una metodología tipo paramétrica, correspondiente a la estimación de la incertidumbre de costos a través de funciones de probabilidad, con valoración bajo simulación Monte Carlo. Dicha metodología permite valorar el seguimiento de los indicadores de costos de los proyectos. Los autores también presentan una descripción literaria de diferentes métodos de cálculo de contingencias y proponen el

cálculo de la incertidumbre en costos mediante parametrización con funciones de probabilidad en la varianza del costo y su procesamiento con simulación Monte Carlo.

En [45] se efectúa estimación paramétrica ascendente de los costos de proyectos mediante la propuesta de incorporar la evaluación semicuantitativa del riesgo y su posterior evaluación estocástica de la reserva de gestión para el presupuesto de un proyecto.

El trabajo de [46] consiste en una metodología para estimación de variables aleatorias sobre los elementos de la estructura de desglose de trabajo y no sobre las fuentes de incertidumbre. A tal efecto se determina un valor específico, dependiendo del nivel de cobertura ante el riesgo deseado por la organización o los patrocinadores del proyecto, y se distribuye dicho valor entre los capítulos de la estructura de desglose de trabajo, dependiendo de su contribución a la dispersión del costo del proyecto, mediante modelación con funciones de probabilidad beta.

El trabajo de [47] presenta un análisis probabilístico integrado de riesgos, aplicado a través del método de simulación de Monte Carlo. Para ello se determinan el tiempo y el costo usando el criterio determinístico tradicional y el software especializado Primavera Project Planner; la duración del proyecto se calcula con el método de la ruta crítica, y el costo del proyecto, con base en la cantidad total de recursos por actividad. Los resultados del análisis determinístico sirven como criterio de comparación para los resultados del análisis probabilístico.

Por su parte, [48] efectúa el cálculo de niveles de contingencia a partir de la estimación del riesgo en las actividades de la EDT. En tal caso, se valoran los riesgos de manera cuantitativa mediante simulación Monte Carlo y se distribuyen los valores económicos del riesgo de manera proporcional entre las actividades de la EDT.

En [49] se presenta una metodología de valoración del riesgo con técnicas semicuantitativas y

aplicación de la teoría de grafos. En tal caso, se elaboran diagramas que interrelacionan diferentes elementos de riesgos en sistemas de infraestructura y se efectúa valoración semicuantitativa de los mismos, sobre la determinación de la severidad y la probabilidad de materialización de los riesgos, a partir de escalas propuestas por juicio de expertos.

### Recomendaciones estandarizadas

En primer lugar, es importante citar las directrices [9] y [34] para aplicar correctamente la estimación de rango y el análisis de Monte Carlo con el fin de determinar probabilidades y contingencias de manera confiable. Se sugiere la aplicación, para los ítems críticos, de la línea base con simulación Monte Carlo, haciendo énfasis en los siguientes aspectos:

- Valor estimado
- La probabilidad de que el valor actual no supere el valor estimado
- Los valores máximos y mínimos probables
- Varianzas utilidad =  $\pm 0,5\%$
- Varianzas costos =  $\pm 5\%$
- Funciones de probabilidad = triangular.

Igualmente, [9] recomienda las técnicas de cuantificación del riesgo para incorporar los resultados de su impacto en los costos de los proyectos: Se establecen las prácticas recomendadas para cuantificar la probabilidad de ocurrencia y el impacto del riesgo, cuyo resultado se incorpora en las variables que conforman el costo del proyecto. Dentro de las técnicas de métodos de contingencia y consideraciones de principios generales, se incluyen:

- Juicios de expertos
- Directrices predeterminadas en matrices de riesgos
- Simulación analítica (incluyendo metodologías de estimación de rango y valor esperado)
- Modelado paramétrico. [50]

Finalmente, [40] contiene las recomendaciones de integración entre costos y tiempos del cronograma del proyecto mediante la carga de recursos y el costo de las actividades del cronograma. Se especifica la probabilidad y el impacto de los riesgos para usar técnicas de Monte Carlo que permitan simular su impacto en términos de tiempo y costos. Se sugiere efectuar la evaluación de riesgos de actividades críticas del proyecto mediante técnicas Monte Carlo, de acuerdo con los procedimientos usuales de los parámetros de valores esperados, variables aleatorias en elementos del presupuesto, varianzas y funciones de probabilidad en la evaluación cuantitativa de riesgos. Con esta directriz, pueden estimarse las proyecciones de costos al finalizar el proyecto, considerando la incertidumbre en la curva S de costos [41].

#### IV. Análisis de la información y aplicación de las metodologías para estimación de reservas de contingencia

La revisión bibliográfica presentada en el anterior numeral, consistente en el análisis de 50 publicaciones, permite efectuar una validación analítica de la información, en la que, básicamente, se observan las metodologías y recomendaciones preferidas por los autores previamente estudiados.

##### Análisis de la revisión literaria

En primer lugar, conviene validar la pertinencia y actualidad de las publicaciones que se citan en este artículo. La Tabla 2 presenta el compendio actualizado de las referencias bibliográficas sobre el cual se realiza el diagnóstico del estado del arte. En términos generales, se observa que la documentación está debidamente actualizada y vigente, teniendo en cuenta que las referencias bibliográficas son recientes.

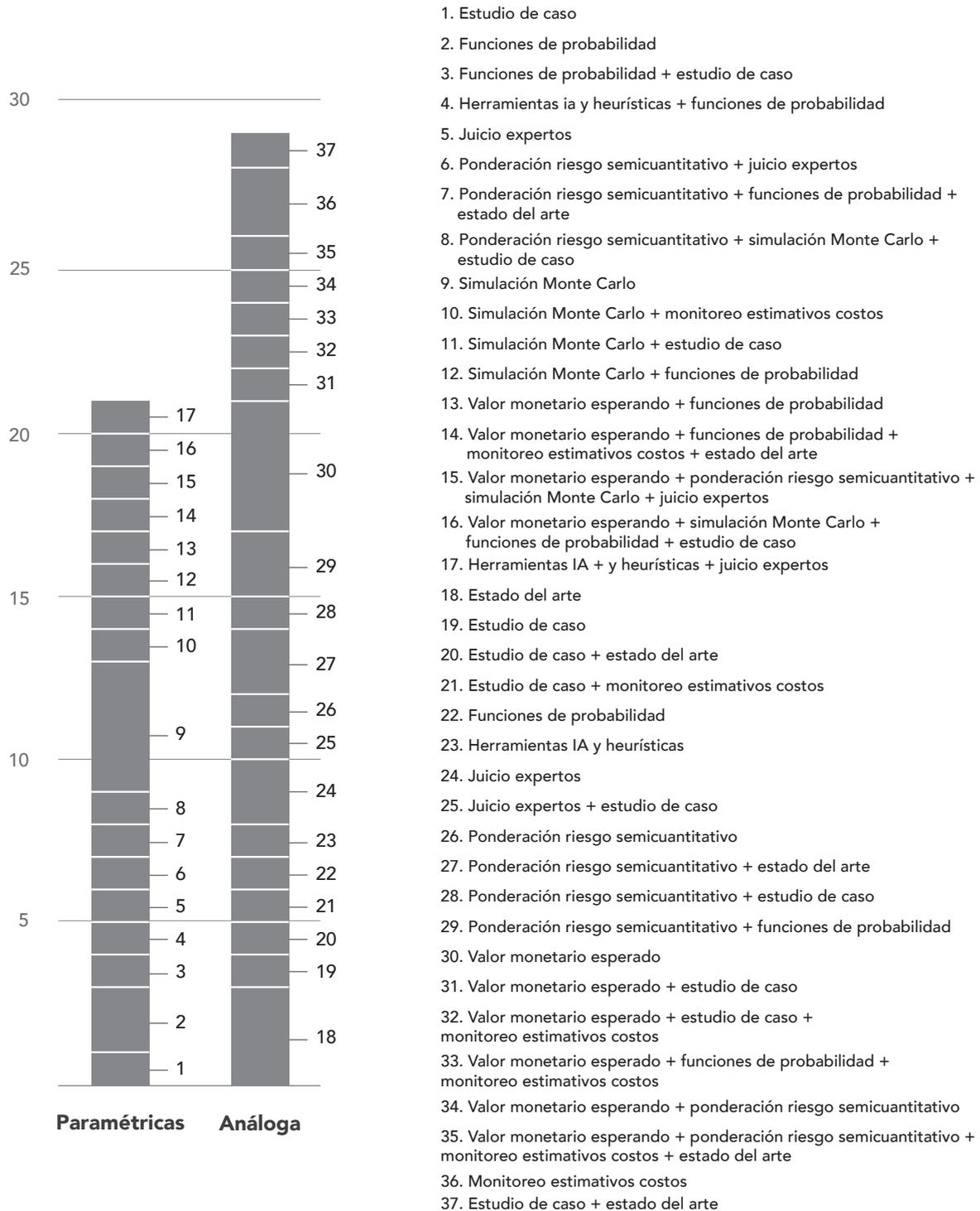
**Tabla 2.** Actualidad de las referencias bibliográficas del artículo.

Año de publicación	Cantidad	Porcentaje
1992	1	2%
1996	1	2%
2002	1	2%
2005	2	4%
2007	3	6%
2008	2	4%
2010	2	4%
2011	3	6%
2012	3	6%
2013	3	6%
2014	3	6%
2015	5	10%
2016	3	6%
2017	4	8%
2018	7	14%
2019	2	4%
2020	2	4%
2021	2	4%
2022	1	2%
<b>Total</b>	<b>50</b>	<b>100%</b>

Fuente: *Elaboración propia*

La Figura 2 constituye el resumen analítico del compendio de metodologías estudiadas en la revisión literaria. Básicamente, las recomendaciones metodológicas involucran la clasificación de procesamiento de datos de manera análoga y de manera paramétrica.

**Figura 2.** Resumen de metodologías para la estimación de reservas de contingencias en proyectos.



Fuente: Elaboración propia

Obsérvese que la combinación de varias técnicas de estimación de costos de contingencias guarda relación con el asunto notificado en la sección del marco teórico, según el consolidado presentado en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Combinación de técnicas para la estimación de contingencias en proyectos según revisión literaria.

Combinación de técnicas (cantidad)	Estimación análoga	Estimación paramétrica	Total
1	16	10	26
2	11	7	18
3	1	3	4
4	1	1	2
<b>Total publicaciones</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>50</b>

Fuente: *Elaboración propia*

Como dato de interés, es conveniente consultar la Tabla 4 para verificar las recomendaciones de la revisión literaria en cuanto a la combinación de técnicas para estimación de contingencias, tanto análoga como paramétricamente.

**Tabla 4.** Conteo de combinación de técnicas para estimación de contingencias.

Combinación de técnicas	Cantidad
Estado del arte	3
Estudio de caso	2
Estudio de caso + estado del arte	1
Estudio de caso + monitoreo estimativos costos	1
Funciones de probabilidad	3
Funciones de probabilidad + estudio de caso	1
Herramientas IA y heurísticas	1
Herramientas IA y heurísticas + funciones de probabilidad	1
Juicio de expertos	3

Combinación de técnicas	Cantidad
Juicio de expertos + estudio de caso	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo + juicio de expertos	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo + estado del arte	2
Ponderación de riesgo semicuantitativo + estudio de caso	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo + funciones de probabilidad	2
Ponderación de riesgo semicuantitativo + funciones de probabilidad + estado del arte	1
Ponderación de riesgo semicuantitativo + simulación Monte Carlo + estudio de caso	1
Simulación Monte Carlo	4
Simulación Monte Carlo + monitoreo estimativos costos	1
Simulación Monte Carlo + estudio de caso	1
Simulación Monte Carlo + funciones de probabilidad	1
Valor monetario esperado	4
Valor monetario esperado + estudio de caso	1
Valor monetario esperado + estudio de caso + monitoreo estimativos costos	1
Valor monetario esperado + funciones de probabilidad	1
Valor monetario esperado + funciones de probabilidad + monitoreo estimativos costos	1
Valor monetario esperado + funciones de probabilidad + monitoreo estimativos costos + estado del arte	1
Valor monetario esperado + ponderación de riesgo semicuantitativo	1
Valor monetario esperado + ponderación de riesgo semicuantitativo + monitoreo estimativos costos + estado del arte	1

Combinación de técnicas	Cantidad
Valor monetario esperado + ponderación de riesgo semicuantitativo + simulación Monte Carlo + juicio de expertos	1
Valor monetario esperado + simulación Monte Carlo + funciones de probabilidad + estudio de caso	1
Monitoreo estimativos costos	2
Estudio de caso + estado del arte	1
Herramientas IA y heurísticas + juicio de expertos	1
<b>Total publicaciones analizadas</b>	<b>50</b>

Fuente: *Elaboración propia*

### Aplicación de técnicas de estimación análoga ascendente

Para validar la aplicación del estudio de la revisión literaria y estado del arte, es conveniente retomar algunas de las técnicas recomendadas. Dada la necesidad de adoptar una estrategia de valoración rápida y de fácil divulgación, en esta sección los autores recomiendan la aplicación de técnicas de estimación análoga ascendente (como lo sugiere el PMI).

Para el propósito planteado en la estimación de presupuesto CAPEX, incluyendo las reservas de contingencia y la reserva de gestión, se propone aplicar la siguiente combinación de técnicas:

Valor monetario esperado + ponderación de riesgo semicuantitativo + monitoreo estimativos costos + estado del arte.

A continuación se presenta un ejercicio ilustrativo para la estimación análoga ascendente de un presupuesto CAPEX de un proyecto, utilizando algunas de las técnicas previamente citadas en la revisión literaria. En todos los casos, se evidencia la importancia de efectuar la estimación de la línea base de costos usando la EDT del proyecto.

Los cálculos se efectúan bajo la consideración de que el proyecto se encuentra en fase de

maduración de planificación, aplicando las condiciones de valores de incertidumbre optimista y pesimista de la Tabla 1.

### Ejercicio ilustrativo con técnicas de valor esperado del PMI

La Tabla 5 corresponde a un ejercicio con EDT y valores definidos de costos. En este caso, la recomendación del PMI consisten en el uso de la formulación de PERT y consideración de las incertidumbres definidas en la Tabla 1. El ejemplo se presenta para un proyecto en nivel de maduración de planificación.

**Tabla 5.** Ejemplo ilustrativo según criterios de incertidumbre PERT del PMI.

EDT	Estimación análoga ascendente	Incertidumbre PERT (PMI)	Desviación estándar
<b>Presupuesto</b>	\$ 4.962	\$ 5.086	289,5
<b>Reserva de gestión</b>	20%		
<b>Línea base</b>	<b>\$ 4.135</b>	<b>\$ 4.238</b>	<b>241,2</b>
1.	\$ 3.030	\$ 3.106	176,8
1.1	\$ 950	\$ 974	55,4
1.1.1	\$ 200	\$ 205	11,7
1.1.2	\$ 250	\$ 256	14,6
1.1.3	\$ 350	\$ 359	20,4
1.1.4	\$ 150	\$ 154	8,8
1.2	\$ 210	\$ 215	12,3
1.2.1	\$ 100	\$ 103	5,8
1.2.2	\$ 50	\$ 51	2,9
1.2.3	\$ 25	\$ 26	1,5
1.2.4	\$ 35	\$ 36	2,0
1.3	\$ 1.870	\$ 1.917	109,1
1.3.1	\$ 550	\$ 564	32,1
1.3.2	\$ 750	\$ 769	43,8
1.3.3	\$ 280	\$ 287	16,3
1.3.4	\$ 290	\$ 297	16,9

EDT	Estimación análoga ascendente	Incertidumbre PERT (PMI)	Desviación estándar
2.	\$ 1.105	\$ 1.133	64,5
2.1	\$ 1.060	\$ 1.087	61,8
2.1.1	\$ 300	\$ 308	17,5
2.1.2	\$ 490	\$ 502	28,6
2.1.3	\$ 270	\$ 277	15,8
2.2	\$ 45	\$ 46	2,6
2.2.1	\$ 30	\$ 31	1,8
2.2.2	\$ 15	\$ 15	0,9

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5 puede verificarse que la línea base elaborada con formulación PERT representa un costo 2,5% mayor que la estimación análoga tradicional (sin incertidumbre).

### Ejercicio ilustrativo con técnicas de aritmética difusa

A partir de las propuestas de [11] y [12], se efectúa la incorporación de la incertidumbre en la forma de un número difuso triangular  $\{a,m,b\}$  [24].

La sumatoria de números difusos se representa de la forma

$$\{a,m,b\}+\{c,n,d\} = \{a+c,m+n,b+d\}$$

El número concreto que se deduce del número difuso se efectúa a través de la función de defuzzificación:

$$\frac{(a+c)+2(m+n)+(b+d)}{4}$$

La Tabla 6 corresponde a un ejercicio con EDT y valores definidos de costos. En este caso, se recomienda incorporar la incertidumbre en forma de números difusos triangulares, tomando en consideración los valores optimistas y pesimistas definidos en la Tabla 1. El ejemplo se presenta para un proyecto en nivel de maduración de planificación.

**Tabla 6.** Ejemplo ilustrativo según técnicas de incorporación de incertidumbre en números difusos.

EDT	Número difuso	Concreción número fuzzy
<b>Presupuesto</b>	[4465,8; 4962; 6202,5]	\$ 5.148
<b>Reserva de gestión</b>	20%	
<b>Línea base</b>	[3721,5; 4135; 5168,75]	\$ 4.290
1.	[2727; 3030; 3787,5]	\$ 3.144
1.1	[855; 950; 1187,5]	\$ 986
1.1.1	[180; 200; 250]	\$ 208
1.1.2	[225; 250; 312,5]	\$ 259
1.1.3	[315; 350; 437,5]	\$ 363
1.1.4	[135; 150; 187,5]	\$ 156
1.2	[189; 210; 262,5]	\$ 218
1.2.1	[90; 100; 125]	\$ 104
1.2.2	[45; 50; 62,5]	\$ 52
1.2.3	[22,5; 25; 31,25]	\$ 26
1.2.4	[31,5; 35; 43,75]	\$ 36
1.3	[1683; 1870; 2337,5]	\$ 1.940
1.3.1	[495; 550; 687,5]	\$ 571
1.3.2	[675; 750; 937,5]	\$ 778
1.3.3	[252; 280; 350]	\$ 291
1.3.4	[261; 290; 362,5]	\$ 301
2.	[994,5; 1105; 1381,25]	\$ 1.146
2.1	[954; 1060; 1325]	\$ 1.100
2.1.1	[270; 300; 375]	\$ 311
2.1.2	[441; 490; 612,5]	\$ 508
2.1.3	[243; 270; 337,5]	\$ 280
2.2	[40,5; 45; 56,25]	\$ 47
2.2.1	[27; 30; 37,5]	\$ 31
2.2.2	[13,5; 15; 18,75]	\$ 16

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 puede verificarse que la línea base elaborada con formulación de números difusos triangulares representa un costo 3,75% mayor que la estimación análoga tradicional (sin incertidumbre).

### Ejercicio ilustrativo con incorporación de estimación semicuantitativa de riesgos

Diversas publicaciones recomiendan relacionar directamente el costo del riesgo dentro del estimativo de las actividades que componen la EDT y consolidar el efecto en cada uno de los entregables del proyecto [6], [38], [44].

En la Tabla 7 se presenta una escala de valoración semicuantitativa de riesgos, la cual toma el concepto de un juicio de expertos para asignar las escalas que se aplicarán en el ejemplo ilustrativo. Recuérdese que el PMI también sugiere considerar la evaluación de riesgos positivos (oportunidades).

**Tabla 7.** Tabla para valoración semicuantitativa de riesgos.

Probabilidad	Impacto	Escala (juicio de expertos)
Improbable	Ligero	10%
Poco probable	Serio	30%
posible	Mayor	50%
Probable	Catastrófico	70%
Muy probable	Multicatastrófico	90%
	Oportunidad	-30%

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 8.** Ejemplo ilustrativo con incorporación de evaluación semicuantitativa de riesgos.

EDT	Estimación	Probabilidad	\$ Impacto	Reserva contingencia (riesgo)	Costo EDT
<b>Presupuesto</b>	\$ 4.962				\$ 4.991
<b>Reserva de gestión</b>	20%				
<b>Línea base</b>	\$ 4.135				\$ 4.159
1.	\$ 3.030				\$ 3.048
1.1	\$ 950	0,1	29	\$ 3	\$ 953
1.1.1	\$ 200	0,3	2	\$ 1	\$ 201
1.1.2	\$ 250	0,7	13	\$ 9	\$ 259
1.1.3	\$ 350	0,7	11	\$ 7	\$ 357
1.1.4	\$ 150	0,1	5	\$ 0	\$ 150

Adicionalmente, es posible valorar el impacto del riesgo mediante la siguiente formulación [6], [47], [49]:

$$\text{\$ Impacto} = \text{Costo actividad} \times \text{Escala (juicio expertos)} \times \text{Maduración proyecto}$$

(El dato de la maduración del proyecto se toma a partir del porcentaje de contingencia recomendado en la Tabla 1.)

$$\begin{aligned} \text{Reserva contingencia (riesgo)} \\ = \text{\$ Impacto} \times \text{probabilidad} \end{aligned}$$

La Tabla 8 presenta el resultado de la estimación de costos de la EDT y su correspondiente valoración semicuantitativa de riesgos. El ejemplo se presenta para un proyecto en nivel de maduración de planificación (Tabla 1).

A diferencia de los ejemplos presentados en las Tablas 5 y 6, solo es necesario computar la incertidumbre asociada a la evaluación semicuantitativa de riesgos en las actividades y paquetes de trabajo de la EDT (cuando se estima la línea base, esta ya contiene el valor de la incertidumbre por la reserva de contingencia asociada a los riesgos).

EDT	Estimación	Probabilidad	\$ Impacto	Reserva contingencia (riesgo)	Costo EDT
1.2	\$ 210				\$ 215
1.2.1	\$ 100	0,7	7	\$ 5	\$ 105
1.2.2	\$ 50	0,9	2	\$ 1	\$ 51
1.2.3	\$ 25	0,9	-2	-\$ 2	\$ 23
1.2.4	\$ 35	0,3	0	\$ 0	\$ 35
1.3	\$ 1.870				\$ 1.881
1.3.1	\$ 550	0,7	6	\$ 4	\$ 554
1.3.2	\$ 750	0,3	8	\$ 2	\$ 752
1.3.3	\$ 280	0,5	8	\$ 4	\$ 284
1.3.4	\$ 290	0,1	3	\$ 0	\$ 290
2.	\$ 1.105				\$ 1.111
2.1	\$ 1.060				\$ 1.064
2.1.1	\$ 300	0,1	-23	-\$ 2	\$ 298
2.1.2	\$ 490	0,9	5	\$ 4	\$ 494
2.1.3	\$ 270	0,1	14	\$ 1	\$ 271
2.2	\$ 45				\$ 47
2.2.1	\$ 30	0,9	3	\$ 2	\$ 32
2.2.2	\$ 15	0,3	0	\$ 0	\$ 15

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8 puede verificarse que la línea base que tiene en cuenta la evaluación semicuantitativa de riesgos representa un costo 0,58% mayor que la estimación análoga tradicional (sin incertidumbre). En este caso, se evaluaron riesgos positivos, por cuanto se considera beneficioso para el CAPEX del proyecto (pues son oportunidades de ahorro).

## V. Conclusiones y recomendaciones

La recopilación de diferentes fuentes bibliográficas a partir de revistas especializadas, trabajos de tesis, libros y ponencias permite diagnosticar el estado del arte en torno a las mejores prácticas para minimizar el impacto de la incertidumbre durante la construcción de un presupuesto CAPEX en la etapa de formulación de proyectos.

En ese sentido, se considera que el artículo permite cumplir con el primer objetivo planteado desde la introducción, relacionado con el diagnóstico del estado del arte en el tema.

En este diagnóstico se destaca la implementación de recomendaciones en metodologías de amplia aceptación para la gestión de proyectos, especialmente aquellas relacionadas con el PMI, la normativa ISO y la AACE.

A manera de resumen, se destaca la recomendación para estimar las reservas de contingencia en cada una de las actividades identificadas en la EDT de los proyectos. Adicionalmente, es posible clasificar el procesamiento de información de costos mediante técnicas análogas y paramétricas. La incertidumbre en los costos se incorpora en cada paquete de trabajo o en los entregables de la EDT.

En el diagnóstico del estado de arte, se valida el interés de muchos autores por asumir la estrategia de estimación ascendente de costos. Adicionalmente, suele asociarse la valoración de riesgos y su impacto económico en cada actividad, lo cual incide en la estimación de la línea base del presupuesto.

En caso de optar por procesamiento paramétrico de datos, se destaca la incorporación de incertidumbre a través de simulaciones con funciones de probabilidad estadísticas y técnicas Monte Carlo.

No obstante, para fines prácticos, en este artículo se ha optado por presentar un ejemplo aplicativo con procesamiento análogo de datos. En ese caso, se incorpora la incertidumbre en las actividades definidas en la EDT y, además, se tiene en cuenta el estado de maduración del proyecto, para considerar el costo de cada entregable. Básicamente, se distinguen las siguientes técnicas de estimación análoga ascendente:

- Consideración de incertidumbre según recomendaciones del PMI, mediante el uso de funciones tipo PERT en paquetes de trabajo de la EDT
- Consideración de incertidumbre según valoraciones estimadas por el PMI, combinada con números difusos triangulares en paquetes de trabajo de la EDT
- Incorporación de valoración semicuantitativa de riesgos, valorando la consecuencia económica en el costo de cada actividad y su impacto en el costo total de cada entregable y de la línea base del presupuesto CAPEX.

En términos generales, se evidencia la recomendación de los autores de acoger las metodologías consideradas en el PMI, tanto la estimación análoga ascendente (explicada en este artículo) como la estimación paramétrica con técnicas Monte Carlo (notificada en la revisión literaria).

Téngase en cuenta la necesidad de generar el presupuesto definitivo CAPEX, conformado por la línea base más la reserva de gestión (que suele asociarse a las políticas administrativas de la organización promotora del proyecto).

Finalmente, es pertinente confirmar que estos procedimientos de estimación de contingencias también son aplicables a las reservas de tiempo en los cronogramas de proyectos.

De esta manera, la información proporcionada en este artículo también permite abrir futuras líneas de investigación en torno a la incorporación de incertidumbre en la formulación de proyectos usando técnicas análogas y paramétricas. Igualmente, se concluye que existe la oportunidad de plantear el monitoreo y control de restricciones en términos de costos, tiempos, alcance y riesgos durante la ejecución del proyecto.

## VI. Referencias

- [1] N. K. Shrivastava, "A model to develop and use risk contingency reserve", en PMI Global Congress 2014, North America, Phoenix, AZ. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://www.pmi.org/learning/library/model-risk-contingency-reserve-9310#>
- [2] G. A. Guerrero Moreno, "Metodología para la gestión de proyectos bajo los lineamientos del Project Management Institute en una empresa del sector eléctrico", Tesis de maestría. Bogotá, D. C., 2013. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20532>
- [3] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) and The Standard for Project Management*. PMI, 2021.
- [4] "Estimación de la Contingencia de un Presupuesto de Proyecto basado en Riesgos", *Quantitative Shop*. 13 de julio de 2018 [Video en línea]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=w7uVOA5LSUw>

- [5] P. Lledó y G. Rivarola, *Gestión de Proyectos*. Buenos Aires: Prentice Hall, 2007.
- [6] J. M. Garcés Vergara, "Estimación de Factores de Incertidumbre para el Cálculo de Contingencias en Proyectos de Construcción de Vivienda Estratos 5 y 6 de la ciudad de Cartagena", Tesis de maestría, Fac. Ing., Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, 2018.
- [7] D. Curto, F. Acebes, J. M. González-Varona y D. Poza, "Impact of aleatoric, stochastic and epistemic uncertainties on project cost contingency reserves", *International Journal of Production Economics*, vol. 253, noviembre de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108626>
- [8] Organización Internacional de Normalización, *Norma ISO 21500: Guías Gestión de Proyectos*. ISO, 2012.
- [9] J. K. Hollmann, *Contingency Estimating – General Principles*. AACE International, junio de 2008.
- [10] G. M. Winch, "A curated collection of essays on projects and their organization", *International Journal of Project Management*, vol. 40, no. 6, pp. 599-600, agosto de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.07.002>
- [11] M. Mazlum y A. F. Güneri, "CPM, PERT and Project Management with Fuzzy Logic Technique and Implementation on a Business", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 210, pp. 348-357, diciembre de 2015 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.378>
- [12] F. Habibi, O. Taghipour Birgani, H. Koppelaar y S. Radenović, "Using fuzzy logic to improve the project time and cost estimation based on Project Evaluation and Review Technique (PERT)", *Journal of Project Management*, no. 3, pp. 183-196, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5267/j.jpmp.2018.4.002>
- [13] R.E. Adurohere, I. Musonda y C. S. Okoro, "Construction Contingency Determination: A Review of Processes and Techniques", en *Collaboration and Integration in Construction, Engineering, Management and Technology. Advances in Science, Technology & Innovation*, S. M. Ahmed, P. Hampton, S. Azhar y A. D. Saul, Eds, pp. 271-277. Cham: Springer, 2021 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48465-1\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48465-1_45)
- [14] M. Note, "Budgeting and Performance", en *Project Management for Information Professionals*, pp. 101-124. Elsevier Ltd., 2016 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100127-1.00005-X>
- [15] Organización Internacional de Normalización, *Norma ISO 31000: Directrices para la Gestión de Riesgos*. ISO, 2018.
- [16] Organización Internacional de Normalización, *Norma ISO 10006: Directrices para la gestión de la calidad en proyectos*. ISO, 2017.
- [17] A. Touran y J. Liu, "A Method for Estimating Contingency Based on Project Complexity", *Procedia Engineering*, vol. 123, pp. 574-580, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.110>
- [18] D. Baccarini, "Estimating Project Cost Contingency - Beyond the 10% syndrome", en Australian Institute of Project Management National Conference, 9 de noviembre de 2005. Victoria: Australian Institute of Project Management, 2005 [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11937/31110>
- [19] O. J. Montilla Galvis, C. A. Montes Salazar y E. Mejía Soto, "Análisis de la fundamentación del modelo estándar de control interno, MECI 1000:2005", *Estudios Gerenciales*, vol. 23, no. 104, pp. 47-75, julio-septiembre de 2007 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(07\)70017-7](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(07)70017-7)
- [20] J. Adafin, S. Wilkinson, J. O. B. Rotimi y H. Odeyinka, "Accuracy in Design Stage Cost Estimating through Risk-contingency Analysis: A Theoretical Exploration", en Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network, Atlanta, Georgia, 19-21 de mayo de 2014 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1061/9780784413517.151>
- [21] M. A. Oliveros Villegas y H. C. Rincón de Parra, "Gestión de Costos en los Proyectos: un abordaje teórico desde las mejores prácticas del Project Management Institute", *Visión Gerencial*, no. 1, pp. 85-94, 2011.
- [22] R. W. Bacon, J. E. Besant-Jones y J. Heidarian, eds., *Estimating construction costs and schedules. Experience with power generation projects in developing countries*. World Bank Group, 1996.

- [23] D. Baccarini, "Understanding project cost contingency: A survey", en Proceedings of the Queensland University of Technology Research Week 2005, Brisbane, Australia, 4-5 de julio de 2005, A. C. Sidwell, ed. Queensland University of Technology, 2005 [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11937/9641>
- [24] A. Idrus, M. Fadhil Nuruddin y M. A. Rohman, "Development of project cost contingency estimation model using risk analysis and fuzzy expert system", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 3, pp. 1501-1508, marzo de 2011 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.061>
- [25] H. K. Doloi, "Understanding stakeholders' perspective of cost estimation in project management", *International Journal of Project Management*, vol. 29, no. 5, pp. 622-636, julio de 2011 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.06.001>
- [26] F. J. Heemstra, "Software cost estimation", *Information and Software Technology*, vol. 34, no. 10, pp. 627-639, octubre de 1992 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0950-5849\(92\)90068-Z](https://doi.org/10.1016/0950-5849(92)90068-Z)
- [27] M. Uzzafer, "A contingency estimation model for software projects", *International Journal of Project Management*, vol. 31, no. 7, pp. 981-993, octubre de 2013 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.002>
- [28] G. A. Barraza y R. A. Bueno, "Cost Contingency Management", *Journal of Management in Engineering*, vol. 23, no. 3, julio de 2007 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2007\)23:3\(140\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2007)23:3(140))
- [29] H. Kwon y C. Kang, "Contingency and Management Reserves Estimation Method for Project Budget", *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, vol. 39, no. 1, pp. 17-24, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.11627/jkise.2016.39.1.017>
- [30] C. Wilson, "Contingency Reserve and Uncertainty". Core Consulting Group, 25 de junio de 2012 [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/1821888/Contingency\\_Reserve\\_and\\_Uncertainty](https://www.academia.edu/1821888/Contingency_Reserve_and_Uncertainty)
- [31] C. Ramírez-Jiménez y R. Gómez-Narváez, "Aplicación de la teoría de Control Moderno a un Sistema Dinámico Aplicando El DSP-2101", Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1997.
- [32] A. Elghandour, A. Fathi Eid y H. El Daly, "Improving Performance of Construction Projects by Integarating Risk into Earned Value Management: A Literature Review", *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, vol. 16, no. 60, pp. 833-850, julio de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.21608/aej.2021.187983>
- [33] J. I. Ortiz González, *La gestión de riesgos en la obra mediante reservas para contingencias desde la perspectiva de la empresa constructora*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 2015.
- [34] AACE International, *Cost Estimate Classification System - As Applied In Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries*. AACE International, marzo de 2016.
- [35] G. Jackson, "Contingency for Cost Control in Project Management: A Case Study", *Construction Economics and Building*, vol. 3, no. 1, pp. 1-12, 2003 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v3i1.2906>
- [36] N. L. Orozco Vega, O. A. Céspedes Rojas y J. E. Jaque Chaparro, "Modelo para la elaboración y control de costos y programación", Tesis de especialización. Bogotá, D.C., 2019. Repositorio Institucional Universidad Piloto de Colombia [En línea]. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6225>
- [37] C. A. Núñez Viveros, G. J. Gallego Hidalgo y G. Buenaventura Vera, "Diseño metodológico de la evaluación de proyectos energéticos bajo incertidumbre en precios: caso de cogeneración de energía en una empresa en Cali", *Estudios Gerenciales*, vol. 29, no. 126, pp. 58-71, enero-marzo de 2013 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(13\)70020-2](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(13)70020-2)
- [38] J. Valdés Garciatorres, "Cuatro técnicas prácticas para manejar el riesgo de tus proyectos", *Proyectum*, 29 de agosto de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://www.proyectum.com/sistema/blog/cuatro-tecnicas-practicas-paramanejar-el-riesgo-de-tus-proyectos/>

- [39] L. F. Sánchez-Arias y L. Solarte-Pazos, "El cuerpo de conocimientos del Project Management Institute-PMBOK® Guide, y las especificidades de la gestión de proyectos: Una revisión crítica", *Innovar*, vol. 20, no. 37, pp. 89-100, 2010 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/innovar/article/view/29236>
- [40] AACE Internacional, *Integrated Cost and Schedule Risk Analysis Using Risk Drivers and Monte Carlo Simulation of a CPM Model*. AACE Internacional, julio de 2019.
- [41] T. Modis, "Strengths and weaknesses of S-curves", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 74, no. 6, pp. 866-872, julio de 2007 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2007.04.005>
- [42] L. Para-González, C. Mascaraque-Ramírez y A. E. Madrid, "Obtaining the Budget Contingency Reserve through the Monte Carlo Method: Study of a Ferry Construction Project", *Brodogradnja / Shipbuilding*, vol. 69, no. 3, pp. 79-95, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21278/brod69305>
- [43] S. H. Fatemina, V. Sumati y A. R. Fayek, "An Interval Type-2 Fuzzy Risk Analysis Model (IT2FRAM) for Determining Construction Project Contingency Reserve", *Algorithms*, vol. 13, no. 7, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/a13070163>
- [44] M. W. Hammad, A. Abbasi y M. J. Ryan, "Allocation and Management of Cost Contingency in Projects", *Journal of Management in Engineering*, vol. 32, no. 6, noviembre de 2016 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000447](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000447)
- [45] F. Allahi, L. Cassettari, M. Mosca y R. Mosca, "An Innovative DSS for the Contingency Reserve Estimation in Stochastic Regime", en *Transactions on Engineering Technologies. WCE 2017*, S. I. Ao, L. Gelman y H. Kim, eds., pp. 43-57. Singapore: Springer, 2019 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0746-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0746-1_4)
- [46] J. S. Rojas Quintero, "Metodologías para el análisis cuantitativo de incertidumbre y determinación de contingencias. Diseño e implementación", Tesis de maestría. Bogotá, D.C., 2014. Repositorio Institucional Séneca [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/12512>
- [47] L. E. Morales Navarrete, "Análisis Probabilístico Integrado de Riesgos en Tiempo y Costo en Proyectos de Construcción-Edición Única", Tesis de maestría. Monterrey, 2002. Repositorio Institucional del Tecnológico de Monterrey [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11285/568064>
- [48] F. M. Lemoine-Soto, "Propuesta de cálculo de integración de reservas de contingencia en el presupuesto, mediante el análisis de riesgos del proyecto", Tesis de especialización, Fac. de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, 2018.
- [49] G. J. Correa-Henao, J. M. Yusta y R. Lacal-Aránategui, "Using interconnected risk maps to assess the threats faced by electricity infrastructures", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 6, no. 3-4, pp. 197-216, diciembre de 2013 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2013.10.002>
- [50] AACE Internacional, *Risk Analysis and Contingency Determination Using Parametric Estimating*. AACE Internacional, mayo de 2021.



# El Big Data aplicado en la industria 4.0: un caso en el sector textil colombiano con un enfoque en la inteligencia de negocios

*Big Data applied in industry 4.0: a case in the Colombian textile sector with a focus on business intelligence*

Gustavo Andrés Araque González<sup>1</sup>, Víctor José Giampietro Torres<sup>2</sup>

**Tipo de Artículo:** Investigación revisión.  
**Recibido:** 13/07/2022 **Aprobado:** 6/09/2 **Publicado:** 18/12/2022

**Resumen:** La competitividad industrial y la evolución operacional han generado la necesidad de desarrollar nuevos e innovadores métodos de sistematización industrial. Como resultado de lo anterior, la presente investigación, de carácter mixto, propone el desarrollo de un modelo de producción industrial enfocado en la industria 4.0 (Big Data) para pymes de confección, con el fin de mejorar los procedimientos, puestos de trabajo y costos, a través de las siguientes fases: 1) *recopilación de las informaciones* de las bases de datos; 2) *limpieza de bases de datos* y correcta edición de informaciones; 3) *modelado de datos* e interrelación de las variables en las bases de datos; 4) *visualización gráfica* de datos (*dashboard*), apoyado en software Power BI, en la visualización

y análisis de los datos, y 5) *análisis y toma de decisiones*. Los resultados obtenidos permitieron generar una mejora del 20% en la identificación de fallas operacionales y no operacionales del proceso industrial interno.

**Palabras clave:** Big Data, ciencia de datos, análisis de datos, sector textil.

**Abstract:** Industrial competitiveness and operational evolution have generated the need to develop new and innovative methods of industrial systematization. As a result of the above, this mixed research proposes the development of an industrial production model focused on industry 4.0 (Big Data) for clothing SMEs, for the improvement of

<sup>1</sup> Gustavo Andrés Araque González. Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano. Colombia, Correo electrónico: garaque@poligran.edu.co ORCID: 0000-0001-8627-8924.

<sup>2</sup> Víctor José Giampietro Torres. Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano. Colombia, Correo electrónico: vigiampietro@poligran.edu.co

procedures, jobs and costs, through the following phases: 1) collection of information from the databases; 2) cleaning of databases and correct editing of information; 3) modeling of data and interrelation of variables in the databases; 4) graphic data visualization (Dashboard), supported by Power BI software, in data visualization and analysis, and 5) analysis and decision making. The results obtained allowed to generate a 20% improvement in the identification of operational and non-operational failures of the internal industrial process.

**Keywords:** Big Data, data science, data analytics, textile sector

## I. Introducción

En la actualidad, el sector textil es particularmente competitivo en la cadena de producción en línea; sin embargo, uno de los factores clave para la mejora y evolución industrial es el tratamiento tecnológico de las informaciones, conocido también como la ciencia de los datos, el cual, de acuerdo con [1] y [2], se define como la generación de cantidades masivas de datos generados que pueden incluir registros operacionales, registros de fallas operativas y no operativas, registros de compras de los clientes, servicio posventa, control de calidad textil y sus variables, entre otros, recopiladas mediante el uso de dispositivos tecnológicos de monitoreo y control. Además, la creciente nube de información que se genera en Internet, a través de la comunicación entre empresas y público interesado, ha generado la necesidad de darle un mejor manejo al conjunto de datos masivos, así como su tratamiento y sistematización [3].

La industria de pequeñas y medianas empresas (pymes) de confecciones ha generado el estudio y desarrollo de nuevos modelos que pueden utilizar arquitecturas de datos para procesarlos más rápida y eficientemente [4]. Sin embargo, los métodos de análisis disponibles son insuficientes para utilizar datos de alta velocidad que fluyen desde varias fuentes, debido a sus complejidades de bajo nivel y deficiencias. En relación con lo anterior, el

uso de Big Data en la industria 4.0 se enfoca en la aplicación de estudios en ciencia de los datos organizacionales de gran volumen, con el propósito de desarrollar nuevas informaciones de valor agregado para las empresas. Este tipo de datos puede tomar diferentes formas (estructurados, semiestructurados o no estructurados) para el estudio de interés [5], [6].

En la presente investigación se realiza la generación, propuesta y diseño de un modelo de producción industrial con enfoque en Big Data en la toma de decisiones organizacionales para la línea de manufactura de confecciones en pymes. El estudio y aplicación de diferentes metodologías de análisis en la ciencia de los datos se relacionan a continuación:

1) *Recopilación de las informaciones de las bases de datos* con la extracción de las diversas fuentes de información en la nube (Oncloud), bases de datos tipo metadatos .csv y archivos de datos estructurados en Excel, tipo .xls.

2) *Limpieza de bases de datos y correcta edición de informaciones* a través del uso de la herramienta de edición Power Query [7] para la edición y limpieza de las bases de datos analizadas.

3) *Modelado de datos e interrelación de las variables en las bases de datos* a través del Power Pivot en la generación de modelo de datos y generación de la relación de bases de datos.

4) *Visualización de gráfica de datos (dashboard)*, apoyada en software Power BI, en la visualización y análisis de los datos.

5) *Análisis y toma de decisiones.*

Todo lo anterior se realiza a través del caso de estudio en búsqueda de la elaboración de un modelo en tiempo real que permita minimizar el espacio de tiempo y los costos relacionados para la toma de decisiones organizacionales, en pro de aumentar los niveles de productividad y rentabilidad de la empresa.

## II. Materiales y métodos

### Materiales

La literatura existente en [8], [9] y [10] provee una gran variedad de definiciones de pruebas de software.

### Métodos

La presente investigación, en relación con sus fines, [11], [12], [13], puede caracterizarse como de tipo metodológica y aplicada. Se define como metodológica porque sigue un estudio ordenado que considera como base de conocimiento la ciencia de los datos, desde la recolección de datos (bases de datos) y la identificación de escenarios de visualización de datos (Big Data), hasta su estructuración, analítica y generación de indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicators - KPI) estandarizados en la toma de decisiones organizacionales de la empresa de estudio. La investigación se define como aplicada debido a la búsqueda de una resolución a un problema específico, en el caso de estudio expuesto, y es la correcta automatización y generación de informaciones en tiempo real de salida (monitor de comando e informaciones KPI en tiempo real). En el diagnóstico presente, la organización cuenta con sistemas informáticos para la obtención y recolección de informaciones; sin embargo, este tipo de informaciones de salida no se presentan como "informaciones inteligentes" que permitan generar una interpretación eficiente y eficaz del proceso industrial investigado. Es de acuerdo con esta necesidad que se plantea el modelo de producción industrial con enfoque en Big Data, que les permita utilizar de forma correcta los datos de salida y así mejorar los procesos y procedimientos y aumentar los niveles de calidad, rentabilidad y servicio con los clientes [14].

En cuanto a los medios de investigación, la propuesta es definida como investigación experimental y estudio de caso. Investigación experimental cuyo propósito es detallar y profundizar el modelo productivo óptimo con enfoque en industria 4.0 (Big Data) para un tamaño de muestra definido para empresas (pymes) del sector de confecciones bajo tres (3)

experimentos principales: análisis de calidad de los procesos industriales, análisis de reprocesos de maquinaria y niveles de producción operacionales. Su característica experimental se argumenta en la manipulación de variables independientes asociadas al proceso productivo y la evolución y variaciones que producen tales manipulaciones y control en las variables dependientes [15], [16].

Con respecto a la naturaleza de la investigación, el presente estudio se clasifica como mixto, es decir, de carácter cualitativo y cuantitativo, ya que el estudio implica el uso de información, como, por ejemplo, bases de datos cuantitativas con informaciones de niveles de ventas, producción, número de defectos, etc. en el modelamiento del diseño en un software especializado [17], [18], y cualitativo porque es analizado a través de pruebas de juicio de expertos (método Delphi) en cuanto a las recomendaciones industriales de los resultados generados. A continuación se describen las etapas de la metodología aplicada.

### 1. Recolección de bases de datos

La metodología de la presente investigación inicia con la recolección de las informaciones estructuradas expuestas en los sistemas informáticos locales de la organización, producto del análisis de variables de estudio, como, por ejemplo, las bases de datos de los reprocesos industriales, producción total, tiempos perdidos no operativos, tandas por máquinas, consumos, entre otras. El modelo propuesto parte de, al menos, 10 bases de datos y 148 variables diferentes.

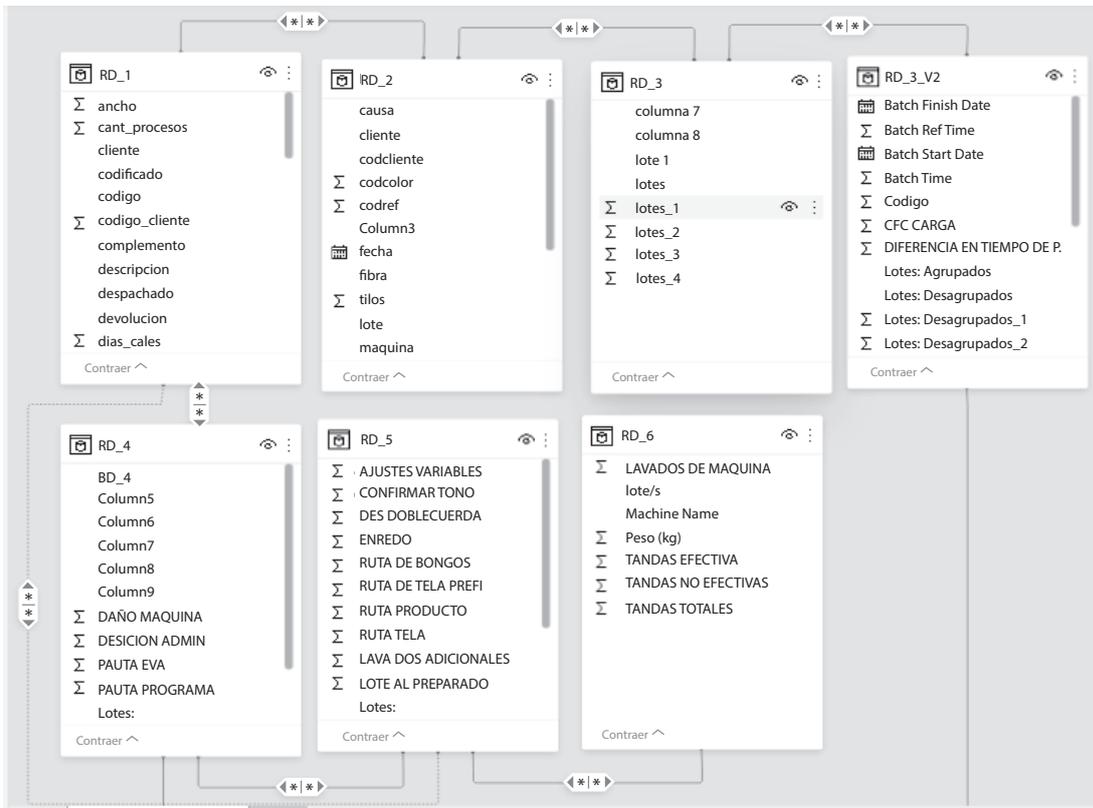
### 2. Definición del modelo relacional y claves principales

El modelo relacional parte del grupo de bases de datos maestras y transaccionales que reflejan la operación de la empresa de estudio, para representar los datos y las relaciones entre ellas. La estructuración de bases de datos parte de una relación "uno a varios", a partir de una clave principal, la cual vinculará los conjuntos de bases de datos a analizar. Para el desarrollo

de esta etapa, fue utilizado el software Power BI Desktop Versión: 2.95.983.0 de Microsoft [19]. En la Figura 1 se observa el modelo relacional

de las bases de datos contenidas en el estudio, donde la clave principal es el número de lote de producción.

**Figura 1.** Modelo relacional de estudio.



Fuente: Elaboración propia (2021)

### 3. Depuración y estandarización de bases de datos

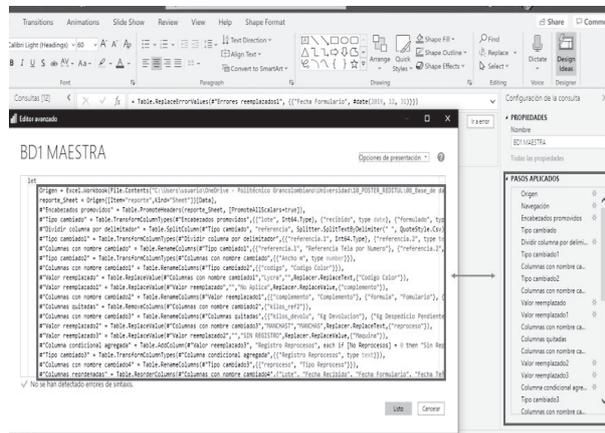
Para elaborar de forma correcta la sincronización y estructuración de la conexión de las bases de datos en tiempo real al interior del software Power BI, es esencial la depuración o limpieza de los datos. Para esta etapa fue utilizada la aplicación Power Query, herramienta que tiene como principal característica permitir importar las informaciones de distintas fuentes de datos, transformar la forma de los datos según sea necesario y luego cargarlos en algún sitio para su uso posterior, ya sea en una

tabla o en un modelo de datos. La herramienta genera de forma automática código en lenguaje M que puede ser ejecutado cada vez que se actualiza una base de datos, garantizando que los datos ingresen al modelo de forma estandarizada.

La Figura 2 ilustra un ejemplo de la edición de la base de datos 1 (BD1 -maestra) del modelo de datos de estudio. En la representación puede observarse, en la parte izquierda, el código de programación generado en Power Query (Lenguaje M): cada vez que se realizan la edición o configuraciones necesarias para el tratamiento del conjunto de

datos, se genera una línea diferente de código, en la parte derecha, en forma de lista. Estas rutas de edición de datos juegan un papel fundamental en la colocación de las informaciones en tiempo real y cuando se trabaja en multiescenarios para la representación de diferentes conjuntos de variables, en su configuración y análisis.

Figura 2. Editor de datos Power Query.



Fuente: Elaboración propia (2021)

#### 4. Analítica de datos

La analítica de datos corresponde al proceso de análisis computacional sistemático de los datos del modelo relacional. El objetivo de esta etapa es descubrir, visualizar, interpretar y comunicar patrones significativos o tendencias generales en los datos. Pueden desarrollarse diferentes tipos de análisis de datos: descriptivo (permite resumir grandes volúmenes de datos en medidas de tendencia central o de variabilidad), predictivo (analiza los datos actuales e históricos reales para hacer predicciones acerca del futuro o acontecimientos no conocidos), prescriptivo (permite encontrar una solución entre una gama de variantes con el objetivo de optimizar los recursos y aumentar la eficiencia operativa; permite planear la asignación de recursos para lograr un objetivo específico) y cognitivo (permite, de la forma más natural posible, tal como aprenden los humanos,

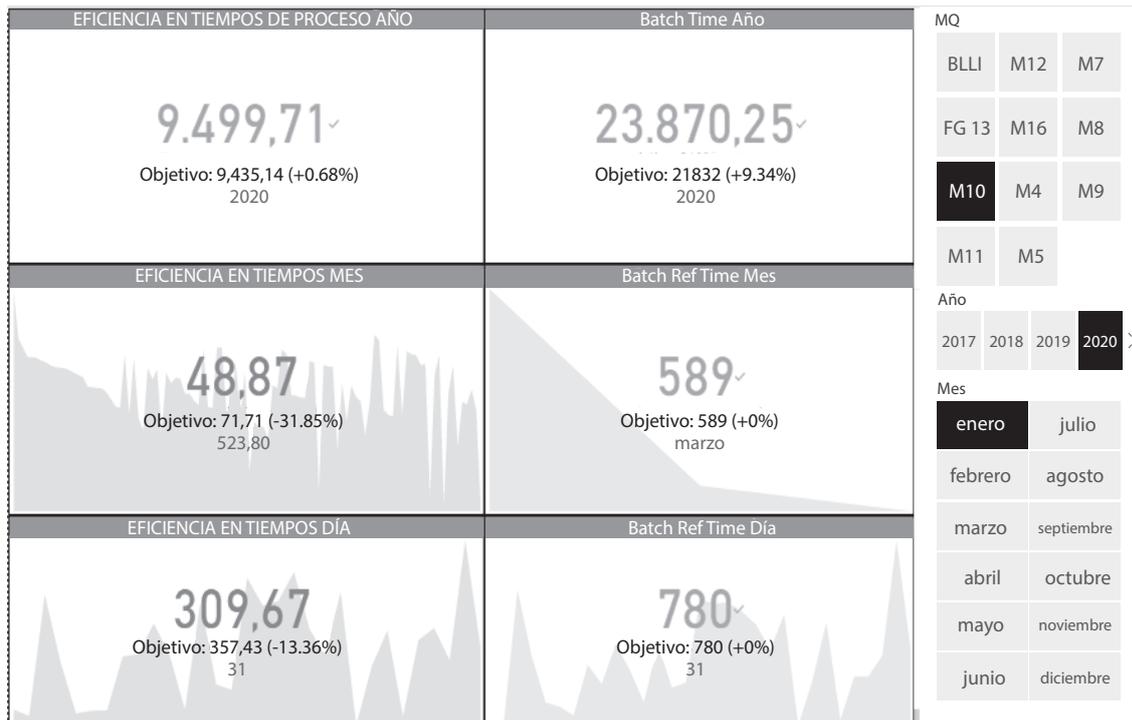
que las tecnologías tengan la habilidad de aprender, razonar y determinar escenarios que respondan a una necesidad). Esta etapa se ha centrado en un análisis de datos descriptivo dentro de las visualizaciones propuestas.

#### 5. Diseño de indicadores clave

Para el diseño de tableros estratégicos (*dashboard*) se diseñaron indicadores KPI clave para la toma de decisiones en el proceso productivo. Fueron utilizadas las bases de datos para la elaboración de cada elemento de indicador: eficiencia de tiempos de procesamiento en año, mes y día; *batch time* o tiempo de lote de producción en año, mes, día; adicionalmente, la meta-objetivo de cada indicador es relacionado de cada resultado de indicador, de forma que se pueda monitorear en tiempo real. Las relaciones y uso de recursos, como materiales, mano de obra y maquinaria por cada lote de producción, determinan la productividad del proceso de teñido de tela y permiten visualizar las fallas operacionales. Otro aspecto fundamental es entender el comportamiento de cada cliente para diseñar modelos de negocio ajustados a la demanda y garantizar que los costos reflejen la operación de teñido de tela y se distribuyan proporcionalmente al consumo de recursos clave.

De acuerdo con las informaciones anteriores y considerando la Figura 3, los indicadores clave de desempeño (KPI) permiten, al interior del caso de estudio, el seguimiento, control y estandarización de las actividades ejecutables en cada una de las fases operativas del modelo industrial de estudio. La Figura 3 expone un ejemplo de indicadores clave de desempeño, aplicado a la maquina industrial 10 (M10) de proceso de teñido a color, en relación con la empresa de estudio. Las informaciones generadas permiten realizar el marco comparativo entre la ejecución real de cada una de sus variables y el valor meta (eficiencia en tiempos de proceso por año, *batch time* por año, eficiencia en tiempos por mes, *batch time* mes, eficiencia en tiempos por día, *batch time* diario).

**Figura 3.** Ejemplo de Indicadores de desempeño KPI



Fuente: Elaboración propia (2021)

### III. Resultados

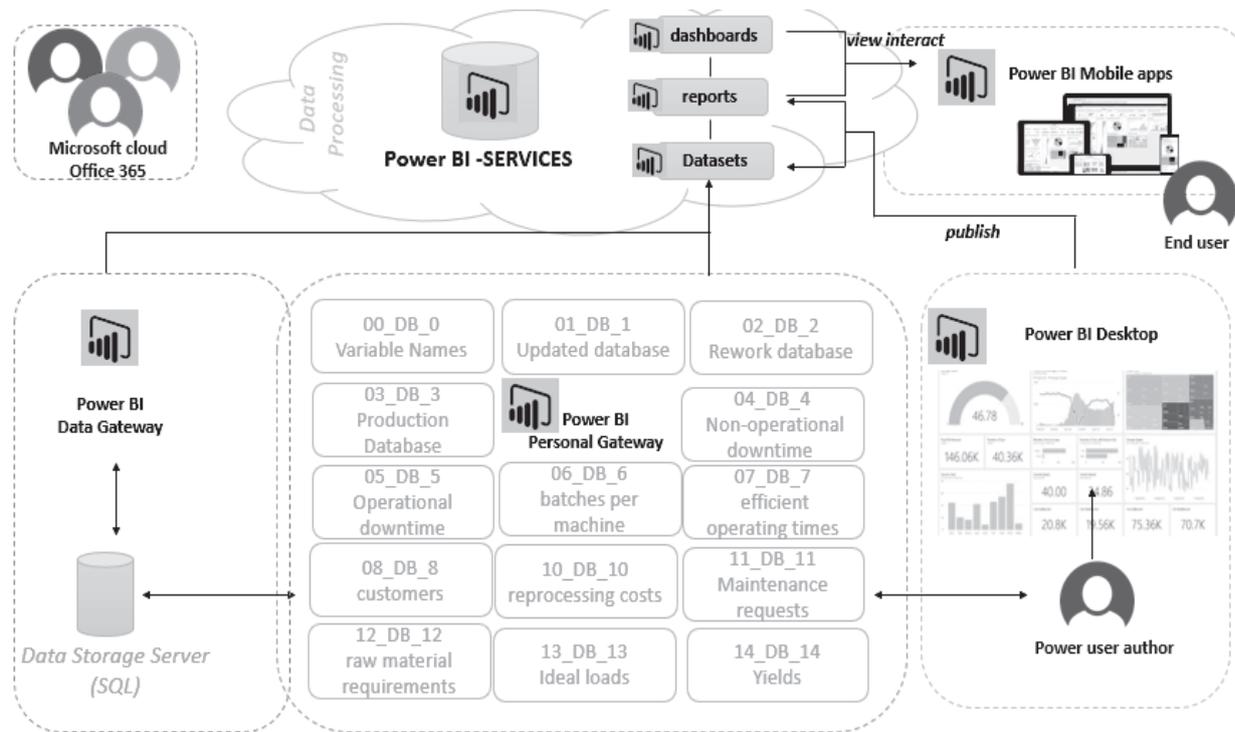
El comportamiento industrial en el caso de estudio ha permitido desarrollar un nuevo e innovador concepto de integración del conjunto de informaciones en tiempo real, que permite responder a las múltiples necesidades desde cada una de las áreas operativas: calidad, administración, gestión de proyectos, logística y transporte, entre otras. Esto se logra con la correcta aplicación de la tecnología Big Data y, de acuerdo con [20] y [21], este tipo de innovación permite un mayor y mejor control sobre los procesos organizacionales de la compañía, así como la simplificación y el aumento en la eficacia del desempeño del conjunto de informaciones relacionadas, todo lo anterior en pro de la correcta toma de decisiones organizacionales, fundamentadas en la validez y eficacia informativa en tiempo real.

Para conseguir los resultados expresados anteriormente, fueron generados los principales tableros de visualización y control a partir del conjunto de informaciones (bases de datos) de la empresa, así como el correcto análisis y seguimiento de los procesos operativos, presentados a continuación.

### 6. Arquitectura de datos en el modelamiento Big Data: caso de estudio textil

La arquitectura de datos representa, de acuerdo con [22] y [23], el modelamiento, políticas y sistemas estandarizados de recopilación de las informaciones, así como su enrutamiento en el comportamiento operacional. A la vez, permite identificar en tiempo real el marco de integración del conjunto de informaciones, así como sus niveles de asociatividad entre departamentos (ver Figura 4).

**Figura 4.** Arquitectura de datos textil: caso de estudio



Fuente: Elaboración propia (2021)

El modelo de arquitectura de datos para la presente investigación en la industria textil es presentado en la Figura 4. La integración de conjunto de datos está representada por dos módulos Power BI para su correcta sincronía: Power BI Data Gateway, siendo el enlace y puerta de acceso al sistema de información de la empresa, donde se procesa y almacena en tiempo real el conjunto de informaciones de los procesos internos y externos (Data Storage Server - SQL). Una vez son extraídos del sistema SQL, los datos son distribuidos de acuerdo con su origen, a cada base de datos asignada para su correcto almacenamiento en cada departamento de la empresa. Lo anterior es posible gracias a Power BI Personal Gateway y a la importación de los mismos al conjunto de bases de datos de la compañía. Con el conjunto de informaciones disponibles en la nube de almacenamiento de la organización, se procede a realizar el procedimiento descrito en la presente investigación, posible con el módulo Power BI

Services: Dataset, para el procesamiento, depuración y limpieza del conjunto de datos requeridos, *reports*, en la generación del análisis de las variables deseadas y la generación de los *dashboard* o tableros de visualización, donde se representan gráficamente los resultados obtenidos de la interacción y generación multiescenarios de los procesos operativos, así como el análisis de las variables de estudio.

Como resultado de salida en el procesamiento de las informaciones, Power BI Desktop se presenta como una excelente herramienta de software para la visualización, seguimiento y control operativo interno gerenciado por operarios, jefes de planta y coordinadores. Para el análisis desde el departamento de gestión estratégica y visualización de informes en escenarios externos, es utilizado Power BI Mobile Apps, permitiendo, en tiempo real, la visualización de informes desde los dispositivos móviles y el desarrollo de las necesidades informativas.

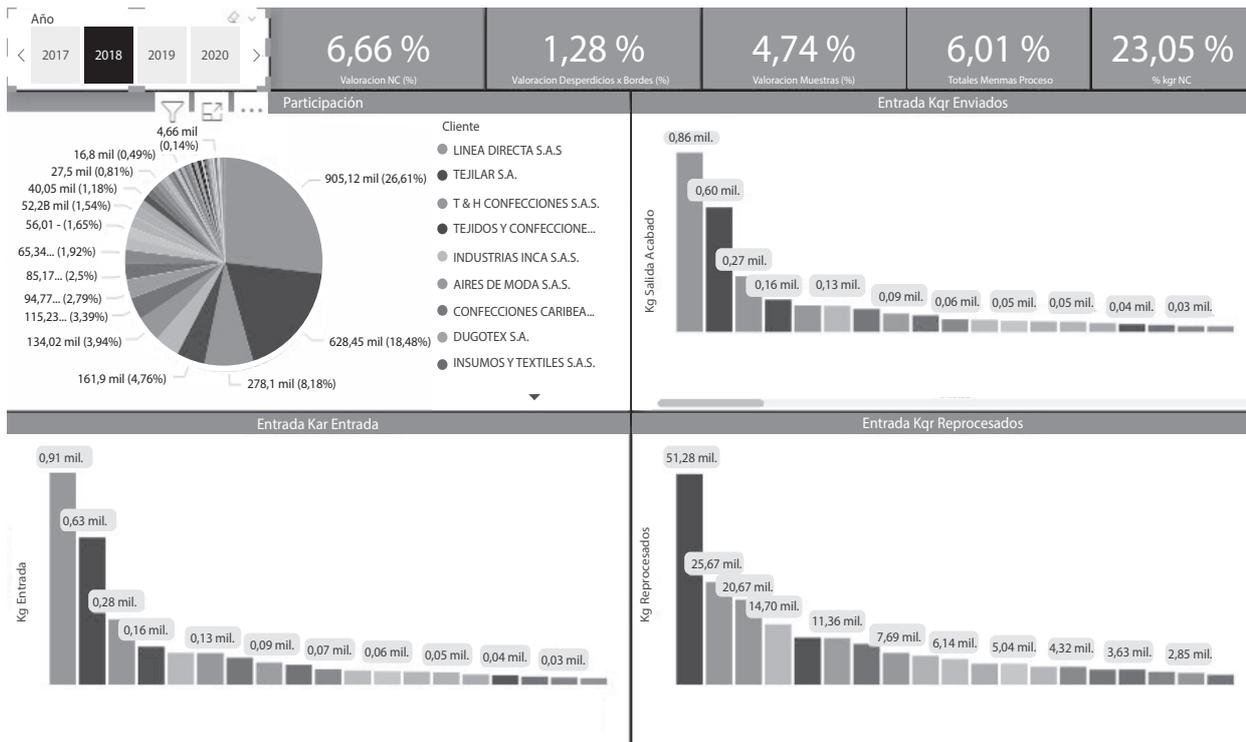
### 7. Análisis operativo interno textil: niveles de procesamiento de kilogramos

Algunos de los elementos clave en los estudios relacionados con la ciencia de los datos son la correcta aplicación de las informaciones, su colocación en tiempo real y su uso en la toma de decisiones gerenciales. Para ello existen múltiples herramientas de visualización, al interior del software Power BI, que permiten la correcta planeación, visualización y analítica de datos en tiempo real. Este conjunto e integración de elementos visuales al interior de un entorno de visualización se conoce como tablero de visualización o *dashboard*.

En el caso de la presente investigación del sector textil, se crea un tablero de visualización para el análisis de las operaciones (ver Figura 5). En este tipo de tablero visual puede observarse:

porcentaje de participación de los clientes, en el cual se relaciona el margen de contribución en ventas de cada uno de los consumidores de servicios de la empresa de estudio; *entrada de kg enviados*, referentes a los kilogramos de producto (tela) enviados a la empresa para su posterior procesamiento. Debe tenerse en cuenta que no necesariamente todos los kilogramos que se envían ingresan al sistema productivo, debido a que se realiza una inspección previa de la calidad del insumo entrante (tela); este valor neto de entrada de los insumos, una vez realizada la inspección de calidad, se conoce como la variable *entrada kg de entrada*. Finalmente, es analizada en el sistema de operaciones de la compañía la *entrada de kg reprocesados*, indicador que define la cantidad de kilogramos que fueron reprocesados al interior del sistema productivo, una vez realizada la transformación de los insumos en la operación industrial de teñido.

Figura 5. Tablero de visualización del análisis de operaciones de estudio.



Fuente: Elaboración propia (2021)

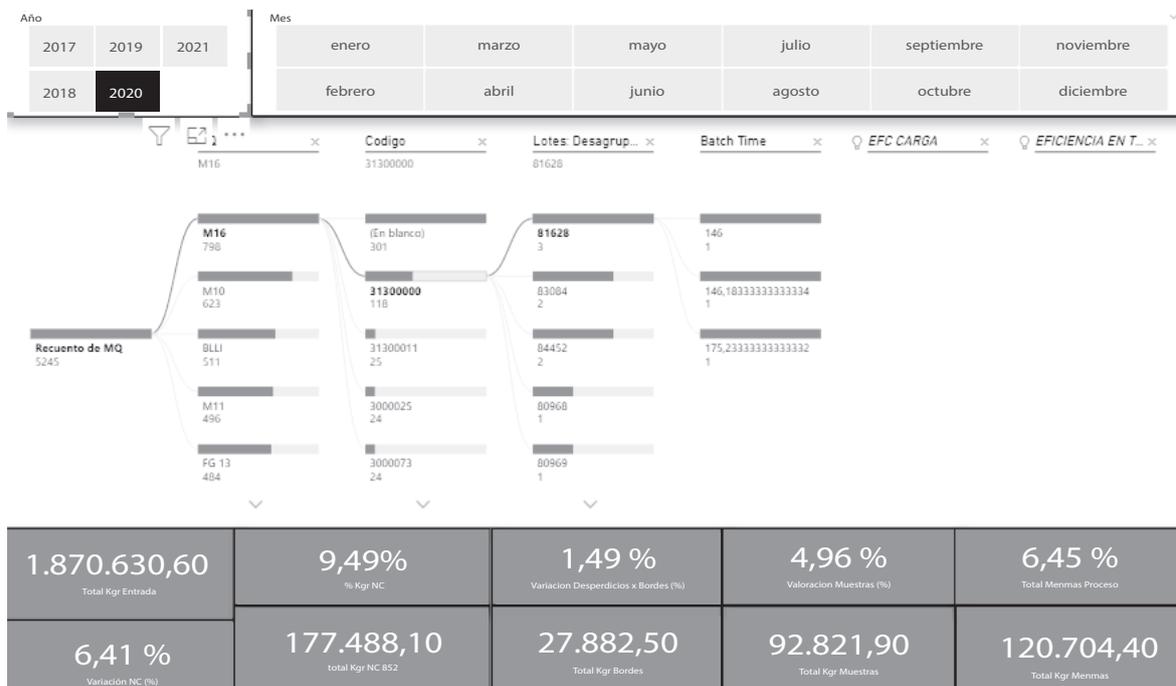
En la analítica de datos de la visualización expuesta, es importante destacar que la diferencia entre *entrada kg de entrada* y *entrada de kg reprocesados* genera como resultado el valor del nivel de procesamiento de kilogramos, cifra de valor neto de los insumos procesados de forma correcta al interior del sistema productivo. Como puede observarse, existen ciertas referencias de clientes que consumen servicio de procesamiento en bajas cantidades; sin embargo, sus niveles de reprocesamiento industrial son elevados, lo que indica que el tipo de servicio y la forma secuencial de los procesos a través de los cuales es solicitado el producto final afectan el sistema operativo industrial de la empresa, generando una relación costo-beneficio negativa en función de los objetivos de rentabilidad organizacionales.

### 8. Análisis en el procesamiento y control de los lotes de producción

En la analítica avanzada del estudio y ciencia de los datos, existen aplicaciones fundamentales

para la resolución de problemas de índole inferencial en función de los niveles de especificidad que pueden lograrse con las informaciones. En relación con lo anterior, la inteligencia artificial (IA) existe como una alternativa de solución, la cual es definida por [24] como la integración de algoritmos inteligentes capaces de analizar grandes cantidades de datos en el procesamiento rápido e iterativo, con el propósito de identificar de forma sistematizada características de comportamiento y patrones en los datos. Para la investigación desarrollada, un tipo de técnica perteneciente a IA aplicada es conocida como *data mining* o minería de datos, la cual apoya el proceso de exploración y análisis de grandes conjuntos de datos, en búsqueda de comportamientos o patrones a ser analizados [25], [26]. Para este caso de estudio, se realizó una tipología de *data mining* al interior del sistema operativo de las máquinas industriales, como se expone en la Figura 6.

Figura 6. Tablero de visualización (IA) de análisis operacional de maquinaria textil.



Fuente: Elaboración propia (2021)

Una de las principales aplicaciones desarrolladas para el control de análisis de las operaciones de las máquinas industriales, utilizando el software Power BI, es conocida como gráfico de esquema jerárquico. La gran ventaja que ofrece este elemento (visualización de IA) es la exploración a profundidad del conjunto de variables que requieren ser analizadas en la programación de los equipos industriales de la compañía. En la Figura 6 se presenta un ejemplo aplicado para la máquina M16, cuya actividad fundamental es el teñido de tela a tonalidades claras y oscuras. Como puede observarse en la parte central del gráfico de esquema jerárquico, una vez se identifica el número de lote (5245) en el clúster de maquinaria *recuento MQ*, el modelo de datos identifica automáticamente, a través de exploración inferencial de información, la máquina (M16) en la cual se realizó este tipo de lote; a continuación, el sistema identifica el código, el cual es la asignación de tipo de procesamiento de teñido aplicado por la máquina; en la siguiente fase del modelo, el lote mayor (5245) es desagrupado en diversos tipos de lotes desagrupados y, en el presente caso, para este referente de máquina fue asignado el acondicionamiento operativo del lote desagrupado (81628), considerando el comportamiento que se genera, debido a que en cada tratamiento de tonalidad afectan ciertos tipos de variables como temperatura, tonalidad de químico, tiempo de procesamiento, proceso de secado, entre otras, y, por ende, debe ser asignado un tipo de máquina específico para realizar este tipo de proceso. Finalmente, se presenta el *batch time* o tiempo de lote, que es el tiempo de procesamiento desde la entrada del insumo a la máquina hasta que se entrega el lote procesado (tiempo total). Como puede observarse, existen tres requerimientos de entrada y procesamiento de lote (*batch time*), cada uno con un tiempo de procesamiento definido según la cantidad de kilogramos procesados en la máquina asignada.

Con el propósito de llevar a cabo un mayor y mejor control de las actividades operativas de cada una de las máquinas, fueron generados indicadores claves de desempeño (KPI), claves para la medición del rendimiento de cada uno de los equipos industriales de estudio, el cual se ilustra en la

parte inferior de la Figura 6 a través de tarjetas de medición. Como puede observarse, con la identificación de análisis de la máquina 16 (M16), se activan automáticamente el total de kilogramos de entrada (1.870.630), el porcentaje de kilogramos no conformes (9,49%), el porcentaje de variación de desperdicios por bordes (1,49%), el porcentaje de variación de muestras (4,96%), el porcentaje del total de mermas del proceso (6,45%), el porcentaje de variación de producto no conforme (6,41%), el total de kilogramos no conformes (177.488), el total de kilogramos de borde (27.882), el total de kilogramos de muestra (92.821) y el total de kilogramos de mermas (120.704). Estos resultados pueden ser monitoreados en tiempo real y, de forma automática, realizar un análisis inferencial en la identificación de las muestras de lotes desagrupados con mayor número de no conformes en sistema, todo esto en pro de mejorar la eficiencia y trazabilidad del proceso de teñido de los servicios requeridos por los clientes en la empresa de estudio.

#### IV. Discusión

El conjunto de aplicaciones generadas a partir de la tecnología Big Data para la presente investigación impulsa la correcta planeación, implementación, control y seguimiento de los procesos operacionales de estudio a través del análisis de datos, así como la generación de planes de mejora en tiempo real en relación con la analítica del ecosistema industrial textil de estudio: operaciones de maquinaria, sistemas de información, recurso humano, recurso financiero, y es precisamente la sinergia que se genera entre los elementos anteriores, a través de la conexión de los sistemas de información en el modelo de datos, lo que permite generar, como resultado, recursos visuales a través de tableros de visualización (*dashboard*) que permiten un monitoreo en tiempo real y la subsecuente toma de decisiones empresariales.

Los datos analizados en el presente estudio son el resultado de las bases de datos donde se presenta la información relacionada para cada lote de pedido de las principales variables a ser analizadas: cantidad de kilogramos de productos

de entrada, kilogramos procesados, kilogramos no conformes, kilogramos de salida, entre otras. Es importante resaltar que la analítica de datos se enfoca en el número y tipo de pedidos que realiza cada uno de los clientes a la organización, ya que la forma y presentación de los requerimientos de producción afecta directamente la programación de maquinaria y equipos internos, así como todo un proceso logístico que demanda cada pedido. Por ello, resulta fundamental la identificación de

cada colocación de lote de pedido para cada tipo de cliente y la trazabilidad que conlleva este tipo de proceso en el horizonte de tiempo, ya que el impacto en costos asociados influye directamente en el margen de utilidad de la empresa del sector textil de estudio. Con el fin de generar un mayor y mejor control operacional de los pedidos y su comportamiento en periodos de tiempo, se creó un tablero de visualización del índice de participación, presentado en la Figura 7.

**Figura 7.** Tablero de visualización del índice de participación operacional de pedidos.



Fuente: Elaboración propia (2021)

Un estudio del comportamiento trimestral de los kilogramos procesados y kilogramos no conformes es presentado en las tablas de la Figura 7. Un ejemplo del comportamiento o patrón de este conjunto de datos se presenta a continuación: Puede observarse que, para el segundo trimestre del año 2017, se generó una producción de 135.057 kg; si se compara con el dato de producción del tercer trimestre del mismo año (867.988 kg), puede observarse que se presenta un incremento porcentual de 6,17%, lo cual permite identificar, a través de este tipo de análisis, los márgenes de incremento o reducción de la producción en los periodos definidos. Ahora, si se hace un análisis paralelo con la tabla de kilogramos no conformes (derecha), puede observarse, por ejemplo, que en el segundo y tercer trimestres del año 2017 se generaron 35.648 kg y 328.793 kg no conformes, respectivamente. Como se ve, a cada tasa de producción en kilogramos por cada trimestre, se genera cierta cantidad de producto que debe ser procesada, y este tipo de comportamiento es uno de los propósitos de la investigación: realizar el análisis inferencial, a partir de esta cantidad de kilogramos reprocesados o no conformes, por ejemplo, del tercer trimestre (328.793) de cuál es el equivalente de acuerdo con cada lote de pedido de clientes y cómo está impactando en los reprocesos internos que tiene la organización. Para ello se plantea como propuesta la transformación de un escenario de responsabilidad única, donde la compañía debe responder por la totalidad de sus reprocesos, a un escenario de responsabilidad compartida, donde, una vez sean analizados todos y cada uno de los clientes, se les pueda dar una inducción de la forma correcta de programar sus pedidos y evitar la afectación operacional interna que conlleva el tipo de programaciones que generan.

Un segundo tipo de análisis puede observarse en función del porcentaje de variación de la cantidad de kilogramos procesados, realizando el comparativo entre los dos periodos de análisis, como puede observarse en los gráficos de barras centrales. Un ejemplo del comportamiento o patrón de este conjunto de datos se presenta a continuación: la cantidad de kilogramos procesados en el segundo trimestre del año 2017 es de 135.057 kg y la cantidad de

kilogramos procesados en el segundo trimestre del año 2018 es de 809.222 kg, presentando una tasa de incremento de 499,17%. El análisis anterior es generado también para la variable *kilogramos no conformes*. Finalmente, se evidencia, a través del presente estudio, que este tipo de análisis permite que la compañía pueda identificar el comportamiento operacional de cada periodo y controlar la aleatoriedad de la producción, mejorando la programación de operaciones y gestión de recurso financiero y físico. Los resultados del presente estudio permitieron evidenciar una mejora del 20% en la identificación de fallas operacionales y no operacionales del proceso industrial interno.

## V. Conclusiones

La implementación de la tecnología Big Data al interior de los procesos operacionales en el sector textil de estudio permite generar una sinergia e integración de las informaciones de las diferentes áreas: industrial, financiera, calidad y gestión administrativa. El uso eficiente de datos se logra a través del correcto desarrollo metodológico, enfocado en ciencia, de los datos, en cada una de sus fases: obtención de insumos de bases de datos, depuración y limpieza, generación de modelo de datos, visualización y análisis, proyección y comunicación de informes.

El software Power BI se presenta como una eficiente herramienta de inteligencia de negocios, a través de la cual se aplica tecnología Big Data para el desarrollo del caso de estudio. El uso y gerenciamiento masivo y la estandarización de los datos permiten una mejor planeación, control y seguimiento de los procesos organizacionales a través de la generación de indicadores clave de desempeño, analítica de series de tiempo de producción, plan de acción y oportunidades de mejora ante producto no conforme y paros de maquinaria. La creación de los tableros de visualización, por su parte, permite generar la transformación de un proceso de gerenciamiento operacional de forma "empírica" a un escenario tecnológico, obteniendo una mejora del 20% en la identificación de fallas propuestas, y de mejora de la productividad en un 15%.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, es recomendable realizar un estudio específico de clientes en relación con las categorías de tipo, cantidad y fechas de colocación de pedidos en la programación industrial. La correcta capacitación y formación de los proveedores en temáticas como programación de pedidos, características de operación, poder de negociación de pedidos y estudio de productividad interna y externa se presenta como un requerimiento a tener en cuenta, todo lo anterior en el marco de una filosofía de responsabilidad productiva que la empresa debe implementar para conseguir sus metas de productividad y rentabilidad a mediano y largo plazo.

## VI. Referencias

- [1] M. Chen, S. Mao y Y. Liu, "Big Data: A Survey", *Mobile Networks and Applications*, vol. 19, no. 2, pp. 171-209, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11036-013-0489-0>
- [2] C. J. Cremin, S. Dash y X. Huang, "Big data: Historic advances and emerging trends in biomedical research", *Current Research in Biotechnology*, vol. 4, pp. 138-151, enero de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2022.02.004>
- [3] D. Wiltshire y S. Alvanides, "Ensuring the ethical use of big data: lessons from secure data access", *Heliyon*, vol. 8, no. 2, febrero de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08981>
- [4] Y. Zhang y J. Li, "Performance analysis of big data transmission in wearable system based on special textile clothing", *Procedia Computer Science*, vol. 183, pp. 713-719, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.02.119>
- [5] J. Yang, Y. Li, Q. Liu, L. Li, A. Feng, T. Wang, S. Zheng, A. Xu y J. Lyu, "Brief introduction of medical database and data mining technology in big data era", *Journal of Evidence-Based Medicine*, vol. 13, no. 1, pp. 57-69, febrero de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jebm.12373>
- [6] C. A. Escobar, M. E. McGovern y R. Morales-Menendez, "Quality 4.0: a review of big data challenges in manufacturing", *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 32, no. 8, pp. 2319-2334, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01765-4>
- [7] G. Raviv, *Collect, Combine, and Transform Data Using Power Query in Excel and Power BI*. Microsoft Press, 2018.
- [8] B. Powell, *Microsoft Power BI Cookbook: Creating Business Intelligence Solutions of Analytical Data Models, Reports, and Dashboards*. Packt Publishing, 2017.
- [9] A. Aspin, *Pro Power BI Desktop*. Apress Berkeley, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3210-1>
- [10] L. T. Becker, colab., y E. M. Gould, ed., "Microsoft Power BI: Extending Excel to Manipulate, Analyze, and Visualize Diverse Data", *Serials Review*, vol. 45, no. 3, pp. 184-188, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00987913.2019.1644891>
- [11] M. Cornejo, F. Mendoza y R. C. Rojas, "La Investigación con Relatos de Vida: Pistas y Opciones del Diseño Metodológico", *Psykhé*, vol. 17, no. 1, pp. 29-39, 2008 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-22282008000100004>
- [12] A. C. Salgado Lévano, "Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos", *Liberabit*, vol. 13, no. 3, pp. 71-78, 2007.
- [13] J. A. Yuni y C. A. Urbano, *Técnicas para investigar: recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación*, 2ª ed. Córdoba: Brujas, 2006.
- [14] W. J. Sotaquirá Ayala, "Power BI como herramienta de Big Data & Business Analytics para Onelink Colombia", Tesis de maestría. 2017. Repositorio Institucional Universidad EAFIT [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10784/11767>

- [15] N. Cohen y G. Gómez Rojas, *Metodología de la investigación, ¿para qué?: la producción de los datos y los diseños*. Buenos Aires: Teseo, 2019 [En línea]. Disponible en: <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/1363>
- [16] O. A. Agudelo-Giraldo, J. E. León-Molina, M. A. Prieto-Salas, A. Alarcón-Peña y J. C. Jiménez-Triana, *La pregunta por el método: derecho y metodología de la investigación*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/22541>
- [17] K.-J. Villegas-Sandoval F. Martínez-Olmo, "Tendencias en el diseño metodológico de investigación sobre la evaluación de competencias en la educación superior", *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, vol. 10, no. 1, pp. 1-13, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://doi.org/10.1344/reire2017.10.11011>
- [18] I. Ferraz Pinto, C. J. Gomes Campos y C. Siqueira, "Investigação qualitativa: Perspetiva geral e importância para as Ciências da Nutrição", *Acta Portuguesa de Nutrição*, no. 14, pp. 30-34, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.21011/apn.2018.1406>
- [19] O. A. Camacho Hernández, "Propuesta de implementación de una solución de inteligencia de negocios para el Área de Gestión Tributaria de la Municipalidad de El Guarco", Trabajo de grado. Cartago, 2021. Repositorio TEC [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2238/13708>
- [20] C.-W. Tsai, C.-F. Lai, H.-C. Chao y A. V. Vasilakos, "Big data analytics: a survey", *Journal of Big Data*, vol. 2, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40537-015-0030-3>
- [21] S. Kumar, D. Sharma, S. Rao, W. M. Lim y S. K. Mangla, "Past, present, and future of sustainable finance: insights from big data analytics through machine learning of scholarly research", *Annals of Operations Research*, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04410-8>
- [22] B. Bansal, V. N. Jenipher, R. Jain, R. Dilip, M. Kumbhkar, S. Pramanik, S. Roy y A. Gupta, "Big Data Architecture for Network Security", en *Cyber Security and Network Security*, S. Pramanik, D. Samanta, M. Vinay y A. Guha, eds., pp. 233-267. Scrivener Publishing, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781119812555.ch11>
- [23] E. N. Witanto, Y. E. Oktian y S.-G. Lee, "Toward Data Integrity Architecture for Cloud-Based AI Systems", *Symmetry*, vol. 14, no. 2, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/sym14020273>
- [24] C. Debrah, A. P. C. Chan y A. Darko, "Artificial intelligence in green building", *Automation in Construction*, vol. 137, mayo de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104192>
- [25] R. Safdari, A. Deghatipour, M. Gholamzadeh y K. Maghooli, "Applying data mining techniques to classify patients with suspected hepatitis C virus infection", *Intelligent Medicine*, vol. 2, no. 4, pp. 193-198, noviembre de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.imed.2021.12.003>
- [26] I. Batool y T. A. Khan, "Software fault prediction using data mining, machine learning and deep learning techniques: A systematic literature review", *Computers and Electrical Engineering*, vol. 100, mayo de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107886>



Cuaderno  
**Activa**  
• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

Tipografía: Avenir  
Materiales: Propalcote 300 gr y Bond 90 gr.

Impreso por:  
Divegraficas S.A.S.  
Cra. 50 # 35-62 Medellín, Antioquia  
Tel: (604) 322 50 96

Sello Editorial TdeA  
Tecnológico de Antioquia - Institución Universitaria  
Dirección de Investigación - Facultad de Ingeniería  
Calle 78B No. 72-220. Medellín - Colombia, Suramérica.  
[www.tdea.edu.co](http://www.tdea.edu.co)  
2022



1. Evaluación de los lineamientos técnicos para la implementación de la bioingeniería de suelos en la intervención sobre retiros de quebradas en la ciudad de Medellín
2. Comprensiones del territorio de la comunidad de la Institución Educativa El Bosque: Comuna Aranjuez, ciudad de Medellín
3. Procesamiento del lenguaje natural y aprendizaje de lenguas extranjeras: Abordaje metodológico desde la realización de una tarea lingüística
4. Implementación de la agricultura de precisión a través del desarrollo de sistemas productivos en áreas protegidas o de conservación para optimizar la producción de cultivos. Una revisión sistemática de literatura
5. Modelado de un dominio de planificación automática de un robot reforestador de árboles
6. Una revisión del impacto de la adopción de la metodología Lean Construction en los proyectos de construcción
7. Revisión sistemática de la implementación BIM basada en modelos de diseño para la construcción de obras viales
8. Prácticas para estimación de reservas de contingencia en CapEx de proyectos: una revisión literaria
9. El Big Data aplicado en la industria 4.0: un caso en el sector textil colombiano con un enfoque en la inteligencia de negocios

Cuaderno

# Activa

• REVISTA CIENTÍFICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA •

